



ESTIMATIVA DO TEMPO MÉDIO DE DEGRADAÇÃO DAS EMBALAGENS DE AÇO EM AMBIENTES TROPICAIS¹

João Luiz Câmara dos Santos²

William Ribeiro dos Santos³

Roberto Luiz da Silva Germano⁴

Luciana Ciliano Shoji⁵

Jozeti B. Gatti⁶

Sílvia Tondella Dantas⁷

Resumo

A questão da degradação das embalagens de aço no meio ambiente tem sido amplamente discutida. Ainda que os tempos médios de degradação desses materiais sejam divulgados na mídia, observamos que esses números são apresentados sem referências a fontes bibliográficas. Além disso, dados obtidos em países não tropicais não devem ser considerados essencialmente válidos para o Brasil. O objetivo desse trabalho é estimar o tempo médio de degradação de alguns tipos de embalagens de aço, quando dispostas em quatro diferentes ambientes tropicais: superfície do solo em uma área industrial; superfície do solo em uma área litorânea; enterradas no solo e imersas em um rio. Foram avaliadas quatro tipos de embalagens de aço, que se encontram nos ambientes de teste há 7 anos, estando o projeto dimensionado para até 10 anos de monitoramento. A cada ano amostras de todas as embalagens foram removidas dos campos de teste e analisadas visualmente. Além das latas de aço, embalagens produzidas com outros materiais também foram dispostas nos mesmos ambientes. Após 7 anos de estudo foi possível considerar que dois tipos de embalagens de aço expostas nos ambientes marinho e industrial estavam completamente degradadas.

Palavras-chave: Embalagens de aço; Degradação; Meio ambiente.

AVERAGE TIME ESTIMATE FOR THE DEGRADATION OF STEEL PACKAGINGS IN TROPICAL ENVIRONMENTS

Abstract

The behaviour of steel packagings in the environment has been widely discussed. In spite of the average time of degradation for these materials having been often published in the media, the numbers are provided without consistent sources. Besides this, data generated in nontropical countries are not essentially valid in Brazil. Therefore, the study's objective is to estimate average degradation time for steel packagings, when discarded in four local tropical environments: on the surface at an industrial site and on a seashore beach area, buried in the ground and immersed in a river. Four different kinds of steel cans were used and these cans have been discarded in these environments for 7 years (the project is scheduled for until 10 years). Annually, samples of all cans were removed from the study sites and visually analysed. Besides steel cans, some other packagings, produced in other materials have been also discarded in the same study sites. After 7 years it was possible to consider a complete degradation for two kinds of steel cans in the industrial and marine environments.

Key words: Steel packagings; Degradation; Environment.

¹ Contribuição técnica ao 65° Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Eng° Químico, M.Sc. em Eng. Metalúrgica e de Materiais – Companhia Siderúrgica Nacional

³ Técnico Químico – Companhia Siderúrgica Nacional

⁴ Eng° Metalúrgico, M.Sc. em Engenharia Metalúrgica e de Materiais – Companhia Siderúrgica Nacional

⁵ Publicitária, MBA em Gestão Empresarial – Companhia Siderúrgica Nacional

⁶ Engª Química, M.Sc. em Eng. Mecânica – Centro de Tecnologia de Embalagem (CETEA/ITAL)

⁷ Engª de Alimentos, Dr. em Eng. Alimentos – Centro de Tecnologia de Embalagem (CETEA/ITAL)

1 INTRODUÇÃO

A questão da degradação das embalagens de aço no meio ambiente tem sido amplamente discutida nos últimos anos, não apenas pelas agências governamentais, mas por toda a sociedade. Em geral, considera-se que nos países industrializados as embalagens contribuam com cerca de 30% do lixo sólido urbano. Assim, a indústria de embalagens tem encorajado ações para minimizar esse problema, especialmente direcionadas à sua reciclagem. Nesse contexto, as embalagens de aço apresentam uma importante característica, que é a possibilidade de serem recicladas inúmeras vezes e utilizadas para a mesma finalidade, sem prejuízo das propriedades originais do material. No entanto, considerando que, eventualmente, ocorre a disposição incorreta de certa quantidade de embalagens no ambiente, as embalagens de aço apresentam uma característica peculiar: seus constituintes metálicos possuem um grande potencial de degradação, retornando às formas químicas nas quais são naturalmente encontrados na natureza, embora não nas mesmas condições de origem, visto não poderem ser reaproveitados, como se estivessem nas minas, por exemplo. Entretanto, essa característica ainda não está muito bem quantificada e os dados apresentados pela mídia sobre o tempo requerido para sua degradação na natureza são conflitantes e sem referências. Na verdade, esses números não são absolutos, uma vez que dependem do tipo de embalagem (dimensões e sistemas de revestimento utilizados) e também das características do ambiente em que estão dispostas. Essa falta de dados fica evidente quando se consulta a literatura científica e verifica-se o reduzido número de artigos publicados, dentre os quais o trabalho de Bromander⁽¹⁾ na Noruega, desenvolvido sob condições climáticas muito específicas e totalmente diferentes daquelas de um país tropical como o Brasil. Geralmente tem sido considerado que 4 a 5 anos é uma boa referência nacional para a total degradação das embalagens de aço. Entretanto não existem registros oficiais que suportem essa informação.

A Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) e o Centro de Tecnologia de Embalagem (CETEA) iniciaram um estudo sistemático para gerar informação sobre o tempo médio de degradação de diferentes tipos de embalagens de aço sob condições ambientais tropicais específicas. O objetivo desse artigo é descrever a metodologia utilizada para instalar as embalagens nos campos de teste selecionados e apresentar os resultados parciais, obtidos após 7 anos de exposição das amostras. Essa abordagem não incluiu a verificação do efeito do material degradado sobre o ambiente, que deve ser foco de consideração em trabalhos futuros.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os quadros 1, 2, 3 e 4 descrevem as embalagens de aço utilizadas no trabalho.

Quadro 1 – Latas de leite em pó

Tipo de lata*	Componente	Material/ Revestimento	Revestimento Orgânico	
			Interno	Externo
Diâmetro 99 mm e Altura 122 mm	Corpo	Flandres-E2,8/2,8	Ausente	Ausente



(Sem Rótulo)	Fundo e Anel	Flandres-D2,8/5,6	Ausente	Ausente
--------------	--------------	-------------------	---------	---------

* Latas de 3 peças sem a membrana de alumínio

Quadro 2 – Latas de óleo de soja

Tipo de lata*	Componente	Material/Revestimento	Revestimento Orgânico	
			Interno	Externo
Cilíndrica (900 ml)	Corpo	Flandres-E2,0/2,0	Ausente	Tinta Impressão + Verniz Acabamento
	Tampa**/Fundo	Flandres-D2,0/1,0	Ausente	Verniz Sanitário Alto sólidos
Cilíndrica (900 ml)	Corpo	Flandres-E2,0/2,0	Ausente	Esmalte branco + Tinta Impressão + Verniz Acabamento
	Tampa ⁽²⁾ /Fundo	Flandres-D2,0/1,0	Ausente	Verniz Sanitário Alto sólidos

* Foram utilizadas duas marcas comerciais, com diferentes desenhos de impressão; ** Tampas convencionais, abertas com abridor do tipo caseiro

Quadro 3 – Latas de derivados de tomate

Tipo de lata	Componente	Material/Revestimento	Revestimento Orgânico	
			Interno	Externo
Molho de Tomate (340 g)	Corpo	Flandres-D2,8/2,0	Verniz epóxi-uréia + esmalte epóxi branco	Esmalte poliéster + Tinta Impressão + Verniz éster epóxi
	Tampa*	Cromada-60/60	Verniz organosol com alumínio	Tinta Impressão + Verniz epóxi-fenólico
	Fundo	Cromada-60/60	Verniz epóxi-uréia + esmalte epóxi branco	Verniz epóxi-fenólico
Extrato de Tomate (350 g)	Corpo	Flandres**	Presente**	Presente**
	Tampa***/Fundo	Cromada-60/60	Presente**	Presente**

* Tampa de fácil abertura; ** Parâmetros não informados pelo fabricante da embalagem; *** Tampa convencional, aberta com abridor caseiro

Quadro 4 – Latas de duas peças em aço (Draw and Wall Ironing – DWI)

Tipo de lata	Componente	Material/Revestimento	Revestimento Orgânico	
			Interno	Externo
Refrigerante (350 ml)	Corpo	Flandres-D3,0/2,0*	Verniz epóxi modificado	Esmalte branco + Tinta Impressão
	Fundo	Flandres-D3,0/2,0	Verniz epóxi modificado	Verniz epóxi-acrílico
	Tampa**	Alumínio	Verniz epóxi	Verniz epóxi-amina

* Após estiramento, o revestimento de estanho é reduzido a cerca de 25% do valor inicial; ** Tampas de alumínio com a escotilha aberta

Foram utilizadas embalagens de aço sem uso, abertas pela tampa, simulando a condição real de uso, conforme apresentado na Figura 1. Além das latas de aço,

também foram implantadas, nos mesmos campos experimentais, embalagens usadas e vazias (sem pré-lavagem) produzidas com outros materiais conforme a Figura 2: sacos plásticos laminados de leite em pó modificado; embalagens cartonadas de 520 g de extrato de tomate; garrafas PET de 900 ml de óleo de soja e latas de duas peças de alumínio de 350 ml para refrigerantes.



Figura 1 – Embalagens de aço utilizadas no trabalho antes de serem expostas nos campos de teste (amostras de referência): a) latas de leite em pó; b) latas de óleo de soja; c) latas de derivados de tomate; d) latas de aço DWI de refrigerantes.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2- Embalagens utilizadas no trabalho, produzidas com outros materiais, antes de serem expostas nos campos de teste (amostras de referência): a) saco plástico laminado de leite em pó; b) garrafa PET de óleo de soja; c) embalagem cartonada de derivados de tomate; d) lata de alumínio DWI de refrigerante.

2.2 Métodos

A seguir são descritos os campos de teste selecionados e a metodologia para a exposição das amostras. A cada ano, amostras de todos os tipos de embalagens, expostas nos diversos ambientes de teste, foram retiradas para avaliação da evolução do processo de degradação. Detalhes adicionais da metodologia aplicada estão descritos por Santos et al.⁽²⁾

2.2.1 Solo

Foi utilizado o solo de uma área ao redor do centro de pesquisas da CSN em Volta Redonda/RJ e o arranjo das amostras seguiu o procedimento descrito abaixo:

- Preparação de 45 covas, de profundidade suficiente para acomodar 45 recipientes plásticos (36 bacias de 25 litros de capacidade e 9 cubas retangulares de 56 litros de capacidade);
- Perfuração das paredes laterais e dos fundos das 36 bacias e 9 cubas;
- Numeração das bacias e cubas, preenchimento das mesmas com uma camada de terra e instalação das mesmas dentro das covas;
- Colocação das embalagens de teste nos 45 recipientes plásticos, de acordo com a seguinte distribuição: 9 bacias contendo 5 latas e 1 saco plástico laminado para leite em pó; 9 bacias contendo 5 latas e 1 embalagem cartonada para derivados de tomate; 9 bacias contendo 5 latas DWI em aço; 9 bacias contendo 5 latas DWI em alumínio; 9 cubas retangulares contendo 5 latas de óleo de soja e 1 garrafa PET;
- Todos os 45 recipientes plásticos foram completamente preenchidos com terra, cobrindo todas as embalagens (Figura 3).



(a)



(b)

Figura 3 – Sistema de exposição das embalagens enterradas no solo: a) bacia com a parede e fundo perfurados contendo as embalagens; b) vista parcial das bacias e cubas instaladas dentro das covas.

2.2.2 Ambiente marinho

A disposição das amostras foi realizada por meio de um sistema de 7 módulos, utilizando fios metálicos revestidos com plástico, cujas extremidades foram fixadas na superfície do solo de uma estação experimental localizada na restinga de Marambaia, na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro (Figura 4). Cada módulo foi constituído por 5 latas e 1 saco plástico laminado para leite em pó; 5 latas e 1 garrafa PET para óleo de soja; 5 latas e 1 embalagem cartonada para derivados de tomate; 5 latas DWI em aço; 5 latas DWI em alumínio.



Figura 4 – Sistema de módulos para exposição das embalagens no ambiente marinho.

2.2.3 Ambiente industrial

A disposição das amostras seguiu o mesmo arranjo descrito para o ambiente marinho e os 7 módulos foram fixados na superfície do solo de uma estação experimental localizada no interior da usina Presidente Vargas da CSN, próxima à unidade industrial de produção de coque.

2.2.4 Leito de rio

Utilizou-se uma garagem flutuante construída no rio Paraíba do Sul. O arranjo das amostras seguiu o seguinte procedimento:

- a) Perfuração das paredes laterais e dos fundos de 35 cubas retangulares de plástico de 28 litros de capacidade;
- b) Montagem de 7 módulos, contendo 5 cubas cada módulo. Essa montagem envolveu a utilização de tubos de PVC para suportar as cubas;
- c) Colocação das embalagens de teste em cada uma das 5 cubas de cada módulo. Cada módulo foi constituído por 5 latas e 1 saco plástico laminado para leite em pó; 5 latas e 1 garrafa PET para óleo de soja; 5 latas e 1 embalagem cartonada para derivados de tomate; 5 latas DWI em aço; 5 latas DWI em alumínio;

- d) Finalização do sistema de amarração das cubas nos suportes de PVC, através da utilização de fios metálicos revestidos com plástico;
- e) Imersão dos módulos dentro do rio, na garagem flutuante, a cerca de 1 metro de profundidade. Esses módulos foram suportados por vergalhões de aço fixos nas duas plataformas flutuantes da garagem.
- A Figura 5 apresenta fotos ilustrativas do sistema empregado para a imersão das embalagens no rio.



Figura 5 – Sistema de exposição das embalagens no leito do rio.

2.2.5 Descrição dos parâmetros monitorados em cada ambiente

Para cada ambiente de teste foram selecionados alguns parâmetros físico-químicos para caracterizar as condições nas quais as amostras foram expostas. Esses parâmetros estão descritos abaixo:

- a) SOLO – matéria orgânica, pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cloreto, condutividade elétrica, (análises realizadas no início do trabalho);
- b) AMBIENTE INDUSTRIAL – temperatura, umidade relativa, precipitação pluviométrica, partículas totais em suspensão, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio (análises realizadas mensalmente);
- c) AMBIENTE MARINHO – temperatura, umidade relativa, precipitação pluviométrica, cloreto (análises realizadas mensalmente);
- d) LEITO DO RIO – temperatura, dureza (magnésio e cálcio), demanda química de oxigênio (DQO), alcalinidade total, condutividade elétrica, pH, cloreto (análises realizadas mensalmente).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Solo

O Quadro 5 apresenta os parâmetros característicos do solo onde as embalagens foram enterradas.

Quadro 5 – Parâmetros característicos do solo

Parâmetro	Valor medido
Matéria orgânica	32 g/dm ²
pH	6,8
Fósforo	61 mg/dm ³
Potássio	2,5 mmol/dm ³
Cálcio	118 mmol/dm ³
Magnésio	22 mmol/dm ³
Enxofre	9 mg/dm ³
Condutividade elétrica	170µS/cm
Cloreto	18,5 mg/dm ³

As Figuras 6 a 10 apresentam as fotos das embalagens enterradas por 7 anos, imediatamente após a retirada do solo e após limpeza das mesmas.



(a)



(b)

Figura 6 – Embalagens de leite em pó enterradas no solo por 7 anos: a) latas e saco plástico laminado imediatamente após a retirada do solo; b) latas e saco plástico laminado após limpeza.



(a)



(b)

Figura 7 – Embalagens de óleo de soja enterradas no solo por 7 anos: a) latas e garrafa PET imediatamente após a retirada do solo; b) latas e garrafa PET após limpeza.



(a)



(b)

Figura 8 – Embalagens de derivados de tomate enterradas no solo por 7 anos: a) latas e embalagem cartonada imediatamente após a retirada do solo; b) latas e embalagem cartonada após limpeza.



(a)



(b)

Figura 9 – Latas de refrigerante em aço enterradas no solo por 7 anos: a) latas imediatamente após a retirada do solo; b) latas após limpeza.



Figura 10 – Latas de refrigerante em alumínio enterradas no solo por 7 anos: a) latas imediatamente após a retirada do solo; b) latas após limpeza.

- Dentre as latas de leite em pó, duas ainda mantinham as partes integradas, apesar do elevado grau de oxidação, e as outras três latas estavam bastante fragmentadas. O saco plástico laminado não apresentou qualquer sinal de desintegração.
- As latas de óleo de soja apresentavam as tampas e fundos em melhores condições do que os corpos, onde já havia ausência de materiais em algumas regiões em função do processo de degradação. Uma das latas se apresentava mais oxidada que as demais; a garrafa PET não exibiu qualquer sinal de desintegração.
- Dentre as latas de derivados de tomate, as cinco unidades estavam sem a tampa e apresentavam corrosão nos corpos, fundos e principalmente nas soldas. Uma das latas apresentava perfuração na solda e outras duas latas exibiam perfuração no fundo. A embalagem cartonada apresentava delaminação com exposição do alumínio em algumas regiões, perda de intensidade de coloração e algumas perfurações.
- As cinco unidades de latas de refrigerante em aço apresentavam a impressão pouco descolorida, com pontos de corrosão no corpo e fundo, havendo alguns casos de perfuração.
- As cinco unidades de latas de refrigerante em alumínio apresentavam a impressão pouco descolorida, com manchas externas no fundo, corpo e tampa. Nenhuma delas apresentava perfuração.

3.2 Ambiente Industrial

O Quadro 6 apresenta os valores dos parâmetros atmosféricos monitorados no campo de teste. Esses parâmetros foram medidos ao longo dos 7 anos mas para efeito de simplificação mostramos aqueles relativos ao sétimo ano do projeto. Esses valores permitem visualizar o grau de agressividade desse ambiente industrial.

Quadro 6 – Parâmetros obtidos no monitoramento da atmosfera do ambiente industrial no sétimo ano do projeto

	Média Mínima Mensal	Média Máxima Mensal
Temperatura (°C)	18,4	25,5
Umidade Relativa (%)	70	76
Partículas Totais em Suspensão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	35,9	81,0
Dióxido de Nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	5,6	21,1
Dióxido de Enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	9,5	49,6
Radiação Solar (W/m^2)	101,1	201,4
	Mínimo Acumulado Mensal	Máximo Acumulado Mensal
Precipitação (mm)	2,6	482,6

As Figuras 11 a 15 mostram as fotos das embalagens removidas do campo de teste industrial após 7 anos de exposição. Nos casos onde já não havia fragmentos de latas de aço nesse período, foram apresentadas fotos relativas aos 6 anos de exposição.

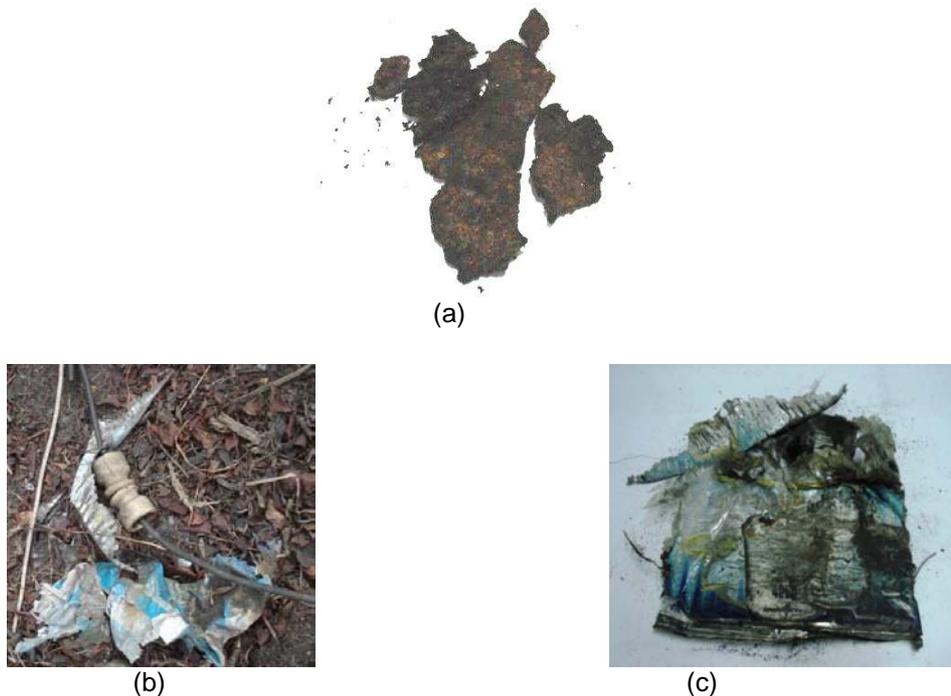


Figura 11 – Embalagens de leite em pó dispostas na superfície do ambiente industrial: a) fragmentos das latas após 6 anos; b) local onde estavam dispostas as latas e o saco plástico laminado por 7 anos (nesse período não foi possível identificar fragmentos das latas no campo de teste); c) detalhe do saco plástico laminado após 7 anos.



Figura 12 – Embalagens de óleo de soja dispostas na superfície do ambiente industrial: a) fragmentos das latas e garrafa PET após 6 anos; b) local onde estavam dispostas as latas e a garrafa PET após 7 anos (nesse período não foi possível identificar fragmentos das latas no campo de teste).



(a)



(b)

Figura 13 – Embalagens de derivados de tomate dispostas na superfície do ambiente industrial por 7 anos: a) fragmentos das latas após limpeza b) detalhe da embalagem cartonada após limpeza.



(a)



(b)

Figura 14 – Latas de refrigerante em aço dispostas na superfície do ambiente industrial por 7 anos: a) conjunto de latas; b) detalhe de uma das latas.



(a)



(b)

Figura 15 – Latas de refrigerante em alumínio dispostas na superfície do ambiente industrial por 7 anos: a) conjunto de latas; b) detalhe de uma das latas.

- Não foi possível localizar fragmentos de embalagens metálicas que pudessem ser atribuídos às latas de leite em pó e óleo de soja após o período de 7 anos de teste. Visto que no ano anterior (6 anos de teste) esses fragmentos ainda foram identificados, podemos estimar o tempo de degradação dessas embalagens no ambiente industrial entre 6 e 7 anos.
- O saco plástico laminado de leite em pó apresentava intensa delaminação, ausência de algumas partes e descoloração; a garrafa PET de óleo de soja estava íntegra, sem quaisquer sinais de início de desintegração.
- As latas de derivados de tomate apresentaram um elevado grau de degradação, mas ainda foi possível a identificação de seus fragmentos; a embalagem cartonada de derivados de tomate apresentou intensa delaminação, tendo sido identificadas as porções relativas à folha de alumínio e ao filme plástico.
- As cinco latas de refrigerante em aço exibiram um elevado estágio de oxidação, com partes ausentes e perda da resistência mecânica; as tampas de alumínio se apresentaram bem preservadas.

- As cinco latas de refrigerante em alumínio apresentavam a impressão descolorida, sendo que em algumas havia pequenas perfurações; não havia sinais de desintegração dos materiais.

3.3 Ambiente Marinho

O Quadro 7 apresenta os valores dos parâmetros atmosféricos monitorados no campo de teste. Esses parâmetros foram medidos ao longo dos 7 anos mas para efeito de exemplificação são mostrados aqueles relativos ao sétimo ano do projeto. Esses valores permitem visualizar o grau de agressividade desse ambiente marinho.

Quadro 7 - Parâmetros obtidos no monitoramento da atmosfera do ambiente marinho no sétimo ano do estudo

	Média Mínima Mensal	Média Máxima Mensal
Temperatura (°C)	19,9	26,3
Umidade Relativa (%)	81	94
Cloreto (mg/m ² /dia)	188,7	207,7
	Mínimo Acumulado Mensal	Máximo Acumulado Mensal
Precipitação (mm)	15,6	168,0

Nas Figuras 16 a 20 são apresentadas fotos das embalagens após os 7 anos de exposição. Naqueles casos onde, após esse período, não foi possível mais identificar a presença das embalagens de aço, estão apresentadas as fotos relativas a 6 anos de teste.



Figura 16 – Latas de leite em pó após exposição na superfície do ambiente marinho por 6 anos (após 7 anos não foi possível identificar fragmentos dessas latas no campo de teste).



(a)



(b)

Figura 17 – Embalagens de óleo de soja dispostas na superfície do ambiente marinho: a) fragmentos das latas e garrafa PET após 6 anos; b) garrafa PET após 7 anos (nesse período não foi possível identificar fragmentos das latas nesse campo de teste).



Figura 18 – Embalagens de derivados de tomate dispostas na superfície do ambiente marinho por 7 anos: a) fragmentos das latas após limpeza; b) detalhe da embalagem cartonada após limpeza.



Figura 19 – Latas de refrigerante em aço dispostas na superfície do ambiente marinho por 7 anos: a) resíduos das latas no local onde estavam dispostas; b) fragmentos das latas após limpeza.



Figura 20 – Latas de refrigerante em alumínio na superfície do ambiente marinho por 7 anos: a) latas após limpeza; b) detalhe de uma das latas após limpeza.

- Não foi possível localizar fragmentos de embalagens metálicas que pudessem ser atribuídos às latas de leite em pó e óleo de soja após o período de 7 anos de teste. Visto que no ano anterior (6 anos de teste) esses fragmentos ainda foram identificados, podemos estimar o tempo de degradação dessas embalagens no ambiente marinho entre 6 e 7 anos.
- O saco plástico laminado não foi localizado, provavelmente pelo fato das partes delaminadas terem sido deslocadas do campo de teste pela ação dos ventos e chuvas; a garrafa PET de óleo de soja não apresentou sinais visíveis de degradação.
- Das latas de derivados de tomate foram visualizados apenas fragmentos, identificados em função da litografia externa; a maior parte da embalagem cartonada era representada pela folha de alumínio e pelo plástico delaminado, havendo ainda fragmentos de papel.
- As latas de refrigerante em aço estavam com o fundo e o corpo bastante fragmentados, não sendo possível identificar a impressão; as tampas de alumínio apresentavam algumas manchas de oxidação, mas sem sinais de desintegração.

- As latas de refrigerante em alumínio apresentaram a superfície externa com a impressão descolorida e com uma alta rugosidade, provavelmente em função de um processo de corrosão superficial; não foram observadas perfurações e/ou sinais de fragmentação das latas.

3.4 Leito do Rio

Visto que nos 5 primeiros anos do projeto foi verificada uma velocidade de degradação das embalagens relativamente lenta nesse ambiente e em função do número limitado de embalagens de teste, as mesmas não foram retiradas para avaliação ao final dos 6 e 7 anos. Isso foi feito para permitir a continuidade do projeto para tempos mais prolongados. Desse modo estaremos apresentando os resultados relativos à última avaliação, feita após 5 anos de exposição.

No quadro 8 são apresentados os parâmetros físico-químicos da água do rio Paraíba do Sul no local de imersão das embalagens. Esses parâmetros estão sendo medidos ao longo de todo o projeto, mas para efeito de exemplificação serão mostrados aqueles relativos ao quinto ano de exposição.

Quadro 8 - Parâmetros físico-químicos obtidos no monitoramento do rio Paraíba do Sul no quinto ano do estudo

	Valor Mínimo	Valor Máximo
Temperatura (°C)	21	27
Cálcio (mg/l)	3,03	3,95
Magnésio (mg/l)	1,07	1,28
Demanda Química de Oxigênio – DQO (mg/l)	6,0	31,0
Alcalinidade Total (% CaCO ₃)	0,01	0,03
Cloreto (mg/l)	0,71	7,8
Condutividade Elétrica (µS/cm)	69,6	94,0
pH	5,5	7,2
Matéria Orgânica (mg/l)	0,91	8,4

As Figuras 21 a 25 apresentam as fotos obtidas das embalagens após 5 anos de imersão no leito do rio.



(a)



(b)

Figura 21 – Embalagens de leite em pó imersas no leito do rio por 5 anos: a) latas e saco plástico laminado imediatamente após a retirada do rio; b) latas e saco plástico laminado após limpeza.



(a)



(b)

Figura 22 – Embalagens de óleo de soja imersas no leito do rio por 5 anos: a) latas e garrafa PET imediatamente após a retirada do rio; b) latas e garrafa PET após limpeza.



(a)



(b)

Figura 23 – Embalagens de derivados de tomate imersas no leito do rio por 5 anos: a) latas e embalagem cartonada imediatamente após a retirada do rio; b) latas e embalagem cartonada após limpeza.



(a)



(b)

Figura 24 – Latas de refrigerante em aço imersas no leito do rio por 5 anos: a) latas imediatamente após a retirada do rio; b) latas após limpeza.



(a)



(b)

Figura 25 – Latas de refrigerante em alumínio imersas no leito do rio por 5 anos: a) latas imediatamente após a retirada do rio; b) latas após limpeza.

- Das latas de leite em pó restaram as recravações e fragmentos do corpo/fundo; apenas uma das latas apresentava-se com maior grau de integridade; o saco



plástico laminado apresentava algumas regiões com perfuração e perda da aderência do filme plástico, mas ainda com relativa integridade.

- Duas latas de óleo de soja estavam parcialmente destruídas, enquanto as outras três apresentavam regiões com intensa oxidação no corpo e/ou solda, mas ainda com um elevado grau de integridade; a garrafa PET não apresentava sinais de degradação.
- Todas as cinco latas de derivados de tomate apresentavam uma significativa oxidação, principalmente nas recravações e soldas, havendo rompimento em três latas nessa região; entretanto essas embalagens ainda apresentavam elevado grau de integridade e resistência mecânica; a embalagem cartonada apresentava o filme plástico externo e a folha de alumínio, sem a camada de cartão.
- As cinco latas de aço para refrigerante ainda apresentavam a impressão externa com relativa nitidez, havendo manchas escuras em algumas regiões; três latas estavam com perfurações no corpo e/ou fundo mas sem sinais de desintegração mecânica.
- As cinco latas de alumínio para refrigerante exibiam a impressão externa levemente descolorida e extensas manchas escuras; nenhuma lata apresentava perfuração e todas exibiam elevado grau de integridade.

4 CONCLUSÕES

A análise global dos resultados apresentados possibilitaram uma ordenação da agressividade dos quatro campos de teste: ambiente marinho > ambiente industrial > leito do rio > solo.

Dentre as embalagens de aço, a cinética de degradação nos quatro ambientes de teste seguiu a seguinte ordem: latas de leite em pó > latas de óleo de soja > latas de derivados de tomate > latas de refrigerante. Esse fato se deve à ausência de revestimentos orgânicos nas latas de leite em pó e à presença desses revestimentos apenas na face externa das latas de óleo de soja. As latas de refrigerante apresentaram o menor grau de desintegração em função do maior efeito barreira do verniz interno e da impressão externa utilizados nesse tipo de embalagem.

Desde os primeiros anos do estudo, todas as embalagens de aço expostas nos ambientes marinho e industrial apresentaram um significativo grau de degradação. Para o caso das latas de leite em pó e óleo de soja foi verificada uma total desintegração no período entre 6 e 7 anos nesses dois ambientes. As latas de derivados de tomate e de refrigerante ainda não foram completamente degradadas. Dentre as embalagens produzidas com outros materiais, os sacos plásticos laminados e as embalagens cartonadas apresentaram as maiores taxas de degradação nos ambientes marinho e industrial. As latas de alumínio e as garrafas PET foram as que sofreram menor ação desses meios.

Nenhum tipo de embalagem de aço pode ser considerada totalmente degradada nas condições de imersão no rio e enterradas no solo, após 5 anos e 7 anos de acompanhamento respectivamente. Novamente, o maior estágio de degradação correspondeu às latas de leite em pó e às latas de óleo de soja. As embalagens de outros materiais apresentaram uma cinética de decomposição ainda mais lenta, sendo que mais uma vez as latas de alumínio e as garrafas PET foram aquelas que exibiram menor grau de desintegração nos ambientes em estudo.

Agradecimentos

Os autores agradecem a toda a equipe técnica da CSN envolvida no projeto, às empresas Companhia Metalúrgica Prada, Nestlé Brasil Ltda e Companhia Metalic do Nordeste pelo fornecimento das embalagens de aço utilizadas no trabalho, à professora Isabel Cristina Pereira Margarit (COPPE/UFRJ), Thaís Fagury (ABEAÇO), Marcos Sérgio de Souza, Fabíola Zerbini, Cristina Hitoe Makino e Verônica Pascoarelli pela participação em algumas etapas do projeto.

REFERÊNCIAS

- 1 BROMANDER, A. L.; "Self-destruction" of metal containers: results from a 20 year long environmental test run ; The Canmaker, West Sussex, , v. 2, p. 17-19, 1989.
- 2 SANTOS, J. L. C.; ARAUJO, I.; SANTOS, W. R.; SÁ, T. F.; GATTI, J. A. B.; DANTAS, S. T.; Average time estimate for the degradation of steel packagings in tropical environments; 22nd IAPRI Symposium, Campinas, Brazil, 2005.