

# AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE ESTRUTURAL E DA CORROSÃO DE LATAS UTILIZADAS NAS INDÚSTRIAS DE REFRIGERANTES<sup>1</sup>

Maria M. R. Castro<sup>2</sup>  
Fabrícia Gonçalves<sup>3</sup>  
Elisa D. Melo<sup>3</sup>  
José Augusto Dumont<sup>3</sup>  
Loriende A. Silva<sup>3</sup>  
Li Yi Hui<sup>3</sup>  
Adriana S. Ito<sup>3</sup>

## Resumo

As bebidas carbonatadas, comumente chamadas de refrigerantes, são soluções eletrolíticas que, em contato com a parte metálica interna das latas, podem iniciar um processo corrosivo, até mesmo quando essa está revestida por uma película protetora. A corrosão no interior dessas latas pode gerar íons indesejáveis, que, dependendo do seu nível de concentração, tornam o refrigerante impróprio para o consumo humano. Para se determinar a taxa de corrosão e a eficiência do acondicionamento dessas embalagens metálicas na presença de diferentes marcas e tipos de bebidas carbonatadas, ensaios de corrosão do sistema foram realizados. Além disso, foram efetuadas análises de superfície e da estrutura do metal. As latas estudadas são feitas de dois tipos de materiais: alumínio e aço. Os resultados indicaram um aumento na concentração de íons metálicos nos diferentes refrigerantes avaliados, principalmente para as amostras de latas com deformação.

**Palavras-chave:** Bebidas carbonatadas; Embalagens metálicas; Ensaios de corrosão.

## CORROSION AND STRUCTURAL INTEGRITY EVALUATION OF SODA CANS

### Abstract

Carbonated beverages, popularly called sodas, are electrolytic solutions and their contact with the internal metallic surface of a can may initiate a corrosive process. This could happen even when the surface has a protective film. If the corrosive process does occur, there is a possibility of generation of undesirable ions which, depending on their concentration levels, could render the soda improper for human consumption. In this work, laboratory tests were performed to determine corrosion rate of soda cans and to evaluate the effect of its metallic casing integrity, of different soda brands and flavors. Aluminum and steel cans were used in the study. Surface and metallic structure analysis of the metallic casing were also carried out. The results have indicated an increase in the concentration of metallic ions for the different sodas studied. This concentration was noticeably higher in the experiments with cans previously submitted to superficial deformation.

**Key words:** Carbonated beverages; Metallic casing; Corrosion tests.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Dr., Membro da ABM, Professor Associado, Laboratório de Corrosão e Engenharia de Superfície do Departamento de Engenharia Química da UFMG*

<sup>3</sup> *Engenheiro Químico, Laboratório de Corrosão e Engenharia de Superfície do Departamento de Engenharia Química da UFMG*

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é hoje o país com a terceira maior indústria de refrigerantes do mundo, ficando atrás somente dos Estados Unidos e México.<sup>(1)</sup> De acordo com a legislação brasileira, refrigerante é a bebida gaseificada obtida pela dissolução, em água potável, de suco ou extrato vegetal de sua origem, edulcorantes, agentes aromáticos naturais e aditivos diversos, devidamente autorizados. Os aromas são sempre naturais e podem conter corantes naturais e/ou artificiais, conservantes, emulsificantes e estabilizantes autorizados. Os refrigerantes devem satisfazer as seguintes condições gerais: ser elaborado exclusivamente com produtos autorizados para cada tipo de bebida; ter aspecto normal, cor, aroma e sabor característicos, e ter isenção de impurezas e microrganismos, em qualquer de suas formas. Em linhas gerais, na produção de refrigerantes têm-se como principais componentes: água, xarope de açúcar/adoçantes, acidulantes, estabilizantes, conservantes, corantes, aromatizantes e anidrido carbônico.<sup>(2)</sup> A principal matéria-prima é a água, com uma parcela de 90% do total. Assim, a água deve ser incolor e livre de sabor estranho, de microrganismos contaminantes, de íons ferro e de matéria orgânica, além de apresentar baixa alcalinidade. O principal adoçante utilizado em refrigerantes é o açúcar (sacarose), podendo algumas vezes utilizar adoçantes artificiais (sacarina, aspartame, dentre outros). O açúcar constitui de 8% a 14% do produto final formado, e é responsável pelo sabor do produto, além de contribuir com o aroma. Os demais componentes são adicionados em quantidades inferiores a 1%.<sup>(3)</sup> As bebidas dietéticas e bebida de baixa caloria, ditas como *diet* e *light*, apresentam características de composição e qualidade comparáveis à bebida convencional, exceto quanto aos teores de açúcares (monossacarídeos e dissacarídeos) e quanto aos aditivos utilizados. A bebida *diet* deve ter o conteúdo de açúcares adicionado normalmente na bebida convencional inteiramente substituído por edulcorantes, que podem ser hipocalóricos ou não calórico, naturais ou artificiais, com teor de açúcares (monossacarídeos e dissacarídeos) inferiores a 0,5 g/100 mL de bebida pronta para o consumo. No refrigerante dietético é tolerada a presença de mono e dissacarídeos acima deste limite, quando provenientes exclusivamente da adição do suco de fruta na sua concentração natural, não sendo, portanto, considerados açúcares adicionados. Já a bebida *light* é a bebida que deve ter o conteúdo de açúcares adicionado normalmente na bebida convencional inteiramente substituído por edulcorantes hipocalóricos e não calóricos, e cujo teor calórico não ultrapasse 20 kcal/100 mL da bebida.<sup>(3)</sup> A adição de ácidos ao produto, além de colaborar com o sabor e aroma, propicia a conservação, devido à redução do pH abaixo de 4,0, combinado com a pasteurização ou adição de conservantes químicos. Os ácidos possuem importância considerável para determinar a qualidade sensorial dos refrigerantes, pois se deve cuidar para que a formulação tenha um adequado balanço de açúcares-ácidos. Em refrigerantes de frutas, o ácido cítrico é o mais utilizado.

Parte da conservação dos refrigerantes se deve ao baixo pH e, assim, apresentam baixa susceptibilidade ao crescimento de microrganismos. Mas, apesar disso, requerem o uso de conservantes para prevenir a aparição de alterações em períodos prolongados de armazenamento à temperatura ambiente. São utilizados quatro tipos de conservantes: sulfito, ácido benzóico e benzoatos, ésteres p-hidroxibenzóico e ácido sórbicos e sorbatos, sendo os benzoatos os mais utilizados.

O refrigerante deve ser obrigatoriamente saturado de dióxido de carbono, industrialmente puro, não sendo permitida a associação de açúcares com edulcorantes hipocalóricos e não calóricos na sua fabricação. O controle da carbonatação e das propriedades do xarope e da água possuem uma importância crítica.

O mercado de embalagens metálicas para bebidas apresentou uma rápida evolução nos países desenvolvidos, principalmente nos Estados Unidos, e mais recentemente exibiu um significativo crescimento nos países em desenvolvimento. Considerando os dois tipos de embalagens (alumínio e aço), a oferta de latas de alumínio predomina nas Américas do Norte e do Sul, ao passo que no Japão e na Europa, a partir de 1996, a participação de latas de aço foi maior. A indústria de latas para bebidas é altamente concentrada, já que apenas cinco fabricantes de latas de alumínio produzem mais de 60% do total consumido no mundo. Em relação ao consumo, também se verifica uma grande concentração, visto que 60% da produção mundial de latas de alumínio são adquiridos pelos dois maiores produtores de refrigerantes, a Coca-Cola e a Pepsi, em conjunto com as três principais cervejarias dos Estados Unidos.

Fabricadas há mais de um século e meio, as latas inicialmente utilizavam o aço como matéria-prima. Somente em meados da década de 50 do século XX, surgiram os primeiros desenvolvimentos para produção de latas de alumínio na Europa. Especula-se que a primeira lata de alumínio foi produzida em 1958, a pedido de uma cervejaria suíça.<sup>(4)</sup>

A primeira lata de cerveja feita de folha-de-flandres nos Estados Unidos, em 1935, pesava 85 gramas. Hoje, a lata feita de alumínio pesa menos de 15 gramas.

Em 1963, a Reynolds Metals Co., empresa com sede no estado da Virginia, deu início à produção de latas de alumínio usadas como embalagens para bebidas gaseificadas. Nos anos 60 foram introduzidas as latas de alumínio com o sistema de abertura *easy-open* (“fácil de abrir”). Mais tarde, em meados dos anos 70, foi introduzido o sistema de abertura *stay-on-tab* (anel “preso à tampa”). Ao longo dos anos seguintes, novas tecnologias foram desenvolvidas e aplicadas à crescente indústria norte-americana e mundial.<sup>(4)</sup>

A lata de 12oz (340 mL) é o tamanho mais comum no mercado brasileiro. Utilizada pela maior parte dos envasadores para refrigerantes e cervejas, foi lançada pela Rexam South America no Brasil em outubro de 1989, e rapidamente substituiu as antigas latas de aço de três peças (tampa, corpo e fundo).<sup>(5)</sup>

O processo de produção de latas vem apresentando constante evolução, principalmente no que se refere à espessura da chapa utilizada, o que se traduz em menor peso das latas e, conseqüentemente, em maior economia, visto que a matéria-prima, aço ou alumínio, é o item de maior influência no custo de produção. A fragilidade das latas vazias é substancialmente melhorada após o envasamento das bebidas carbonatadas devido à pressão interna exercida pela expansão do gás carbônico.<sup>(6)</sup>

Os refrigerantes, são soluções eletrolíticas que, em contato com a parte metálica interna das latas, podem iniciar um processo corrosivo. Essa corrosão no interior das latas pode gerar íons indesejáveis, que dependendo do seu nível de concentração nos refrigerantes, os tornam impróprios para o consumo humano.<sup>(7,8)</sup> Dentre os fatores que influenciam na velocidade de corrosão estão a quantidade de oxigênio e sais dissolvidos na solução, o que pode fazer com que o pH varie de modo significativo. O aumento na concentração de oxigênio acarreta um aumento da velocidade de corrosão. Os sais dissolvidos podem atuar acelerando (ação

despolarizante – aumento da condutividade) ou retardando (ação polarizante – precipitação de produtos de corrosão, diminuição da solubilidade de oxigênio) a velocidade de corrosão. O pH tem influência na cinética das reações e na solubilidade dos produtos de corrosão. Assim como os sais dissolvidos, a temperatura também pode fazer com que a velocidade de corrosão aumente ou diminua.

Uma forma encontrada pelas indústrias para diminuir o contato entre o material metálico e o refrigerante no interior das latas é a aplicação de uma resina protetora.

Neste trabalho é estudado o fenômeno da corrosão em latas de refrigerantes. As latas utilizadas são feitas de dois tipos de material metálico: alumínio e aço. A parte interna das latas encontra-se em contato com o refrigerante (solução eletrolítica).

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste trabalho foram utilizadas latas de aço e alumínio, por estas serem utilizadas comercialmente no nordeste e sudeste do país, respectivamente. Simulando possíveis danos ocorridos na logística de distribuição das latas de refrigerante, algumas amostras foram deformadas através de quedas e pancadas. Os tipos de refrigerantes analisados foram refrigerante de cola, refrigerante de cola light (ou zero) e refrigerante de laranja.

Foram feitas análise de superfície, ensaios de corrosão de imersão e eletroquímicos. Além disso, as amostras metálicas e as soluções antes e depois dos ensaios de imersão foram analisadas através de absorção atômica.

### **2.1 Análise de Superfície**

Para a análise de superfície, utilizando-se microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectrometria em energia dispersiva de raios X (EDS), o equipamento utilizado foi o Microscópio Eletrônico de Varredura da marca JEOL, modelo JSM-6360LV, no qual é acoplado um Espectrômetro de Energia Dispersiva de Raios-X da marca Thermo Noran, modelo Quest. Foram analisadas amostras de uma lata de alumínio com e sem deformação e amostras de uma lata de aço e de uma folha de flandres, ambas sem deformação, somente no tempo zero dos testes de corrosão.

### **2.2 Composição química das latas**

Para avaliar a composição química das latas de refrigerantes de alumínio e aço, foi feita a dissolução das latas em água régia (1HCl:3HNO<sub>3</sub>). A solução foi então analisada por espectrometria absorção atômica. O espectrofotômetro de absorção atômica utilizado foi o EBC Avanta, com chama de acetileno.

### **2.3 Ensaios de Imersão**

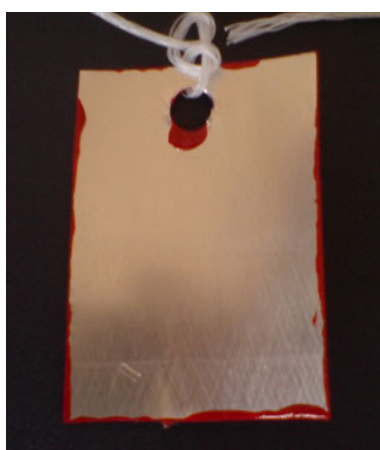
Para os ensaios de imersão, latas de alumínio e de aço de dois tipos diferentes de refrigerantes, de cola e de laranja, foram cortadas no tamanho aproximado de 3 cm x 4 cm. Em cada amostra, foi feito um furo na parte superior para sua sustentação. O lado externo e as bordas das amostras de lata foram pintados, utilizando-se esmalte vermelho, como pode ser observado na Figura 1(A).

A camada de esmalte foi utilizada para que apenas a parte interna das amostras ficasse em contato com a solução, simulando as latas de refrigerantes que se encontram no mercado.

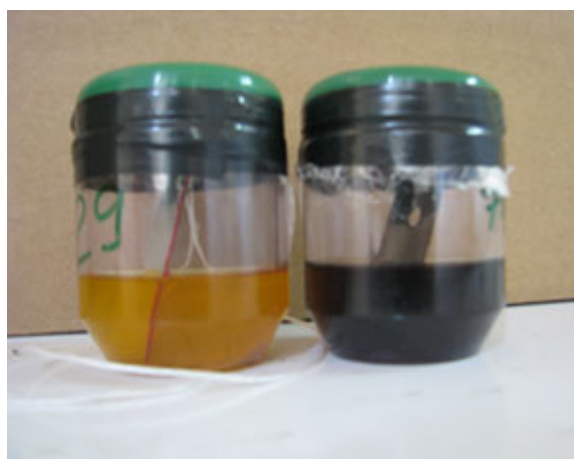
Algumas amostras de latas do refrigerante de cola, após serem cortadas e antes de serem pintadas, foram amassadas com a ajuda de um objeto metálico.

Cada amostra foi imersa em aproximadamente 40 mL de refrigerante, utilizando como suporte um pequeno fio de nylon. As soluções utilizadas nos ensaios de imersão foram refrigerantes correspondentes aos sabores das latas das quais as amostras foram recortadas. Entretanto, de maneira a garantir que a composição do refrigerante utilizado fosse a mesma para todas as amostras, utilizou-se solução refrigerante de embalagem PET.

Os frascos com as amostras imersas foram vedados com filme plástico e fita isolante. Em seguida, foram identificados e dispostos na bancada do laboratório, em local sem radiação solar direta, como mostra a Figura 1(B).



(A)



(B)

**Figura 1:** (A): Amostras utilizadas no ensaio de imersão. (B): Ensaio de imersão.

A duração dos testes foi de 60 dias com retiradas quinzenais, em duplicata. O total de amostras utilizadas foi de 48: 24 de alumínio e 24 de aço. As amostras eram retiradas, pesadas na balança analítica Mettler AE200 e os respectivos refrigerantes analisados quanto ao teor de alumínio, ferro e cromo através de absorção atômica. Foram analisados também o pH e a condutividade das soluções. O pH-metro e condutímetro utilizado foi o Titroline Alpha Sc.

## 2.4 Ensaios de Corrosão em Latas Fechadas

Com a finalidade de se avaliar a corrosão *in locu* nas latas de refrigerante, foram adquiridas latas de alumínio e de aço fechadas de cada um dos três tipos de refrigerantes analisados com datas de validade iguais para o mesmo tipo de refrigerante. Em intervalos de 15 dias, foram abertas duas latas de cada tipo de refrigerante e analisadas as composições desses refrigerantes, quanto ao teor de alumínio, ferro e cromo, por espectrometria de absorção atômica.

Para se analisar amostras com deformação, como não foi possível selecionar um grupo de latas com o mesmo estado de deformação física, algumas latas foram jogadas de uma altura de aproximadamente 1 metro.

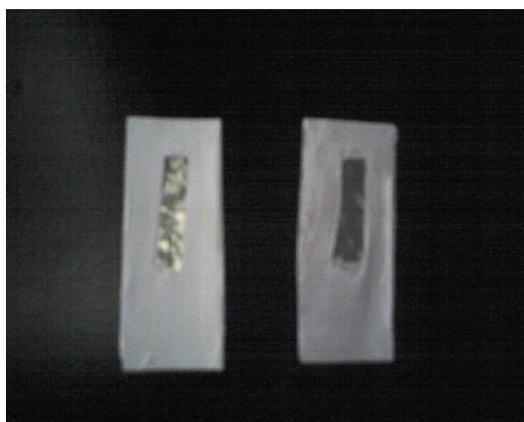
Os ensaios tiveram a duração de 60 dias, com as latas sendo avaliadas em duplicata. Para o refrigerante de cola foram avaliadas latas com e sem deformação, já para os refrigerantes de cola light (zero) e de laranja foram ensaiadas somente latas sem deformação, num total de 40 latas.

Os ensaios com as latas de aço foram realizados em menor quantidade e em data posterior, dada a dificuldade em se obter este tipo de lata na região sudeste do país.

Os ensaios tiveram a duração de 15 dias e para cada tipo de refrigerante foram avaliadas latas com e sem deformação num total de 6 latas.

## 2.5 Ensaios Eletroquímicos

Foram cortados dois pares de amostras das latas de alumínio e de aço com tamanho aproximado de 2,0 cm x 0,5 cm cada. Uma amostra de cada material foi mantida sem deformação física e outra foi deformada de forma a expor o metal sob a camada de resina. Os corpos de prova tiveram suas extremidades e parte posterior recobertas com um filme de Teflon®, deixando apenas uma área de 1 cm<sup>2</sup> descoberta (Figura 2). Esta área descoberta foi a área de contato entre o corpo de prova e a solução eletrolítica do ensaio.



**Figura 2:** Amostras utilizadas no ensaio potenciodinâmico.

Optou-se por realizar o teste com apenas um tipo de solução eletrolítica, no caso o refrigerante de cola. Para esses ensaios, foi utilizado o potenciostato Omnimetra PG 29 ligado *online* à célula eletroquímica, eletrodo auxiliar (CE - fio de platina, Pt), eletrodo de referência (REF 1 - Ag/AgCl), eletrodo de trabalho (amostra). Os ensaios foram realizados segundo procedimento descrito por Castro<sup>(9)</sup>.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Análises de Superfície

As análises de microscopia eletrônica de varredura sofreram grande interferência, já que houve um impedimento da incidência e emissão dos elétrons, tornando as imagens turvas. As superfícies das amostras foram queimadas, o que comprova a existência de uma resina sobre a superfície interna das latas.

A análise da lata de alumínio com deformação indicou uma maior condutividade, uma vez que as deformações da superfície expuseram o metal sob a resina.

Pelos resultados obtidos no EDS para a lata de aço, não foi observada a presença de estanho. Uma vez que essa é uma técnica de análise de superfície, o seu resultado identificou apenas o recobrimento de estanho na amostra de folha de flandres.

Foram ainda observados picos de carbono nas análises de EDS, comprovando a presença de uma resina de natureza orgânica.

### 3.2 Composição Química das Amostras

Os resultados de composição química obtidos para as amostras metálicas são mostrados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Composição química das amostras metálicas

Material	Massa (g)	Concentrações detectadas (%)				
		Ferro	Alumínio	Estanho	Cromo	Manganês
Alumínio	0,39	0,33	72,00	0,02	0,02	0,69
Aço	0,54	95,00	0,04	0,10	0,01	0,24

Percebe-se que, para as latas de alumínio e de aço, a proporção de alumínio e de ferro, respectivamente, foram predominantes. Os outros metais foram detectados em quantidades pouco significativas, podendo ser elementos da liga metálica ou impurezas.

Para a lata de aço foi também detectado o estanho. A presença do estanho, de alguma maneira, contraria a análise de EDS. No EDS - técnica de análise de superfície - a resina pode ter mascarado a detecção deste metal. Além disso, sendo o estanho um componente da liga metálica e não um filme superficial não seria detectado pela análise de EDS.

### 3.3 Ensaio de Imersão

#### 3.3.1 Análises gravimétricas

Nestes ensaios, as análises gravimétricas não detectaram nenhuma tendência significativa a variação da massa com o tempo de exposição em amostras do mesmo grupo. A não representatividade dos resultados pode estar relacionada à dificuldade em se analisar os dados para os tempos muito curtos de exposição das amostras.

#### 3.3.2 Análise da solução de imersão

Os resultados obtidos para medidas de pH e condutividade não apresentaram variação significativa para um mesmo tipo de refrigerante ao longo do teste de imersão. Os valores de pH para o tempo zero foram de: 2,52 para o refrigerante de cola, 3,00 para o refrigerante de cola light (zero) e de 3,58 para o de laranja.

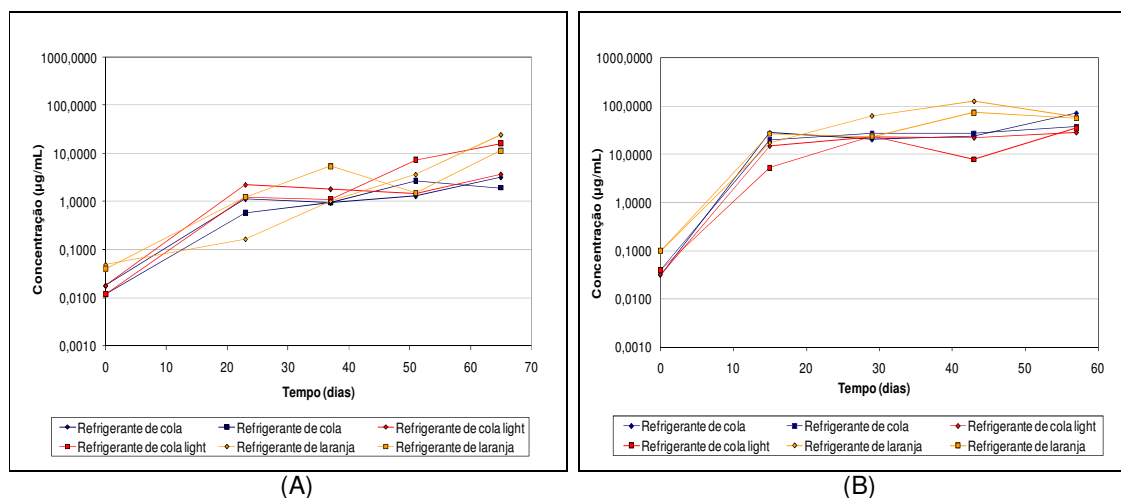
Com base nos resultados de composição química das amostras, foram selecionados os metais a serem analisados nas soluções através da técnica de absorção atômica. Estes metais selecionados foram: ferro, alumínio e cromo. A escolha do cromo se deve ao fato deste metal possuir características cancerígenas.

Os resultados obtidos apresentaram altos valores de desvio padrão, sendo esses dados não avaliados pelos seus valores absolutos, e sim, pela comparação de amostras similares em diferentes tempos.

Nas amostras de alumínio, os diferentes tipos de refrigerantes e a presença de deformação nas placas não foram fatores determinantes na dissolução do alumínio na solução, como mostra a Figura 3(A). Observou-se que a concentração de alumínio nas soluções aumentou linearmente, em escala logarítmica, com o decorrer do tempo, sendo os valores iniciais entre 0,01  $\mu\text{g/mL}$  e 0,05  $\mu\text{g/mL}$  e finais de 2  $\mu\text{g/mL}$  a 24  $\mu\text{g/mL}$ .

Os resultados para ferro nas soluções em contato com placas de alumínio, não tiveram variação significativa em relação ao tempo, isso indica que não houve a dissolução do ferro contido nas placas. Porém, as análises detectaram teores de ferro, possivelmente, provenientes do próprio refrigerante. Já para as concentrações de cromo nas soluções em contato com placas de alumínio, todos os resultados foram próximos de zero.

Nas amostras com placas de aço, os diferentes tipos de refrigerantes e a presença de deformação nas placas também não foram fatores determinantes na dissolução de ferro na solução, como mostra a Figura 3(B). Observou-se que a concentração de ferro nas soluções aumentou significativamente nos quinze primeiros dias de ensaio. Após esse período, observou-se uma estabilização da concentração de ferro nas soluções. Os valores iniciais observados foram de, aproximadamente, 0,05  $\mu\text{g/mL}$ , e os valores finais foram, em média, de 50  $\mu\text{g/mL}$ .



**Figura 3:** (A) Concentração de alumínio em função do tempo para ensaios com placas de alumínio. (B) Concentração de ferro em função do tempo para ensaios com placas de aço.

As placas de aço retiradas após 60 dias de ensaio apresentaram sinais visíveis de corrosão em suas bordas (Figura 4). O esmalte e a estampa externa das placas de aço não resistiram ao ambiente do ensaio de imersão.

As concentrações de cromo e alumínio nas soluções imersas com placas de aço foram insignificantes.





Figura 4: Placa de aço após 60 dias de imersão.

### 3.4 Ensaio de Imersão em Latas Fechadas

Os testes realizados nas latas de refrigerante fechadas revelaram que houve, nos primeiros 15 dias, um aumento considerável de metais na solução, principalmente para as latas que foram amassadas. Após aproximadamente 35 dias, houve uma tendência em estabilizar a concentração de alumínio na solução. Para as amostras dos 45 dias, houve um declínio na concentração, mas que provavelmente se refere a alterações na curva de calibração utilizada.

As análises de espectrometria de absorção atômica, assim como nos ensaios de imersão, apresentaram altos valores de desvio padrão. Assim, os valores foram avaliados de forma comparativa.

Na Figura 5 (A) são apresentados os resultados de concentração de alumínio nos refrigerantes para as latas de alumínio ao longo de 60 dias. As duplicatas foram coincidentes na maioria das amostras analisadas. O refrigerante de cola com a lata amassada atingiu o maior valor de concentração do metal nos primeiros 15 dias. Esse fenômeno se deve a um possível contato do metal diretamente com o refrigerante, devido ao rompimento da resina protetora. Nos dias subsequentes houve uma estabilização na concentração do metal na solução, o que pode ser explicado pela passivação através da formação de óxido de alumínio na superfície do metal exposto. Essa passivação pode ter ocorrido em um curto período de tempo após a deformação da superfície, porém as amostras só foram analisadas quinzenalmente. Para as amostras do refrigerante de cola sem deformação, o incremento na concentração de alumínio no refrigerante foi praticamente linear ao longo do teste, sendo o gráfico em escala logarítmica. Os valores finais obtidos aproximaram-se dos valores para as amostras de lata do refrigerante de cola com deformação. Comparado com os demais tipos de refrigerantes, o de cola comum apresentou concentrações bem mais elevadas, possivelmente devido aos seus menores valores de pH. Com exceção do período inicial, os refrigerantes de cola light e de laranja tiveram comportamentos semelhantes e estáveis ao longo do teste. Nas análises feitas no tempo de 45 dias, houve um desvio generalizado, o que pode ser explicado pela alteração na curva de calibração utilizada.

Para as latas de aço, o curto período do teste e a ausência de amostras em duplicata dificultaram a interpretação dos resultados. Os resultados são apresentados na Figura 5 (B). Observou-se que os valores iniciais são similares aos valores obtidos nos testes de imersão para placas de aço (Figura 3 (B)). Acredita-se

que a tendência observada nos testes de imersão seriam observadas nos testes em latas fechadas, caso houvesse mais tempo para a execução do mesmo.

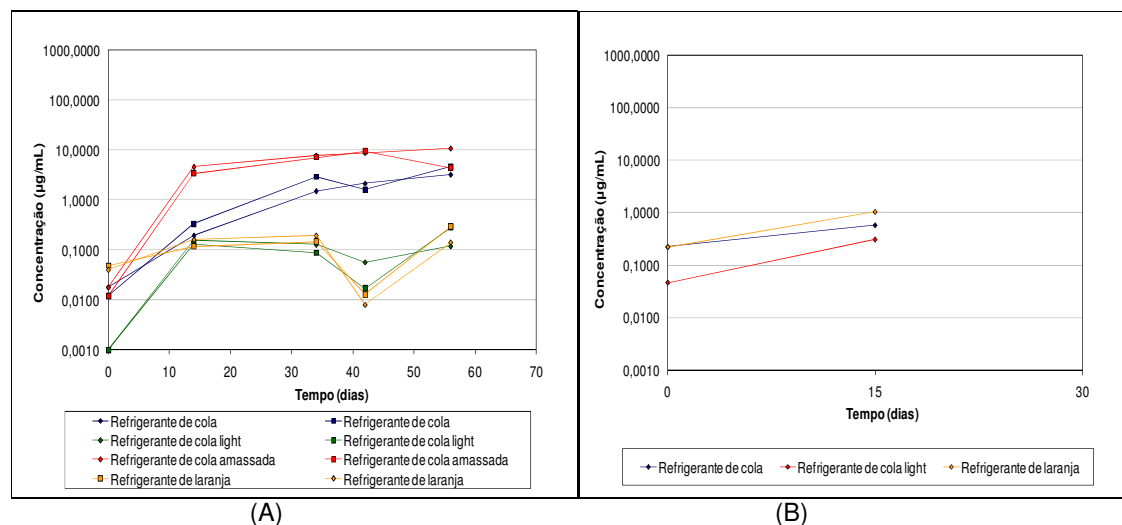


Figura 5: (A) Concentração de alumínio versus tempo para o ensaio em latas de alumínio fechadas (B): Concentração de ferro versus tempo para o ensaio em latas de aço fechadas.

### 3.5 Ensaios Eletroquímicos

Os resultados obtidos nos ensaios potenciodinâmicos, para amostras de latas de alumínio e aço com e sem deformação, são apresentados na Figura 6.

Os testes potenciodinâmicos foram realizados como método complementar e os seus resultados foram analisados de forma qualitativa. Para maior confiabilidade dos dados, seria necessária uma maior quantidade de testes e a utilização de outros procedimentos como, por exemplo, testes potenciodinâmicos cíclicos.

Na Figura 6(A), a curva em vermelho representa os resultados para amostra de alumínio sem deformação. Observou-se um potencial de corrosão de, aproximadamente,  $-550\text{mV}$ . Na região anódica, existe uma tendência à passivação do alumínio na densidade de corrente de, aproximadamente,  $0,0007\text{A/cm}^2$ . Houve uma instabilidade nos valores de corrente, possivelmente devido à resistência imposta pelo filme de resina sobre a corrente. A curva em preto representa os resultados do alumínio com deformação. Observou-se um potencial de corrosão de, aproximadamente,  $-370\text{mV}$ . Na região anódica, existe uma tendência à passivação do alumínio na densidade de corrente de, aproximadamente,  $0,003\text{A/cm}^2$ . A curva obtida para a lata com deformação não apresentou instabilidade na região anódica, o que pode ser explicado pela exposição do metal no eletrólito em função de fissuras no filme de resina. Por este mesmo motivo, a curva da lata com deformação apresentou valores superiores de densidade de corrente na região de passivação anódica. A redução da resistência, quando um mesmo potencial é aplicado, gera um aumento de densidade de corrente.

Para o aço, os valores de potenciais de corrosão para as amostras com e sem deformação foram próximos e com valores de, aproximadamente,  $-400\text{mV}$  (Figura 6 (B)). A passivação anódica ocorreu no valor de, aproximadamente,  $0,0005\text{A/cm}^2$ . Na região anódica, a lata sem deformação apresentou, como nas latas de alumínio, instabilidade e menores valores de densidade de corrente. A justificativa para tal fato pode ser a mesma apresentada para as latas de alumínio.

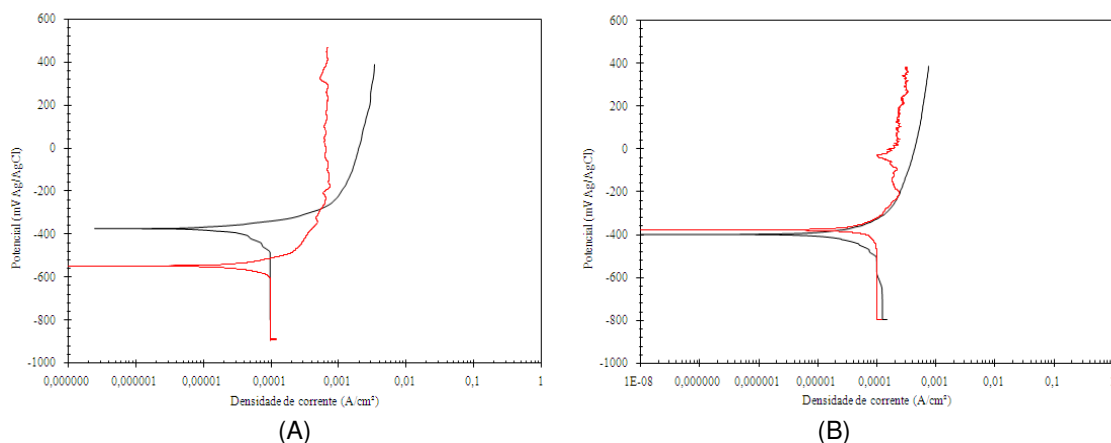


Figura 6:(A) Curva de polarização para latas de alumínio com deformação (curva em preto) e sem deformação (curva em vermelho). (B) Curva de polarização para latas de aço com deformação (curva em preto) e sem deformação (curva em vermelho).

## 4 CONCLUSÕES

Para todos os tipos de refrigerantes estudados, observaram-se evidências de um processo corrosivo no interior das latas.

Os resultados de concentração de metais no teste com as latas de alumínio fechadas retratam de forma realista o fenômeno corrosivo que ocorre no interior das latas, uma vez que não há interferência de agentes externos.

O meio refrigerante de cola foi mais propício para a corrosão interna nas embalagens de alumínio, possivelmente devido ao baixo pH.

Não foi possível qualificar qual é o metal mais apropriado para as latas de refrigerante devido aos poucos resultados para as placas de aço.

Apesar dos valores obtidos através de absorção atômica apresentarem altos desvios, algumas concentrações dos metais na solução ultrapassaram o limite máximo permitido para consumo humano, principalmente para as latas amassadas. Recomenda-se sempre verificar a integridade da lata e a data de validade do produto.

## Agradecimentos

Os autores agradecem aos Departamentos de Engenharia Química e Metalurgia e Materiais da Escola de Engenharia da UFMG, ao Professor Emílio Osório, ao técnico Alexandre Batista e aos colegas Rosa Helena de Sousa Santos e Jorge Ferreira da Silva Filho pelo apoio na realização dos ensaios e obtenção das amostras.

## REFERÊNCIAS

- 1 BEVTECH. O Portal da Bebida. Disponível em: <<http://www.bevtech.com.br/museu/histbrasil.htm>> Acesso em 07 de maio de 2008.
- 2 BIBLIOTECA DIGITAL DA UFMG – Tese: Silvia Vieira. Disponível em: <[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/1843/URMR\\_74SN9M/1/tese\\_silvia\\_vieira.pdf](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/1843/URMR_74SN9M/1/tese_silvia_vieira.pdf)> Acesso em: 07 de maio de 2008.

- 3 MONOGRAFIA.COM - O uso de refrigerantes e a saúde humana. Disponível em: <<http://br.monografias.com/trabalhos2/uso-refrigerantes-saude/uso-refrigerantes-saude2.shtml>> Acesso em:15 de maio de 2008.
- 4 ABRALATAS – Associação Brasileira dos fabricantes de Latas de Alta Reciclabilidade. **A História de Sucesso da lata de Alumínio no Brasil e no Mundo.** Junho de 2004.
- 5 REXAM BEVERAGE CAN AMERICAS – A lata de alumínio. Disponível em: < <http://www.latasa.com.br/produtos/latas.asp>> Acesso em 20 de junho de 2008.
- 6 ANDRADE, Maria Lúcia Amarante; VIEIRA, José Ricardo Martins; CUNHA, Luiz Maurício da Silva. **Latas para cervejas e refrigerantes: O Desafio Alumínio X Aço.**
- 7 ANVISA, Decreto nº 55.871, de 26 de março de 1965. Normas reguladoras do emprego de aditivos para alimentos.
- 8 ANVISA, Portaria nº 1.469, 29 de dezembro de 2000. Controle e Vigilância da Qualidade da água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade.
- 9 CASTRO, Maria M. R. Desenvolvimento e Avaliação de Filmes Cerâmicos, obtidos via Método Sol-Gel, para Modificação da Reatividade Química de Substratos Metálicos. Tese de Doutorado – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais. Fevereiro, 2000.
- 10 **METALS HANDBOOK**, volume 13. 9<sup>th</sup> ed. Metals Park, Ohio, Corrosion ASM International, U.S.A., 1987, 1415p.
- 11 GEMELLI, Enori; **Corrosão de Materiais Metálicos e Sua Caracterização.** LTC - Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 2001.
- 12 GENTIL, V.; **Corrosão.** LTC – Livros Técnicos e Científicos. 5ª ed., Rio de Janeiro, 2007.