

Blowout em tampas de latas para bebidas carbonatadas: Fatores associados e característica da superfície de fratura

Sandra Balan M. Jaime
Pesquisadora do Cetea

Gabriela Cestari
Técnica de Laboratório

A indústria de latas de alumínio para bebidas no Brasil apresentou um crescimento da ordem de 5 % em 2022 em relação ao ano anterior, com 33,4 bilhões de unidades consumidas no período, mesmo em tempos de pandemia de covid-19. A esse crescimento podem ser destacados o uso da lata de alumínio não apenas para a comercialização de cervejas e refrigerantes, mas também para outros produtos, como energéticos, sucos, vinhos, água, produtos *ready to drink* (RTDs), entre outros, que trazem inovação e atendimento às novas expectativas dos consumidores com relação ao seu estilo de vida, gostos e necessidades (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE LATAS DE ALUMÍNIO, 2022).

Embora tenha se observado uma diminuição da incidência nos últimos anos, o problema da abertura espontânea da escotilha de tampas de latas para bebidas, fenômeno também conhecido como *blowout*, é ainda uma das preocupações dos fabricantes de latas, envasadores e distribuidores. Esse tipo de falha do material é denominado por *Stress Corrosion Cracking* – SCC ou fratura decorrente de corrosão sob tensão.

As informações existentes em literatura estão de acordo ao afirmar que, para a ocorrência de problemas decorrentes de SCC, são necessários três fatores: a existência de uma tensão de tração, a susceptibilidade do material e a agressividade do meio.

Segundo DEWEESE et al. (2008), o desenvolvimento da tensão de tração na lata de alumínio para bebidas é decorrente da pressão interna promovida pela carbonatação do produto (a exemplo de refrigerantes, cervejas, entre outras) que, além de conferir conservação e sabor refrescante à bebida, faz-se necessária para garantir a resistência mecânica da embalagem durante as etapas de manuseio e transporte. A pressão interna da embalagem está diretamente relacionada com o teor de carbonatação (CO_2), as características do produto (com ou sem adição de açúcar), o volume do espaço livre no interior da lata e a temperatura. A pressão desenvolvida no interior da lata de bebida é diretamente proporcional à temperatura, sendo que a pressão do gás aumenta com o aumento da temperatura (para um volume do espaço livre constante) e com o aumento da temperatura ocorre ainda a diminuição da quantidade de CO_2 dissolvido no produto. Com respeito à característica do produto, a solubilidade do dióxido de carbono é maior em refrigerantes contendo açúcar do que em refrigerantes zero açúcar. Portanto, latas de refrigerantes com açúcar apresentam menor pressão se comparada a um refrigerante zero açúcar, especialmente em temperaturas acima de 21 °C. Em latas de cervejas, de forma geral, a pressão é menor se comparada aos refrigerantes, devido ao menor teor de carbonatação dessa classe de produto. As cervejas possuem um teor de carbonatação de cerca de 2,8 volume de CO_2 por volume de líquido, enquanto que os refrigerantes possuem uma carbonatação típica com níveis de 3,6 a 4,0 volumes de CO_2 por volume de líquido. Por esse motivo, falhas do tipo SCC são raramente observadas em latas de cerveja. A maioria das cervejas é ainda submetida a um processo de pasteurização à temperatura de cerca de 60 °C após o enchimento, sendo que esta etapa pode contribuir para a autosssecagem das latas e a eliminação de resíduos na região do semicorte que podem contribuir para falhas do tipo SCC.

Portanto, a pressão interna é um parâmetro importante para garantir o bom desempenho mecânico da lata, mas que, por outro lado, pode atuar como um fator crítico para a ocorrência de falhas do tipo SCC, quando exposto a condições externas favoráveis.

A pressão interna promovida pelo produto carbonatado contribui para o desenvolvimento de uma tensão de tração nominal (σ_{nom}) na superfície externa da tampa. Na região inferior do semicorte, por sua vez, ocorre o desenvolvimento de um fator concentrador de tensão que é significativamente superior à tensão nominal (σ_{max}) (mesmo sem considerar o fator geométrico do semicorte). Além da tensão promovida pela pressão interna do produto, o próprio processo de incisão no material para a obtenção do semicorte introduz tensões residuais que, primeiramente, promovem uma região de triaxialidade de tensões ao redor do semicorte e que, por sua vez, podem variar de acordo com a largura, ângulo e ao longo da extensão do semicorte (DEWEESE et al., 2008). As características dessa tensão desenvolvida na região do semicorte se torna ainda mais severa com a redução de espessura do material metálico da tampa.

Dessa forma, o semicorte pode ser entendido como um “canal” que, ao ser tracionado, indica o “caminho” para a formação e/ou a propagação da fratura pela espessura residual do material, com tendência a “abrir o semicorte”, conforme ilustra a Figura 1. Na Figura 2 (a) pode-se observar a seção transversal do semicorte de uma tampa de lata em alumínio íntegro e a Figura 2 (b) apresenta a seção transversal com o início da formação de uma trinca parcial proveniente de corrosão sob tensão.

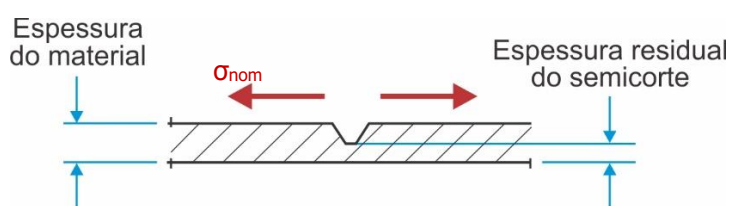


FIGURA 1. Perfil da seção de um semicorte, com indicação dos esforços de tensão de tração (σ_{nom}) (setas em vermelho) desenvolvidas nessa região.

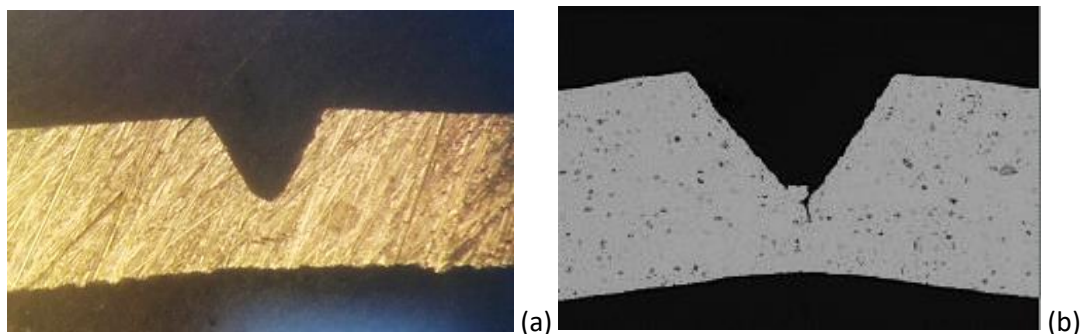


FIGURA 2. Imagem da seção transversal de um semicorte íntegro, obtida por meio de fotografia da imagem ocular visualizada em microscópio óptico com aumento de 10 vezes (a) (Fonte: Cetea/Ital); e uma seção transversal do semicorte com o início da formação de uma trinca parcial (b) proveniente de corrosão sob tensão (DEWEESE, 2008).

Assim como outros materiais de embalagem, as latas de alumínio passaram por alterações ao longo dos anos com tendência à redução na espessura da parede do cilindro, redução no diâmetro e modificação no *design* da tampa de fácil abertura (*Easy Open End – EOE*). Para benefício do consumidor e do meio ambiente, na década de 70-80 foram feitas modificações para que a aba (*tab*) ficasse retida na tampa após a sua abertura. Em 2001, houve ainda uma nova modificação do *design* da região de abertura da tampa que foi ampliada para aumentar a fluidez e facilitar o consumo do produto. Essa tampa foi denominada por *Large Open End (LOE)* (DEWEESE et al., 2008; ASSEM, 2017).

Como exemplo, DEWEESE et al. (2008) comenta que o sistema de semicorte padrão ou antigo apresentava falhas por SCC (*blowout*) nas posições de 4 h e/ou 8 h do semicorte (com a orientação de 12 h sendo a posição do rebite da aba (*tab*) utilizado para a abertura da tampa). O tipo de fratura para esse tipo de tampa foi sempre caracterizado como sendo uma fratura transgranular (entre os grãos do material). Com a introdução da região da abertura ampliada, o local típico para o início da fratura por SCC foi alterado para a posição 6 h e, neste caso, o tipo de fratura foi caracterizado como sendo uma fratura transgranular ou intergranular, dependentemente da intensidade de tensão.

A Figura 3 ilustra os tipos de tampas padrão e com a região da abertura ampliada utilizada atualmente, denominada por *Large Open End (LOE)*, e as respectivas regiões com probabilidade de falha por SCC.



FIGURA 3. Tipos de tampas utilizadas em latas de alumínio padrão (a) e com a região da abertura ampliada (*LOE*) (b) com indicação das regiões com probabilidade de falha por SCC (ASSEM, 2017).

Os locais indicados como característicos para a iniciação da fratura por SCC foram identificados como sendo as áreas de maior tensão (tanto a tensão residual decorrente do processo de formação do semicorte como associada à pressão do produto) e indicam estar associados às posições de menor raio de curvatura e regiões mais retilíneas ao longo do perímetro do semicorte (DEWEESE et al., 2008).

O semicorte é fundamental para garantir a fácil abertura da tampa, porém, em circunstâncias adversas, pode se tornar um local de iniciação para uma falha do tipo SCC. Dessa forma, o controle da espessura residual do semicorte passa a ser também um importante parâmetro a ser controlado, em especial nas regiões com maior probabilidade de ocorrência desse tipo de falha. Segundo DEWEESE et al. (2008), a espessura residual do semicorte deve estar entre 35 a 40% da espessura total do material. Outro fator importante é sempre avaliar a condição de apresentação do semicorte, evitando a ocorrência de oxidação e/ou microfraturas nesta região.

O segundo fator associado à ocorrência de fratura do tipo SCC é a susceptibilidade do material. Para as latas de alumínio para bebidas é importante enfatizar que as tampas são produzidas a partir de uma liga da série 5XXX - Alumínio-Magnésio (Al-Mg), em especial a Liga 5182, com percentual de Magnésio que pode variar de 4 a 5% em peso.

O alumínio puro é bastante resistente à corrosão, porém apresenta baixa resistência mecânica e, sendo assim, a adição de outros metais ao alumínio, a exemplo do Mg, Cu, Zn, entre outros, contribui para o aumento da resistência do material, resistência à corrosão, etc. As ligas Al-Mg constituem um importante grupo de ligas de alumínio não tratáveis termicamente, ou seja, que não são endurecidas por tratamento térmico, mas sim por solução sólida e encruamento (trabalho mecânico) (INFOMET, 2022).

Por outro lado, a adição dos elementos de liga ao alumínio promove a formação de precipitados intermetálicos que preferencialmente se concentram nos contornos de grão do material metálico. Para as ligas 5XXX com percentuais de magnésio acima de 3,0 % ocorre a formação do precipitado Mg_2Al_3 . A presença desse precipitado tende a reagir eletroquimicamente com a matriz metálica, favorecendo o desenvolvimento de uma pilha galvânica nas proximidades do contorno de grão. Como exemplo, o Mg_2Al_3 é um precipitado anódico em relação à matriz de alumínio e, portanto, tende a se dissolver preferencialmente. O desenvolvimento dessa teoria eletroquímica para a corrosão sob tensão explica o ataque preferencial nessa região e o tipo de fratura intergranular das ligas de alumínio. O mecanismo por dissolução (*dissolution mechanism*) é o nome sugerido para a ocorrência desse tipo de fratura.

A Figura 4 ilustra a superfície de fratura de uma falha por SCC intergranular. Neste caso, a falha se inicia na base do semicorte e se propaga em direção à superfície interna da espessura residual do semicorte por dissolução intergranular, cuja estrutura é caracterizada por fissuras intergranulares alongadas e profundas. As fissuras alongadas refletem a estrutura dos grãos na forma de “lâminas” resultante da extensa deformação dos grãos

decorrente do processo de laminação da chapa metálica. A superfície lateral das fissuras, por sua vez, indicam aparência lisa e sem uma característica marcante (DEWEESE et al., 2008).

Em contraste, a Figura 5 ilustra a superfície de fratura com a combinação dos dois tipos de falhas, com propagação da trinca em áreas adjacentes intergranular e transgranular, observada em uma tampa da Liga 5182. Na região da espessura residual do semicorte, podem ser observadas as fissuras intergranulares menores e uma outra região com característica pronunciada que se origina de um ponto e se propaga em formato de “leque”, de modo transgranular (dentro do grão). A superfície de clivagem apresenta um ponto de iniciação de aspecto ligeiramente liso, sendo que, com a propagação da trinca, ocorre a formação de uma superfície em formato de “leque”, resultante da propagação da trinca por diferentes planos cristalográficos do material em uma região fragilizada. O mecanismo sugerido para a ocorrência desse tipo de fratura é a fragilização da região de falha em presença de hidrogênio (*hydrogen embrittlement mechanism*). A condição química nas proximidades de uma trinca em ligas de alumínio tem sido encontrada como apresentando um pH ácido, em torno de 3,5, decorrente da formação do produto de corrosão menos solúvel, neste caso, o hidróxido de alumínio $\text{Al}(\text{OH})_3$. Essa região ácida indica que uma reação catódica adicional pode ser favorecida durante a dissolução, sendo que, além da redução do oxigênio dissolvido, pode haver a recombinação dos íons de hidrogênio ($2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$). De fato, a recombinação dos íons de hidrogênio é uma reação catódica dominante em ambientes ácidos. O hidrogênio absorvido durante o processo de corrosão se concentra na região de maior tensão, na extremidade do semicorte, e inicia um rápido processo de formação de trinca por clivagem na região fragilizada. A explicação para a fragilização da região pode ser devido a uma alta concentração de hidrogênio que enfraquece as ligações químicas metal-metal (normalmente denominado por decoesão) ou à formação de algum complexo frágil no local (a exemplo do Mg-H ou algum hidreto metálico).

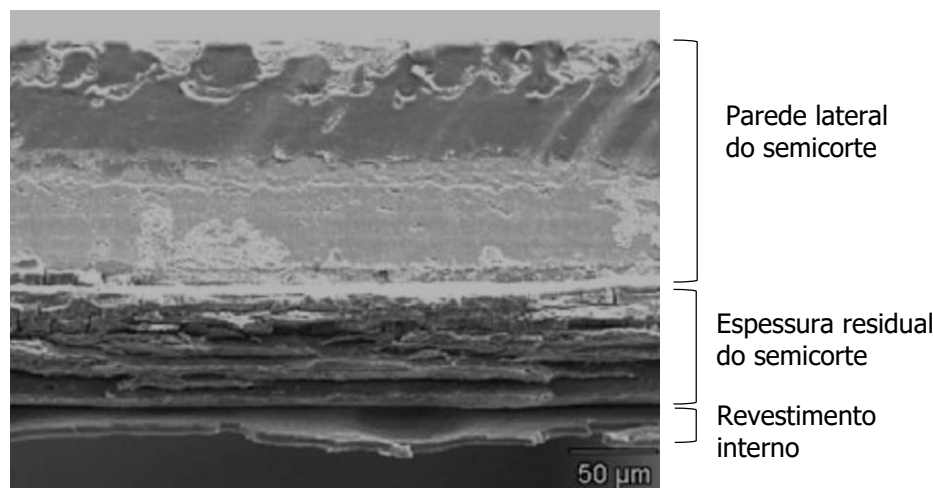


FIGURA 4. Imagens da superfície de fratura por SCC intergranular (DEWEESE et al., 2008).

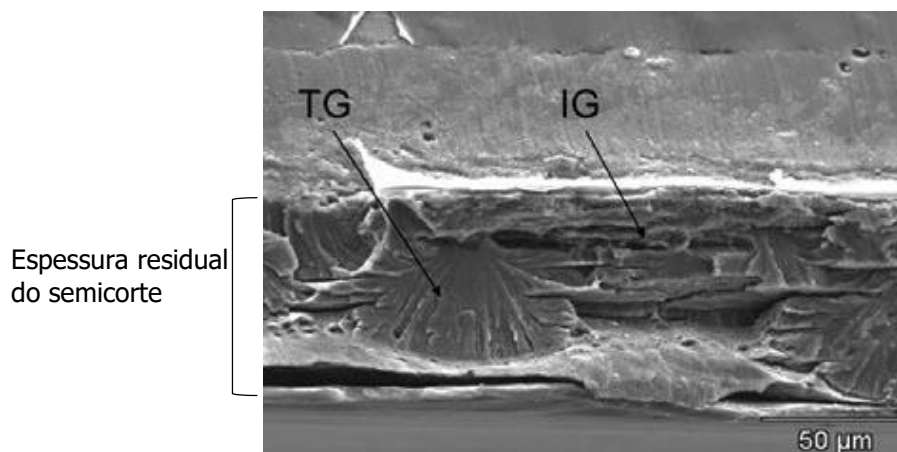


FIGURA 5. Imagem da superfície da fratura por SCC contendo ambos os tipos de falha intergranular (IG) e transgranular (TG) (DEWEESE et al., 2008).

O aspecto da superfície de fratura da região do semicorte de uma lata de alumínio após a abertura normal da tampa para o consumo do produto pode ser visualizada na Figura 6. Neste caso, a imagem representa a forma de uma fratura dúctil do material residual do semicorte, caracterizada pela presença de alvéolos (*dimples*) esféricos. O mecanismo de fratura dúctil encontra-se associado à coalescência de microcavidades e cada alvéolo corresponde à metade de uma microcavidade (*microvoid*) que se formou e se dividiu durante o processo de fratura do material (CALLISTER JR., 1994).

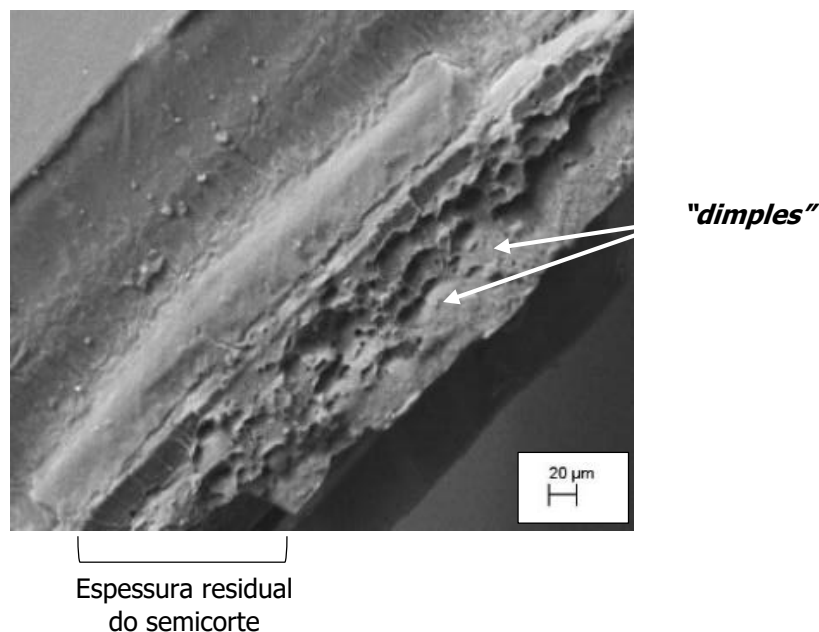


FIGURA 6. Imagem da superfície da região do semicorte após a abertura normal da tampa de uma lata de alumínio, com aspecto de fratura dúctil (Fonte: Cetea).

Dessa forma, por meio da análise da superfície de fratura do material pode-se identificar o tipo de fratura desenvolvido no local da falha, assim como identificar o seu ponto de origem. As imagens apresentadas nas Figuras 4 a 6 foram obtidas por meio de avaliação da superfície de fratura por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e representam a morfologia da superfície de fratura. Caso disponível um sistema de microanálise de raios-X por dispersão de energia (EDX), é possível identificar a presença de algum elemento agressivo ao alumínio nas proximidades da região de fratura.

O terceiro fator associado à ocorrência de fratura do tipo SCC é a agressividade do meio, que pode estar relacionado à umidade relativa e à temperatura de estocagem do produto e/ou ainda a presença de sujidades ou de elementos agressivos ao alumínio como resíduos de íons de Cl^- , Cu^+ , entre outros.

No processo de obtenção dos produtos carbonatados, em especial, os refrigerantes são previamente preparados em reservatórios específicos e o dióxido de carbono é dissolvido no líquido a uma temperatura da ordem de 4 °C para garantir a solubilidade do gás no produto e o teor de carbonatação adequado. Na sequência, o produto é acondicionado na embalagem de alumínio a temperaturas próximas desse valor, o que pode levar a uma transpiração das latas e a permanência de resíduos de umidade especialmente na região do semicorte. Após essa etapa, é recomendado o aquecimento da embalagem e/ou a lavagem das latas com um *rinser* a temperaturas elevadas para garantir a máxima remoção de umidade possível da superfície externa da embalagem.

Para minimizar ou evitar a ocorrência de *blowout* em latas de alumínio associado à agressividade do meio, a *British Soft Drinks Association* e outras associações (BRITISH SOFT DRINKS ASSOCIATION, 2001) apresentam algumas recomendações, como por exemplo:

- manter o mínimo de umidade possível sobre as tampas;
- que a temperatura do produto seja mantida acima do ponto de orvalho para prevenir a condensação de água;
- que o lubrificante, caso utilizado, apresente baixos níveis de cloro e sulfato;
- a água do *rinser* deve ser mantida em um pH entre 5 e 8,5, assim como um teor de cloro abaixo de 10 ppm, além de sulfatos e nitratos abaixo de 15 ppm.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE LATAS DE ALUMÍNIO. **Indústria de latas de alumínio para bebidas cresce pelo quinto ano consecutivo**. Brasília, DF: Abralatas, 2022. Disponível em: <https://www.abralatas.org.br/industria-de-latas-de-aluminio-para-bebidas-cresce-pelo-quinto-ano-consecutivo/>. Acesso em 20 set. 2022.

BRITISH SOFT DRINKS ASSOCIATION. **Environmental stress cracking of aluminium alloy beverage end scores**. MPMA / BSDA / BBPA recommended code of practice. London: BSDA, 2001. 14 p. Disponível em: <http://www.britishsoftdrinks.com/PDF/StressCrackingofCans.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2014.

CALLISTER JR., W. D. Failure. *In*: _____. **Materials science and engineering: an introduction**. 3rd. ed. New York: John Wiley & Sons, c1994. cap. 8, p. 181-235.

DEWEESE, S. K.; NINGILERI, S. T.; DAS, S. K.; GREEN, J. A. S. Stress-corrosion cracking in aluminum beverage can ends: issues, observations, and potential solutions. **JOM**, Boston, v. 60, n. 5, p. 50-57, 2008.

INFOMET. **Metais & ligas: alumínio**. São Paulo, c2022. Disponível em: <https://www.infomet.com.br/site/metais-e-ligas-conteudo-ler.php?codAssunto=53>.