

NOTA TÉCNICA:

Tecnologia de Plasma como Solução para Segurança em Bebidas Destiladas: Prevenção de Adulterações com Metanol

Introdução

O recente aumento nos casos de adulteração de bebidas destiladas com metanol evidenciou fragilidades nos sistemas de inviolabilidade de embalagens e rótulos. Em escala global, estima-se que mais de um quarto do consumo de álcool corresponda a produtos não registrados, ilícitos ou não declarados (Manning & Kowalska, 2021; Probst et al., 2018). Em países em desenvolvimento, além das bebidas industrializadas e importadas, é comum a presença de bebidas alcoólicas tradicionais, frequentemente produzidas com domínio limitado das boas práticas de fabricação (Kubo et al., 2014).

Para mitigar os riscos associados à adulteração e falsificação, a indústria de bebidas pode adotar etiquetas invioláveis aplicadas com o auxílio do tratamento por plasma atmosférico, uma tecnologia emergente que promove melhorias significativas na adesão de rótulos sobre superfícies de baixa energia, como tampas de polipropileno (PP) e polietileno (PE).

Esta nota técnica apresenta o uso do plasma atmosférico como ferramenta para reforçar a segurança e a rastreabilidade de bebidas alcoólicas, por meio da otimização da adesão de etiquetas invioláveis em tampas e frascos poliméricos (PP, PE e PET). O tratamento por plasma modifica a superfície desses materiais (Kostov et al., 2014), aumentando sua energia superficial e possibilitando a fixação irreversível de rótulos de segurança, sem comprometer o design da embalagem nem a produtividade industrial.

1. Desafios na Adesão de Etiquetas Invioláveis

As tampas de polipropileno (PP) e polietileno (PE) são amplamente empregadas em embalagens de bebidas alcoólicas devido à sua resistência química, baixo custo e facilidade de moldagem. No entanto, esses polímeros apresentam baixa energia superficial, tipicamente na faixa de 25-35 mN/m (TWI - The Welding Institute; Barman et al., 2015), devido à sua estrutura predominantemente apolar composta por cadeias de alceno.

A baixa energia superficial dificulta a molhabilidade da superfície pelos adesivos, especialmente colas à base de água ou dispersão aquosa, comuns em sistemas de rotulagem úmida. Como consequência, a adesão inicial das etiquetas pode ser insuficiente, permitindo que a etiqueta seja removida e recolocada sem danos visíveis, comprometendo a inviolabilidade e criando vulnerabilidades para adulterações.

2. Aplicação do Plasma Atmosférico

A tecnologia Openair-Plasma® da Plasmatreat é um conjunto abrangente de soluções de tratamento de superfície, personalizadas para atender às exigências rigorosas de diversos setores. Ao utilizar plasma de pressão atmosférica, essa tecnologia garante que as superfícies sejam meticulosamente preparadas para processos subsequentes, como colagem, revestimento e impressão. O tratamento atua principalmente sobre a camada mais externa do material, sem afetar suas propriedades mecânicas. Os efeitos do plasma incluem:

- Oxidação da superfície polimérica: introdução de grupos funcionais polares (hidroxila, carbonila, carboxila) que favorecem ligações químicas com adesivos à base de água.
- Melhora da molhabilidade e uniformidade da adesão: mesmo em superfícies previamente revestidas ou pintadas, o tratamento facilita a cobertura completa do adesivo.
- Compatibilidade com adesivos sustentáveis: permite o uso de colas em dispersão sem necessidade de adesivos hot melt, reduzindo impactos ambientais.

Estudos demonstram que o tratamento por plasma em PP e PE promove aumento da rugosidade superficial e introdução de grupos polares, elevando significativamente a energia superficial e melhorando a adesão de colas à base de água (Nishime, 2015; Vidyarani et al., 2019). Dessa forma, para sistemas de etiquetas de segurança, é essencial considerar tanto a seleção adequada de adesivos quanto a preparação superficial das tampas, garantindo a eficácia do lacre inviolável.

De forma complementar aos efeitos já consolidados na modificação de polímeros, o plasma atmosférico também desempenha papel essencial na preparação de diversas superfícies destinadas a elementos ópticos avançados de segurança, como os apresentados por Echeverri et al. (2020) no artigo *Printing a Wide Gamut of Saturated Structural Colors Using Binary Mixtures*.

3. Benefícios na Prevenção de Adultrações

Ao garantir que a etiqueta inviolável esteja firmemente aderida à tampa e ao corpo da garrafa, o tratamento por plasma:

- **Impede a abertura e acondicionamento não autorizado**, dificultando a adulteração com substâncias tóxicas como o metanol.
- **Facilita a inspeção visual**, pois qualquer tentativa de violação deixa evidências claras.
- **Aumenta a rastreabilidade e a confiança do consumidor**, especialmente em mercados premium e exportação.

Além disso, o plasma pode ser integrado a linhas de envase e rotulagem de fabricantes como Krones, KHS e Sacmi, sem comprometer a produtividade.

4. Sustentabilidade e Regulação

O uso de plasma atmosférico é uma alternativa ambientalmente amigável, pois não gera resíduos líquidos e apresenta baixo consumo de energia em comparação a tratamentos químicos convencionais. Por exemplo, A Unipac utiliza tecnologia de plasma em embalagens para criar barreiras internas que reduzem a migração de solventes, resultando em benefícios técnicos e ambientais (UNIPAC, 2021).

Além disso, a Anvisa reconhece a relevância de tecnologias capazes de garantir a integridade de embalagens e rotulagens, sobretudo em produtos que envolvem risco à saúde pública, como bebidas alcoólicas. A aplicação de plasma, portanto, contribui não apenas para a eficiência e confiabilidade do produto, mas também para o atendimento a requisitos regulatórios e de segurança.

5. Infraestrutura Firjan SENAI

A Firjan SENAI, por meio de sua unidade no Parque Tecnológico, disponibiliza em sua Plataforma de Fibras a tecnologia de tratamento de superfícies por plasma atmosférico e água ativada via plasma, com equipamentos da empresa Plasmatreteat, referência internacional na área.

Essas soluções permitem ao setor industrial melhorar a adesão de tintas, vernizes, adesivos e rótulos, além de contribuir para o desenvolvimento de embalagens mais seguras, sustentáveis e tecnicamente otimizadas.

Dessa forma, a Firjan SENAI se posiciona como parceira estratégica da indústria, oferecendo infraestrutura de ponta e *know-how* técnico para o desenvolvimento de soluções inovadoras em modificação de superfícies e adesão avançada.

REFERÊNCIAS

- Manning L, Kowalska A (2021) Illicit Alcohol : Public Health Risk of Methanol Poisoning and Policy Mitigation Strategies. *Foods*, 10: 1625.
- Probst C, Manthey J, Merey A, Rylett M, Rehm J. (2018) Unrecorded alcohol use : A global modelling study based on nominal group assessments and survey data. *Addiction*, 113: 1231-1241.
- Kubo R, Funakawa S, Araki S, Kitabatake N (2014) Production of indigenous alcoholic beverages in a rural village of Cameroon : Production of indigenous alcoholic beverages in Cameroon. *Journal of the Institute of Brewing*, 120: 133-141.
- Kostov K.G., Nishime T.M.C., Castro A.H.R., Toth A., Hein L.R.O. (2014) Surface modification of polymeric materials by cold atmospheric plasma jet. *Applied Surface Science*, 314: 367-375.
- TWI - The Welding Institute. Typical values of surface energy for materials and adhesives. Disponível em: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-are-the-typical-values-of-surface-energy-for-materials-and-adhesives>. Acesso em: 29 out. 2025.
- NISHIME, Thalita Mayumi Castaldelli. *Jato de plasma frio em pressão atmosférica para tratamento de materiais e esterilização*. Guaratinguetá: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, 2015. 112 f. (Dissertação de Mestrado).
- Vidyarani, R. et al. *Improvement of adhesion on glass/PP and HDPE surfaces by plasma treatment*. *Appl. Surf. Sci.*, 2019.
- UNIPAC. *Unipac inicia fornecimento de embalagens tecnológicas à Syngenta* [Internet]. 2021. Disponível em: <https://globalcropprotection.com/noticias/sustentabilidade/unipac-inicia-fornecimento-de-embalagens-tecnologicas-a-syngenta/>. Acesso em: 29 out. 2025.