

ESTUDO DO SOLVENTE ORGÂNICO ETILBENZENO

AUTOR

Gabriela Sabino MEDEIROS

Discente do Curso de Engenharia Química – UNILAGO

Gleyce Teixeira Correia dos SANTOS

Docente do Curso de Engenharia de Química - UNILAGO

RESUMO

O presente estudo descreve a produção, funcionalidades e o mercado de utilização do solvente orgânico etilbenzeno ou etilbenzol, que possui fórmula molecular C_8H_{10} . O etilbenzeno é um hidrocarboneto aromático, derivado do petróleo, altamente volátil e inflamável, sua manipulação deve ser feita com cautela e seguindo orientações. A produção industrial é decorrente da junção dos elementos químicos, benzeno (C_6H_6) e etileno (C_2H_4), em reatores catalíticos de leito fixo e utilizando trocadores de calor. O presente trabalho tem como objetivo, por meio de uma revisão bibliográfica, *agregar* o setor industrial e profissionais que os representam, por meio de um estudo a respeito de sua fabricação e utilização.

PALAVRAS - CHAVE

Benzeno, estireno, etilbenzeno, etileno, solventes orgânicos.

1. INTRODUÇÃO

A indústria petroquímica tem grande destaque econômico e de produção, dentre as indústrias química do mundo, e um de seus principais produtos são os solventes. Em geral, são substâncias líquidas utilizadas na diluição ou remoção de substâncias. Trabalham como excelentes desengordurantes, quando seu uso é destinado a limpeza ou diluição e redução de viscosidade de substâncias orgânicas. Grande parte dos solventes orgânicos são derivados do petróleo, provenientes do processamento do gás natural e de indústrias petroquímicas, mas para substâncias hidrofílicas é usada como solvente a água (H_2O), chamada de solvente universal.

Podem ser utilizados de forma pura ou em mistura e muito encontrados na formulação de tintas, adesivos, produtos agrícolas, extração de azeites, na limpeza e desengraxamento de peças de máquinas, entre outros (DUPONT, 2020). Subdividido em grupos, os solventes são classificados de acordo com sua função, características físico-químicas e família química.

Com o grande fluxo de solventes usados nas indústrias atuais, este trabalho visa a realização de uma revisão bibliográfica sobre fabricação e utilização industrial do solvente etilbenzeno. Um solvente da classe dos hidrocarbonetos aromáticos e que possui a fórmula molecular C_8H_{10} , utilizado na linha de produção de diversos processos industriais como nas indústrias de plástico e de estireno, por exemplo.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLVENTES ORGÂNICOS

De toda classe dos hidrocarbonetos o primeiro solvente a ser comercializado foi o benzeno. Primeiramente produzido através do carvão, por volta do ano de 1849, só a partir do ano de 1941 o benzeno foi obtido através do petróleo, sendo assim, até a atualidade. Anteriormente seu principal consumo era na gasolina, porém a partir da Segunda Guerra Mundial teve seu uso ampliado para as indústrias química, tendo como principal aplicação a produção industrial de etilbenzeno (GABELOTO, 2007).

Os principais grupos de solventes orgânicos são os hidrocarbonetos aromáticos, hidrocarbonetos alifáticos, álcoois, cetonas, ésteres, éteres e hidrocarbonetos halogenados. Os hidrocarbonetos aromáticos são compostos orgânicos formados exclusivamente por átomos de carbono e hidrogênio, apresentando uma estrutura básica de anel ou núcleo aromático, composta por cadeia fechada, por exemplo, benzeno, tolueno e xileno (DIAS, 2018). Os hidrocarbonetos alifáticos, também são constituídos apenas de hidrogênio e carbono, são formados por cadeias carbônicas abertas ou acíclicas, as quais possuem carbonos terminais, como por exemplo, hexano, heptano e benzina (BATISTA, 2019).

Os álcoois são compostos orgânicos que apresentam o grupo funcional hidroxila ($-OH$) ligado a um ou mais carbonos saturados. São exemplos álcool metílico, álcool etílico e álcool propílico (DIAS, 2018). As cetonas, englobam os compostos orgânicos que possuem o grupo funcional carbonila $-CO-$, como por exemplo, acetona, metil etil cetona e metil isobutil cetona.

Os ésteres, são os compostos orgânicos derivados dos ácidos carboxílicos. Os ésteres possuem um radical carbônico no lugar do hidrogênio dos carboxílicos, sendo essa a característica que distingue um do outro, como por exemplo o acetato de etila e o acetato de butila (BATISTA, 2019). Os éteres, possuem oxigênio entre os átomos de carbono, como por exemplo, éter dibutílico, éter dimetílico e éter etílico.

E os hidrocarbonetos halogenados são compostos que possuem em sua cadeia carbônica ao menos um átomo pertencente ao grupo dos halogênios, tais como o flúor (F), o cloro (Cl), o bromo (Br) e o iodo (I), como por exemplo, cloreto de metileno, dicloreto de etileno, tetra cloro etileno, tetracloreto de carbono, triclouro etano e triclouro etileno (CTB 2018).

Moléculas orgânicas como o etilbenzeno fazem parte do grupo dos hidrocarbonetos aromáticos, possuem uma estrutura tridimensional, que possibilitam um papel fundamental na determinação de suas propriedades físico-químicas. E a partir destas características é selecionado a qual grupo funcional cada solvente será agregado (MARTINS *et al*, 2013).

2.2 INTERAÇÃO SOLUTO – SOLVENTE

A propriedade solubilidade, geralmente é abordada na literatura em livros de compostos inorgânicos e muitas vezes pouco apreciada em livros referentes a compostos orgânicos, portanto, abordar ativos deste tema em particular geralmente é algo dificultoso (MARTINS *et al*, 2013).

Na maioria dos casos, a solubilidade de compostos orgânicos pode estar relacionada com a ocorrência de uma reação química, podendo, então, ser dividida em duas categorias: a solubilidade em que uma reação química é a força determinante e a solubilidade na qual estão envolvidas as forças intermoleculares. O estudo da solubilidade de uma substância em determinados solventes mais comuns como água, éter etílico, solução diluída de hidróxido de sódio, ácido clorídrico diluído, solução de bicarbonato de sódio, ácido fosfórico concentrado e ácido sulfúrico concentrado dispõem de ricas informações sobre a presença ou ausência de determinados grupamentos funcionais ou classes de compostos orgânicos (MARTINS *et al*, 2013).

Energia livre de solvatação é o nome dado ao parâmetro que representa o grau de interação entre soluto-solvente. O estabelecimento deste parâmetro pode ser feito de várias maneiras, porém, a definição mais utilizada e que melhor descreve a interação soluto-solvente foi proposta por Ben-Naim, chamada de energia livre de solvatação. De simples resolução esta propriedade termodinâmica pode ser definida por uma expressão algébrica simples (PLIEGO JR, 2006).

Supondo que um soluto, denominado A, se encontra em equilíbrio entre as fases gasosa ou líquida, sendo assim, o soluto A tem uma concentração $[A]_g$ em fase gasosa e $[A]_{sol}$ em fase líquida/solução. Assim pode ser descrita a equação de equilíbrio (Equação 1). Na Equação 2 define-se a energia de solvatação entre o soluto e o solvente, que pode também ser entendida como uma medida da afinidade do soluto com o solvente (PLIEGO JR, 2006).



$$\frac{[A]_{sol}}{[A]_g} = e^{-\Delta G_{solv}^* / RT} \quad (2)$$

Fonte: Pliego Jr, 2006.

Alguns empecilhos referente à interação soluto-solvente podem ocorrer, como, insolubilidade dentro de uma reação por exemplo, em espécies apolares em solventes polares como a água pode ser menos

aparente, em função das fracas forças existentes, geralmente entre moléculas do soluto. Entretanto, outra dificuldade pode ser encontrada além da insolubilidade, a fraca interação entre as moléculas de soluto e do solvente, que acaba resultando em uma energia fraca ou insuficiente para separar as próprias moléculas do solvente, ou seja, as moléculas de solvente apresentarão maior tendência a permanecer juntas ou associadas, e o processo de solubilização não ocorrerá (MARTINS *et al*, 2013).

2.3 ETILBENZENO

O etilbenzeno também conhecido como etilbenzol, é um solvente líquido, obtido através do petróleo, e dentre suas principais características estão a isenção de coloração, o odor similar ao da gasolina, hidrofobia e o fato de ser extremamente inflamável, além de produzir vapores irritantes, o que torna seu armazenamento e manipulação perigosos (CETESB, 2019).

A matéria-prima para sua fabricação são os ativos benzeno e etileno a uma densidade específica (Tabela 1), para não interferir na qualidade do produto final (MENDES *et al.*, 2016).

Tabela 1 : Densidade benzeno e Etileno.

Materia prima	Densidade aproximada (kg/m ³)
Benzeno	827.2
Etileno	26.02

Fonte: Adaptado de MENDES *et al.*, 2016

Para a fabricação de etilbenzeno é necessário que o benzeno apresente uma pureza entre 96% - 98%, levando em consideração que o tolueno é o produto identificado como impureza diluído em sua formulação (MENDES *et al.*, 2016).

O processo de fabricação do etilbenzeno decorre a partir de uma alquilação catalítica do benzeno, que consiste na junção de duas moléculas leves, produzindo uma terceira molécula pesada, para produção de etilbenzeno (BARCZA, 2013). Essa reação química entre benzeno e etileno é apresentada na Equação 3:



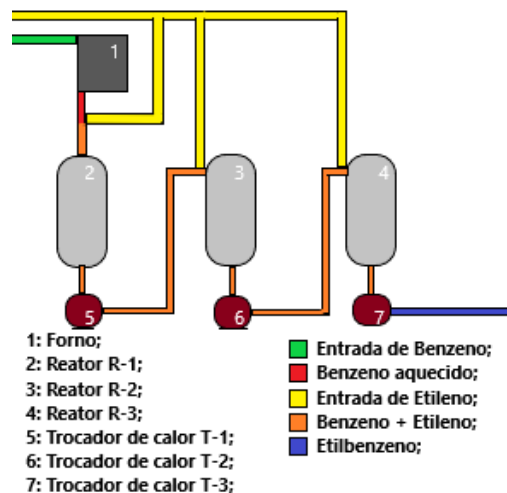
2.4 PRODUÇÃO DE ETILBENZENO

A produção do etilbenzeno é derivada do rompimento de uma ligação carbônica e a substituição do hidrogênio por um grupo funcional etila, sua matéria-prima é composta pelos elementos benzeno e etileno, que para sua fabricação são armazenados na planta industrial em tanques distintos (Figura 1).

Ao sair do tanque de armazenagem o benzeno é encaminhado a um forno para sofrer um pré-aquecimento, este processo eleva sua temperatura a cerca de 400° C. Após seu pré-aquecimento o benzeno é imediatamente misturado a corrente de etileno, antes de ingressar na linha de reatores (MENDES *et al.*, 2016).

Esta linha de reatores consiste em três reatores de leito fixo, R-1, R-2 e R3. Cada reator tem sua saída acoplada em um trocador de calor T-1, T-2 e T3, após do processamento da matéria prima no reator R-1, o produto é destinado ao seu respectivo trocador T-1, chegando a uma temperatura aproximada de 380°C, e após seu resfriamento é realizada uma nova adição de etileno, e assim sucessivamente até que o produto final saia do terceiro trocador T-3 (MENDES *et al.*, 2016).

Figura 1: Fluxograma da produção de Etilbenzeno.



Fonte: Adaptado de Mendes *et al.*, 2016.

É necessária a instalação de uma válvula de escape em cada trocador, pois esse processo é feito em alta temperatura e quando resfriado elimina grande quantidade de gases no interior do trocador, podendo causar danos ao equipamento e até risco de explosões, devido à alta pressão.

Antes de iniciar a produção, é necessário implementar controladores de processo que, na maioria das plantas, são os controles de pressão e temperatura. A Tabela 2 lista o controle efetuado em uma planta que possui capacidade de processo aproximado de 60000 toneladas métricas de benzeno e 20000 toneladas métricas de etileno ao ano, considerando um fator de operação de 8000 horas (MENDES *et al.*, 2016).

Tabela 2: Parâmetros de controle da produção de etilbenzeno.

ENTRADAS	PRESSÃO APROXIMADA (kPa)	TEMPERATURA APROXIMADA (°C)
Benzeno	110	25
Etileno	2000	25
SAÍDAS	PRESSÃO APROXIMADA (kPa)	TEMPERATURA APROXIMADA (°C)
Benzeno	110	138,9
Etileno	110	71,3

Fonte: Adaptada de Mendes *et al.*, 2016.

Geralmente, na fabricação de etilbenzeno a medição da composição do produto, uma variável físico-química, é feita por sensores de pressão e temperatura. Estes equipamentos apresentam alto custo e são de difícil manutenção. Por isso, os analisadores de composição não são usados com frequência, são

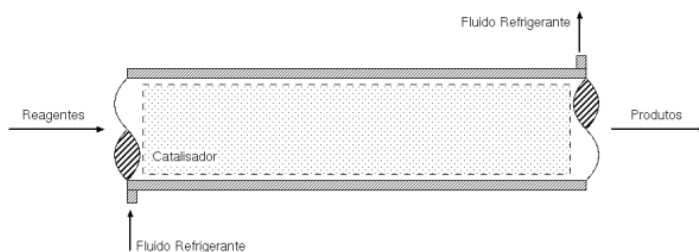
utilizados métodos alternativos para inferir a composição de uma mistura a partir de medições de temperatura em diferentes pontos do reator. Assim, a fabricação é controlada a partir da relação termodinâmica direta entre composição e temperatura para a pressão do equipamento constante. Este método apresenta alta confiabilidade, baixo custo de aquisição e de manutenção dos sensores além de possuir rápida instalação (MARIZ, 2017).

2.4.1 REATOR DE LEITO FIXO

Como visto anteriormente, para obtenção do etilbenzeno é necessária uma série de reatores de leito fixo, representado na Figura 2, equipamentos que possuem como principal utilização reações catalíticas. Os reatores de leito fixo são comumente utilizados no processo de indústrias química e petroquímicas, por possibilitarem um controle efetivo da operação em que se encontram, principalmente quando deseja-se alto rendimento do produto. Reatores de leito fixo apresentam complicado comportamento estacionário e dinâmico das não conformidades do processo, por exemplo, diferença de temperatura entre sólidos e líquidos. Por este motivo, recomenda-se que para obtenção de um bom desempenho, é necessário que seja operado por um profissional apto, treinado, com conhecimento amplo em suas funções operacionais e no processo (TOLEDO, 1999).

Os reatores de leito fixo são basicamente cilindros compactamente preenchidos que não permitem a movimentação das partículas do catalisador e o reagente e, que em fase gasosa escoam através deste meio poroso (MORAIS, 2004).

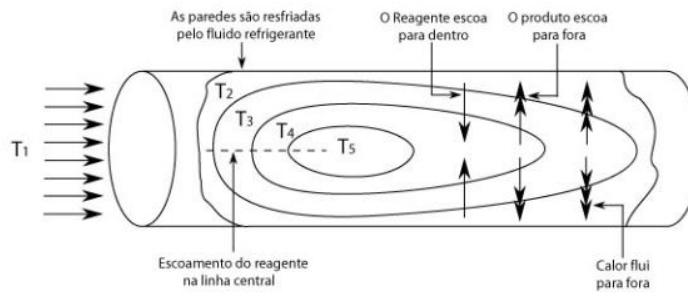
Figura 2: Esquema de um reator de leito fixo.



Fonte: Moraes, 2004.

Este tipo de reator é vantajoso por apresentar baixo custo de produção, manutenção e necessidade mínima de outros equipamentos auxiliares por conta da fixação das partículas em seu leito. No entanto, também apresentam desvantagens que são, em sua maioria, decorrentes da transferência de calor, por não apresentar uma uniformidade de liberação de energia ao longo do comprimento do reator (MORAIS, 2004). Na Figura 3 é possível observar a movimentação térmica que ocorre dentro deste tipo de reator.

Figura 3: Campos de temperatura em um reator de leito fixo.



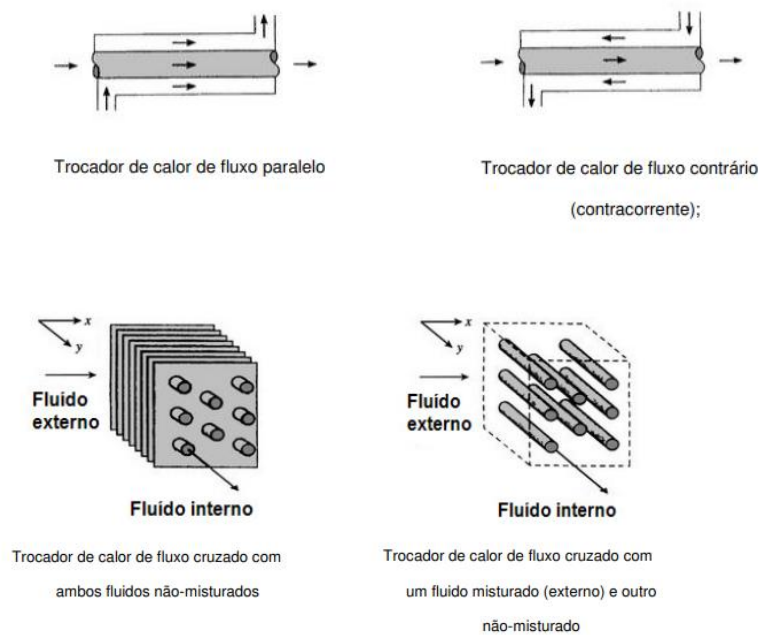
Fonte: Moraes, 2004.

Este tipo de deficiência operacional, pode ser minimizada com utilização de trocadores de calor, que auxiliam no bom desempenho do reator e do processo, fazendo com que aumente a produtividade e a qualidade final do produto.

2.4.2 TROCADORES DE CALOR

Na produção do etilbenzeno, juntamente com os reatores de leito fixo são empregados trocadores de calor, equipamentos projetados para promover a transferência de calor entre duas ou mais substâncias distintas, que possuem diferentes graus de temperatura. Em sua maioria, essas substâncias são fluidos líquidos ou gasosos (PERUSSI, 2010). Os trocadores de calor possuem três arranjos de escoamento, os de fluxo paralelo, de fluxo contrário ou de contracorrente e de fluxo cruzado (Figura 4).

Figura 4: Esquema de trocadores de calor de fluxo paralelo, contracorrente e fluxo cruzado.



Fonte: Perussi, 2010.

O campo de aplicação dos trocadores de calor é bastante amplo, são implementados desde as grandes indústrias renomadas ao cotidiano em equipamentos domésticos. Nas indústrias podem ser utilizados de forma direta, como equipamentos de aquecimento ou resfriamento de produto, ou indiretamente como em evaporadores e condensadores de condensado (PERUSSI, 2010).

Os trocadores de calor possuem grande interesse para as indústrias por diminuir custos de operação, capital e redução no consumo de utilidades (RAVAGNANI, 1994).

2.5 CUIDADOS E RECOMENDAÇÕES

O etilbenzeno possui limites de inflamabilidade no ar superior a 6,7% e inferior 1,0%, é altamente inflamável com ponto de fulgor entre 26,7 °C e 15°C e, quando ativado sua temperatura chega a 460°C (CETESB, 2019).

É necessário que algumas precauções de segurança sejam tomadas durante o seu manuseio, a fim de evitar acidentes, como por exemplo, evitar contato físico com o líquido ou seu vapor. Em caso de vazamentos, é preciso acionar bombeiros ou pessoas especializadas para realizarem a retirada do produto, sempre desligar fontes de ignição, manter-se contra o vento e usar neblina d'água para baixar os teores de vapor (CETESB, 2019).

Em caso de combustão, suas chamas devem ser contidas utilizando extintor com pó seco, espuma ou dióxido de carbono, extintores a base de água nunca devem ser usados, pois este pode ser ineficaz às chamas produzidas. Durante sua abertura é preciso manter uma distância considerável, pois o etilbenzeno libera grande quantidade de gases e, por ser mais pesados que o ar ambiente se alastra rapidamente no ambiente (CETESB, 2019).

Sua absorção é feita principalmente pelas vias respiratórias e dérmicas e, por possuir rápida volatilização, o uso correto dos EPI's é de extrema necessidade, impedindo cerca de 56% a 64% da contaminação aérea no ambiente ocupacional (GRACIANI, 2009).

Por possuir inúmeras características potencialmente perigosas, em sua armazenagem, seja em tanques ou contêineres, é necessário o cuidado com a identificação do local, com placas de líquido inflamável (Figura 5) e de acesso restrito (Figura 6), por exemplo.

Figura 5: Placa de identificação de líquido inflamável.



Fonte: Cetesb, 2020.

Figura 6: Placa de identificação de acesso restrito.



Fonte: Cetesb, 2020.

Estes pequenos detalhes, auxiliam na prevenção de acidentes, causados por funcionários não treinados e visitantes, que não possuem o conhecimento necessário sobre o solvente etilbenzeno e os perigos que ele apresenta.

2.6 MERCADO DE UTILIZAÇÃO DO ETILBENZENO

Sua principal utilização nas indústrias é na fabricação de estireno, cerca de 79% de sua totalidade, para posteriormente ser feita fabricação de plástico (Figura 7), também é inserido em resinas sintéticas (11 %), elastômeros (6,5 %), em tintas e vernizes (2,4 %), entre outros. A maioria das plantas industriais especializadas na produção de etilbenzeno já produzem o estireno como subproduto de sua fabricação (MENDES *et al.*, 2016).

Cerca de 90% da fabricação de etilbenzeno nacional é destinado para linha de produção do estireno (GRACIANI, 2009).

Figura 7: Fluxograma de fabricação de plásticos.



Fonte: Garbelotto, 2007.

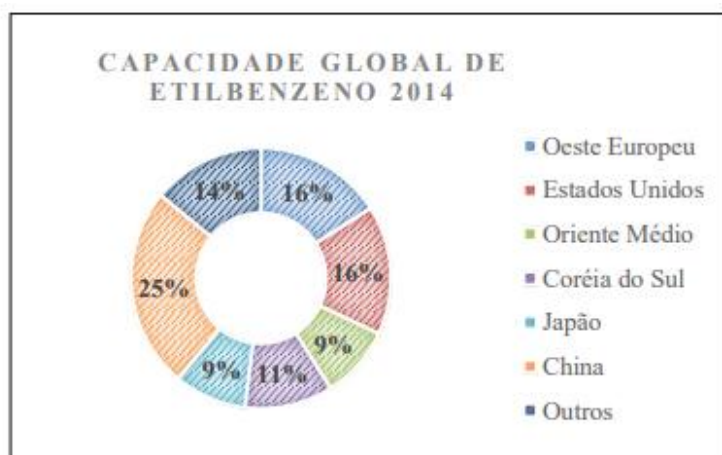
O estireno possui uma demanda de mais de 25 milhões de toneladas por ano no mundo. E no Brasil o consumo anual é de 600 mil toneladas de estireno, sendo boa parte transformado em poliestireno, com cerca de 32% absorvida pelas indústrias de descartáveis como copos e pratos, 22% com as indústrias de linha branca, 16% destinados a embalagens de alimentos congelado, e os outros 30% ficam com as indústrias de eletroeletrônicos e automobilística. É utilizado também pelas indústrias de tintas e em resinas de poliéster (MINURA, 2000).

Considerando uma planta com capacidade de produção de 9,85 m³/h de estireno, que a densidade do estireno é 810,6 kg/m³ e que este produto é vendido a R\$4148,00 reais/m³, tem-se que com a venda do estireno é possível obter de R\$264,95 milhões por ano (MENDES *et al.* 2016), ou seja um ganho alto considerando a crise dos últimos anos.

Como citado anteriormente o maior consumo no Brasil de etilbenzeno é na fabricação de estireno, além da presença nesta linha de produção, também é utilizado como solvente na fabricação de misturas complexas como, para solventes de tintas e vernizes (conhecido como tiner), na gasolina automotiva, em combustíveis para aviões e também na produção de xileno. Segundo Lepero e Colacioppo (2005, apud, GRACIANI, 2009). O etilbenzeno está presente em 100% das amostras de ar coletadas na zona respiratória dos pintores de carros que utilizam diferentes solventes orgânicos.

Cerca da metade da produção e do consumo do etilbenzeno no mundo é feita pelos EUA, seguido do Japão, Coréia, China, Taiwan, e na China Continental (Figura 8). A produção e consumo de etilbenzeno estão crescendo principalmente nos países da Ásia, que representa cerca de 46% da capacidade global. A China, em 2013, tinha uma capacidade global de cerca de 7 milhões de toneladas, sendo a maior do mundo e será o país que mais crescerá na previsão do etilbenzeno, com um aumento médio anual esperado de 8,6% entre 2017 e 2022 (SOARES, 2019).

Figura 8: Países de maior produção de etilbenzeno.



Fonte: Soares, 2019.

Um exemplo de empresa brasileira produtora de etilbenzeno é a VIDEOLAR-INNOVA S/A, localizada no estado de Amazonas e responsável pela produção de 420 mil toneladas ao ano.

O etilbenzeno é um solvente de alto consumo no Brasil, cerca de 3,7 milhões de toneladas anuais, os demais 10% são subdivididos em outras produções como divinilbenzeno, acetofenona e acetato de celulose (GRACIANI, 2009). Com isso nota-se que há um grande campo de utilização deste solvente.

3. CONCLUSÃO

O setor industrial está entre os que mais emprega no Brasil e, para fazer parte do quadro de funcionários destas grandes e pequenas é necessário que se tenha um amplo conhecimento em controle do processo, especificadamente nos produtos usados em sua linha de produção. Em qualquer categoria industrial os solventes são indispensáveis portanto, para o empregador, os cuidados a serem tomados e o saber da função industrial de cada solvente é um diferencial no momento da contratação.

Com a presente revisão bibliográfica, foi possível observar que o etilbenzeno tem grande aplicação industrial e, portanto o conhecimento de suas características físico-químicas, previne acidentes mecânicos e operacionais proveniente de seu mau uso. E, apesar de não ser o principal solvente orgânico usado no

Brasil atualmente, o crescimento da sua própria produção e dos subprodutos que auxilia é visível e logo estará cada vez mais presente em nosso país.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BARCZA, Marcos V. **Refino de Petróleo** [online]. Notas de Aula. Disponível em: <http://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/1285870/313/Refino%20do%20Petroleo.pdf>. Acesso em: 04.set.2020.

BATISTA, Carolina. **Toda Matéria** [online]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/hidrocarbonetos/> Acesso em: 06.out 2020.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Ficha de Informação de Produto Químico – Etilbenzeno**. [online]. Disponível em: https://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=ETILBENZENO. Acesso em 01 nov. 2020.

CTB. **Classificação dos Solventes Orgânicos** [online]. Disponível em: <https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/materias-primas/solventes/classificacao-dos-solventes-organicos/> Acesso em: 04.agosto.2020.

DIAS, Diogo L. - Brasil Escola. **Hidrocarbonetos aromáticos** [online]. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/hidrocarbonetos-aromaticos.htm>. Acesso em: 04.set.2020.

DUPONT. **Proteção Química** [online]. Disponível em: <https://www.dupont.com.br/personal-protection/protecao-quimica.html?> Acesso em: 04.set.2020.

GARBELOTTO, Paulo. **Solventes Industriais**: seleção formulação e aplicação. São Paulo: Blucher, 2007.

GARCIANI, Fernanda. **Influência do Etilbenzeno na Farmocinética Enantiosseletiva do Metrapolol em Ratos**. 2009. Dissertação (Mestrado em Toxicologia) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2009.

PLIEGO JR, Josefredo R. Modelos contínuos do solvente: fundamentos. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 535-542, Junho 2006. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422006000300023&lng=en&nrm=iso Acesso em 25 Out. 2020.

MARIZ, Paulo. **Estratégia de Controle Inferencial Utilizando Controladores Lógico Fuzzy Aplicadores em uma Planta de Produção de Etilbenzeno**. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

MARTINS, Cláudia R.; LOPES, Wilson A.; ANDRADE, Jailson B.. Solubilidade das substâncias orgânicas. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 8, p. 1248-1255, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422013000800026&lng=en&nrm=iso Acesso em: 23 Out. 2020.

MENDES, Dandara V.; BERNARDES, Eduarda, S.; MAIA, Jéssica L. F.; BORGES, Letícia S. **Projetos de plantas de produção de Etilbenzeno e de Estireno como aplicação simplificada da metodologia para gerenciamento de projeto**. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Química) – Instituto de Química da Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

MORAIS, Edvaldo. **Modelagem e Simulação de Reatores Catalíticos de Leito Fixo: Avaliação de Diferentes Configurações para Fluidos Refrigerantes**. 2004. Dissertação (Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

PERUSSI, Ronaldo. **Análise de Desempenho de Trocadores de Calor de Fluxo Cruzado por Sinalização Numérica**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

RAVAGNANI, Mauro A. S. S. **Projeto e Otimização de Redes de Trocadores de Calor**. 1994. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.

SOARES, Moises C. B. S. **Desidrogenação oxidativa do etilbenzeno a estireno na presença de CO₂ usando catalisadores a base de CoFe₂O₄-MCM-41: adsorção preferencial nos sítios O-2-Fe³⁺ -O₂-localizados nas posições octaédricas**. 2019. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

TOLEDO, Eduardo. **Modelagem Simulação e Controle de Reatores Catalíticos de Leito Fixo**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

VIDEOLAR-INNOVA. **Solventes** [online]. Disponível em: <https://innova.com.br/quem-somos>. Acesso em: 23.out.2020.