



## Proposta de intensificação do processo de separação de acetona e n-heptano via recompressão de vapor

João Pedro Catharina<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0005-3777-4442>

Georgia Paludo<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0005-5470-8439>

Diego Prata<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0422-5528>

<sup>a</sup> Universidade Federal Fluminense - UFF, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Química e Petróleo, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil

**Resumo:** Acetona e n-heptano são comumente encontrados em efluentes nas indústrias química e farmacêutica. Devido à tendência de formação de uma mistura azeotrópica, sua separação requer processos específicos. Frente aos impactos ambientais associados às suas atividades, a indústria química vem passando por transformações tecnológicas visando a maior ecoeficiência de seus processos. A recompressão de vapor se destaca como uma estratégia de intensificação atrativa para esta finalidade. No presente trabalho, propõem-se três configurações baseadas em recompressão de vapor aplicadas ao processo de separação da mistura acetona e n-heptano. O processo convencional e as propostas de intensificação foram projetados por simulação computacional no software UniSim Design R490. A fim de se obter resultados mais realistas, foi considerada a respectiva planta de utilidade, com os sistemas de água de resfriamento, refrigeração com R-152a e geração de vapor. Destacam-se as propostas PI2 e PI3 com reduções, respectivamente, de 39,51% e 34,43% de consumo energético total.

**Palavras-chave:** recompressão de vapor, destilação extrativa, economia energética.

**Abstract:** Acetone and n-heptane are commonly found in effluents from chemical and pharmaceutical industries. Due to their tendency to form azeotropic mixtures, their separation requires specific processes, such as extractive distillation. In response to the environmental impacts associated with its activities, the chemical industry has been undergoing technological transformations to increase its processes' eco-efficiency. Vapor recompression has been highlighted as an intensification strategy with significant potential. In the present work, three configurations based on vapor recompression were proposed for the separation process of the acetone and n-heptane mixture. The conventional process and the intensified configurations were designed using computer simulations in UniSim Design R490 software. The respective utility plant, including systems for cooling water, R-152a refrigeration, and steam generation, was also considered for each process to obtain more realistic results. The proposed configurations PI2 and PI3 stood out by providing reductions of 39.51% and 34.43%, respectively, in total energy consumption.

**Keywords:** vapor recompression, extractive distillation, energy saving.

**Como citar:** CATHARINA, J.P.B., PALUDO, G. C., PRATA, D. M. **Proposta de intensificação do processo de separação de acetona e n-heptano via recompressão de vapor.** *Engevista*, vol. 22, n.1, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil, 2024.

**Autor para contato:** João Catharina. E-mail: [joaobrandao@id.uff.br](mailto:joaobrandao@id.uff.br)

**Financiamento:** Nenhum.

**Conflito de interesse:** Nada a declarar.

## 1 INTRODUÇÃO

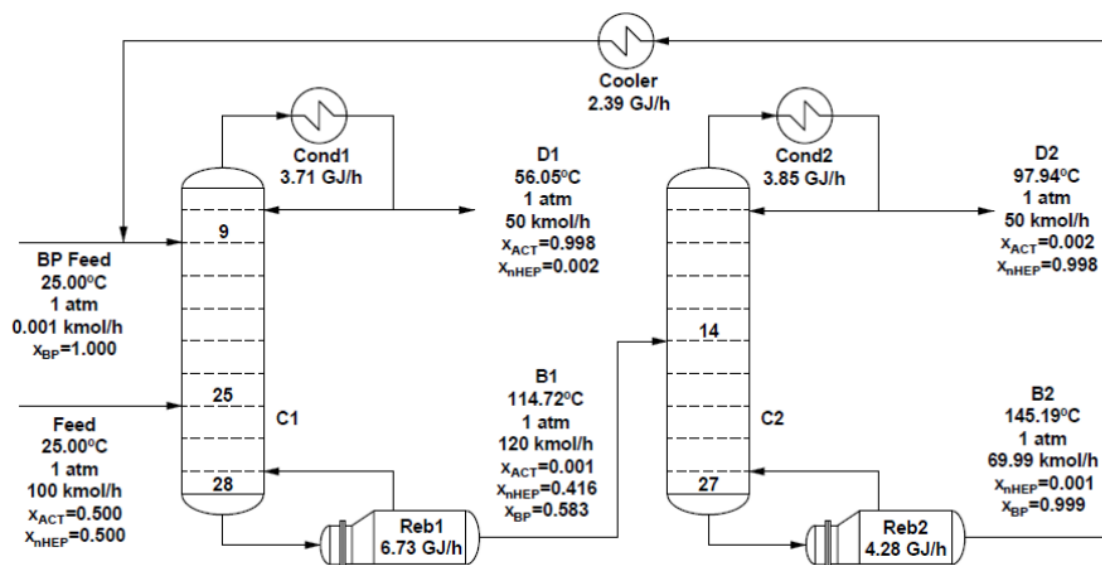
A acetona (ACT) e o n-heptano (nHEP) são amplamente utilizados como solventes e matérias-primas nas indústrias química e farmacêutica, sendo frequentemente encontrados em efluentes de processos (Marlot; Faure, 2017; Liu et al., 2014). A recuperação desses componentes em elevadas purezas via destilação, é dificultada pela formação de um azeótropo em pressão atmosférica e temperatura de 65°C (Maripuri; Ratciff, 1972). A destilação extrativa, na qual se insere um líquido de arraste no sistema, modificando o equilíbrio líquido-vapor e evitando a formação do azeótropo, consiste em uma das técnicas de separação mais comuns para a recuperação destas substâncias (Zhu et al., 2019; Berje; Schedemann; Gmehling, 2011). Contudo, a destilação envolve elevada demanda energética associada a baixa eficiência termodinâmica, representando cerca de 40% do consumo energético total da indústria (Kiss; Smith, 2020).

Nesse contexto, faz-se necessária a utilização de novas tecnologias que elevem a eficiência energética da destilação e, particularmente, do processo de separação da mistura acetona e n-heptano (ACT-nHEP). Dentre as tecnologias disponíveis, a recompressão de vapor (RV) destaca-se como método de intensificação de processos capaz de reduzir total ou parcialmente a demanda energética do refeedor, ao aproveitar energia térmica da corrente de topo para aquecimento da corrente de fundo (Kazemi; Mehrabani-Seinabad; Behesti, 2018). A estratégia de RV pode ser aplicada mediante à adição de um compressor e um trocador de calor, não sendo necessária a substituição da coluna existente, permitindo sua implementação em unidades de separação já existentes. Nesse contexto, o presente trabalho propõe a intensificação de um processo de destilação extrativa de acetona e n-heptano (KIANINIA; ABDOLI, 2021) por meio da estratégia de RV. As configurações de intensificação e o processo convencional, bem como suas respectivas plantas de utilidades, foram desenvolvidos no software UniSim Design R490.

## 2 METODOLOGIA

O processo convencional (PC) de destilação extrativa da mistura ACT-nHEP constitui-se de uma coluna extrativa, onde recupera-se acetona na corrente de topo, seguida de uma coluna de recuperação, onde recupera-se n-heptano no topo e o líquido de arraste, propanoato de butila, na corrente de fundo, sendo recirculado para a alimentação da coluna extrativa. O

fluxograma do processo, conforme descrito por Kianinia e Abdoli (2021), é apresentado na Figura 1.

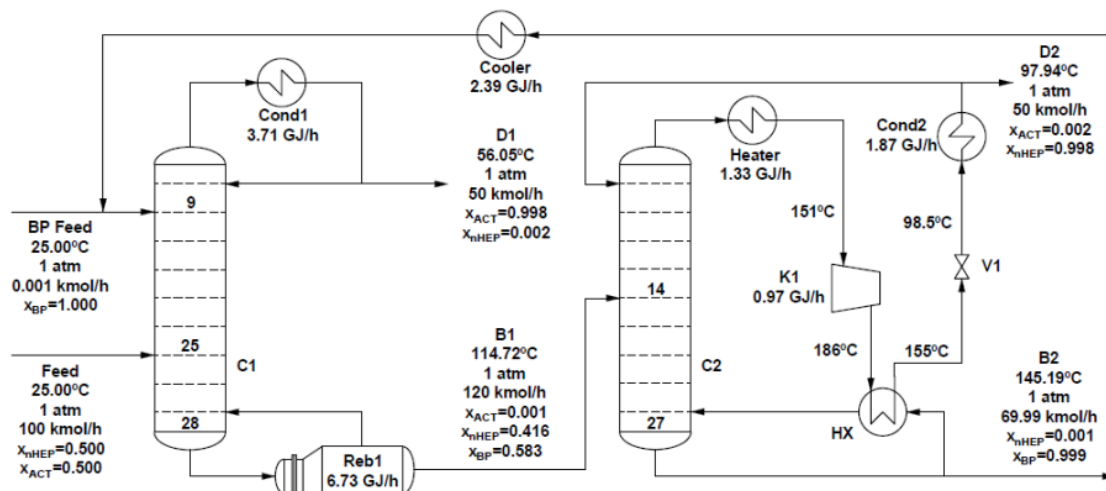


**Figura 1** - Fluxograma do processo convencional (PC).

Fonte: o autor.

Com base no processo descrito por Kianinia e Abdoli (2021), foram propostas três configurações de intensificação, via RV. As Figuras 2, 3 e 4 apresentam os fluxogramas dos processos intensificados PI1, PI2 e PI3, respectivamente. Ressalta-se que não foram alteradas as condições das correntes de entrada e de produto, preservando as especificações do PC.

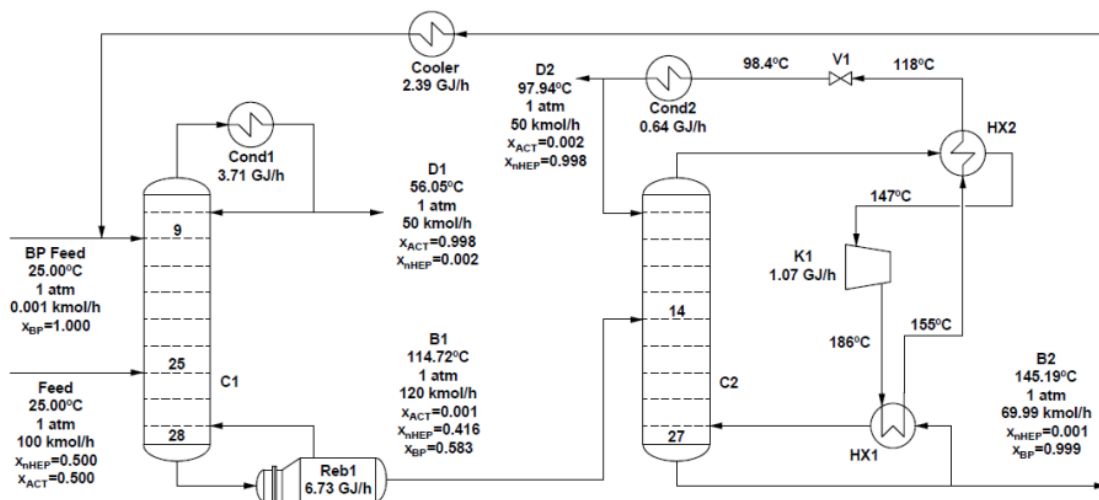
O processo PI1 consiste na configuração de RV com único estágio de compressão, após a passagem da corrente de topo por pré-aquecedor, o qual opera com vapor de média pressão. Comparativamente ao processo convencional, a PI1 demanda a adição de um aquecedor (Heater) e um trocador de calor (HX), que opera como o novo refervedor da C2, além do compressor (K1) e uma válvula.



**Figura 2** - Fluxograma do processo intensificado 1 (PI1).

Fonte: o autor.

No processo PI2, há um ponto adicional de integração energética entre as correntes de processo, de forma a aproveitar o calor disponível na corrente de topo em seu próprio pré-aquecimento, eliminando a demanda por vapor de aquecimento como utilidade. São adicionados dois trocadores de calor (HX2 e HX1), um compressor (K1) e uma válvula.

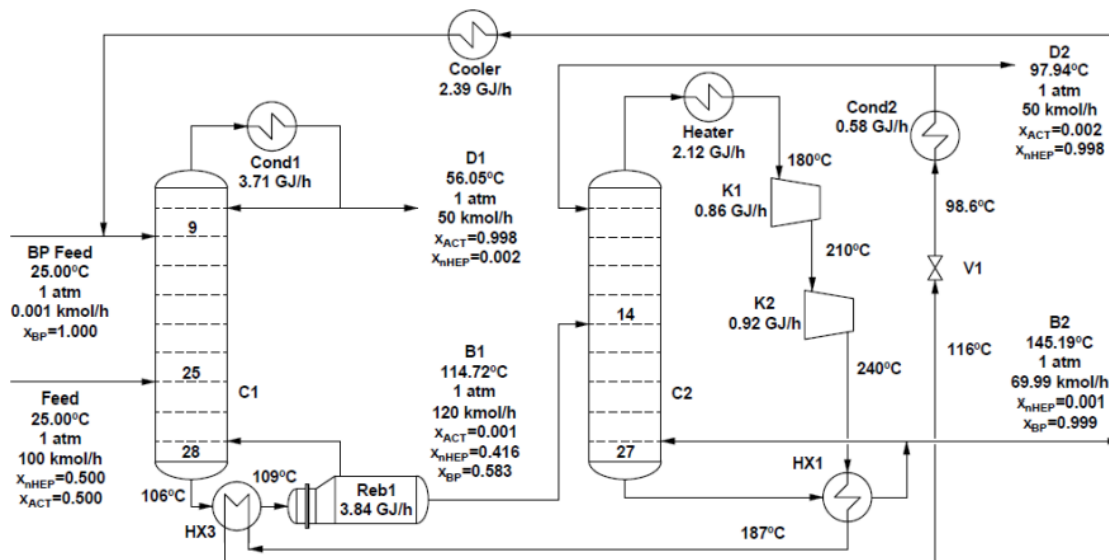


**Figura 3** - Fluxograma do processo intensificado 2 (PI2).

Fonte: o autor.

Por fim, PI3 emprega dois estágios de compressão, visando a redução de demanda energética dos refeeders das duas colunas devido a maior compressão. São adicionados ao processo dois trocadores de calor (HX3 e HX1), um aquecedor (Heater), um compressor (K1) e uma

válvula. Assim, possibilitou-se a integração energética total entre a corrente de topo da coluna C2 e seu próprio trocador de calor de fundo (HX1), bem como a integração parcial desta corrente com a corrente de fundo da C1, reduzindo a demanda de vapor de baixa pressão no refeedor da primeira coluna (Reb1), a partir da integração parcial no trocador de calor HX3.



**Figura 4** - Fluxograma do processo intensificado 3 (PI3).

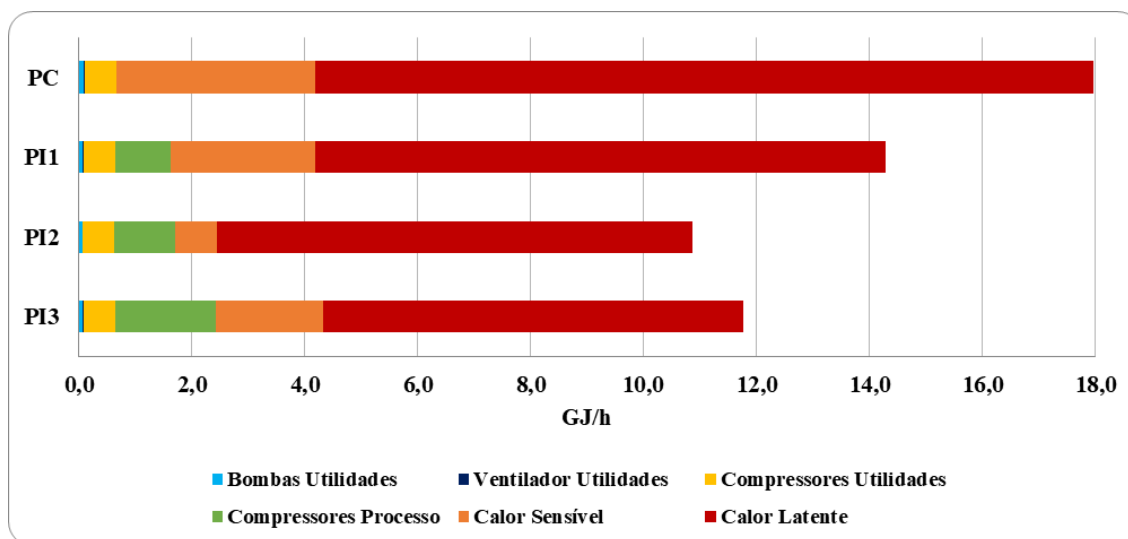
Fonte: o autor.

A comparação entre as configurações convencional e intensificadas foi realizada a partir da avaliação da demanda energética total em planta de utilidades. Para tal, foi projetada via simulação computacional uma planta de utilidades dividida em seções de resfriamento (torre de resfriamento), geração de vapor (caldeira) e refrigeração (refrigerante R-152a) para cada uma das configurações.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As propostas de RV estudadas promoveram alteração do perfil de consumo energético, por meio da substituição de parcela da energia térmica consumida na caldeira (calor latente e calor sensível) por energia elétrica para a compressão das correntes de topo e seu reaproveitamento energético.

Observa-se na Figura 5 que as propostas de intensificação por RV resultam no aumento do consumo de eletricidade, em contrapartida reduções ainda maiores no consumo de energia por combustão do gás natural são obtidas, resultando em menor consumo energético total.



**Figura 5** – Perfil de consumo de energia por fonte.

Fonte: o autor.

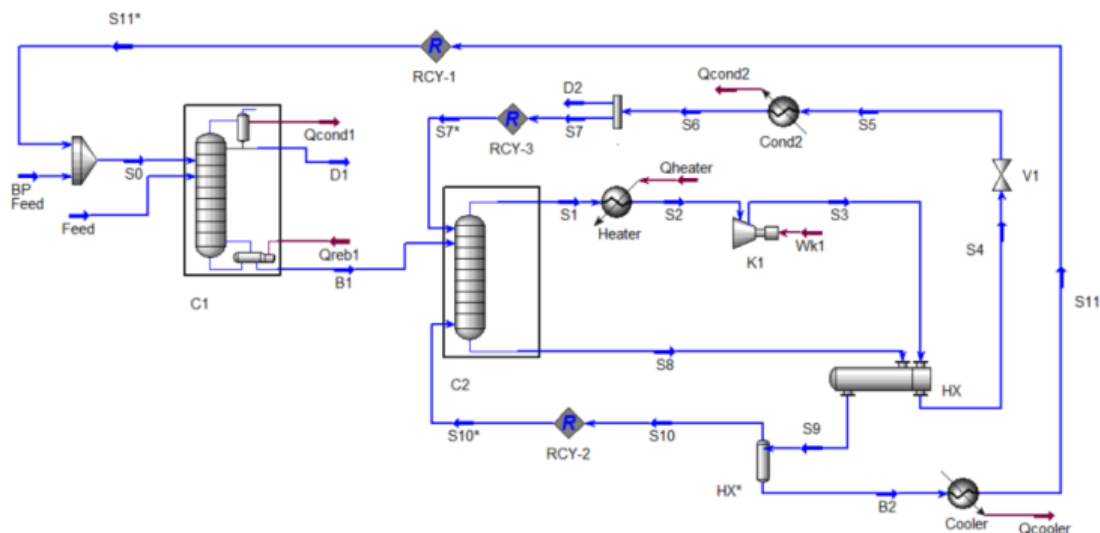
A partir das propostas PI1, PI2 e PI3 foram alcançadas, respectivamente, reduções de 20,49%, 39,51% e 34,43% de consumo energético total perante o processo convencional. Dentre essas, a proposta PI2 apresentou o resultado mais expressivo de redução de energia nas utilidades, uma vez que a integração energética realizada em conjunto com a RV permitiu a extinção da demanda por vapor de média pressão. Como consequência, a planta de utilidades opera para geração de vapor de baixa pressão, demandando condições operacionais mais brandas que as demais e, conseqüentemente, reduzindo a demanda energética referente às bombas e à caldeira.

## 5 CONCLUSÕES

A recompressão de vapor apresentou-se como uma estratégia de intensificação atrativa ao processo de separação da mistura ACT-nHEP via destilação extrativa, visto o potencial de redução de até 39,51% no consumo energético total sem prejuízos às especificações de produto ou necessidade de substituição das colunas de destilação em operação.

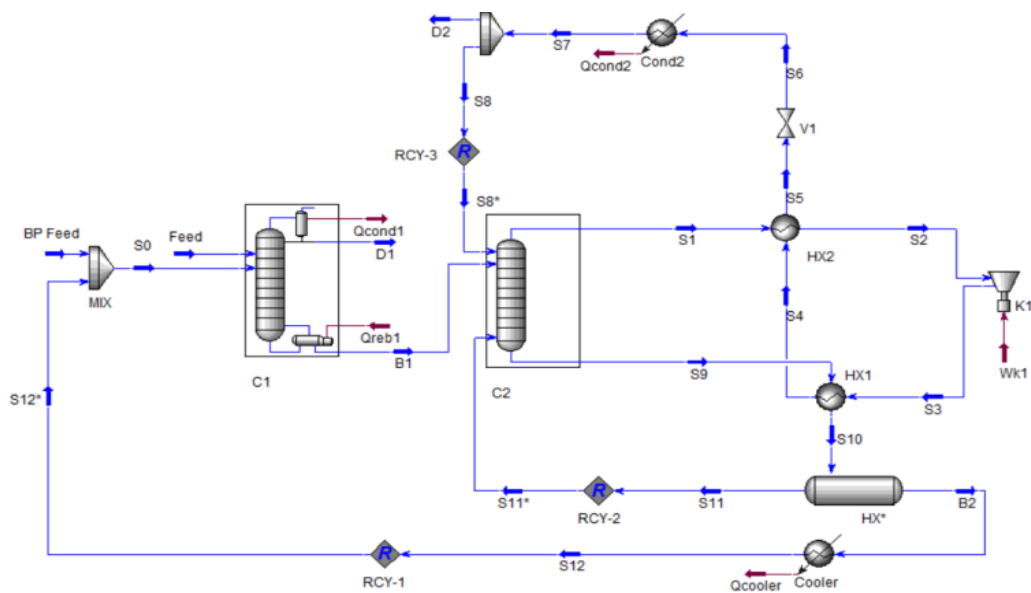
## APÊNDICE A. INTENSIFICAÇÃO DO PROCESSO NO AMBIENTE UNISIM

As Figuras A1, A2 e A3 apresentam os fluxogramas das propostas de intensificação de processo PI1, PI2 e PI3, na interface do software UniSim Design Suite R490, respectivamente.



**Figura A1.** Fluxograma do PI1 na interface do UniSim Design Suite R490.

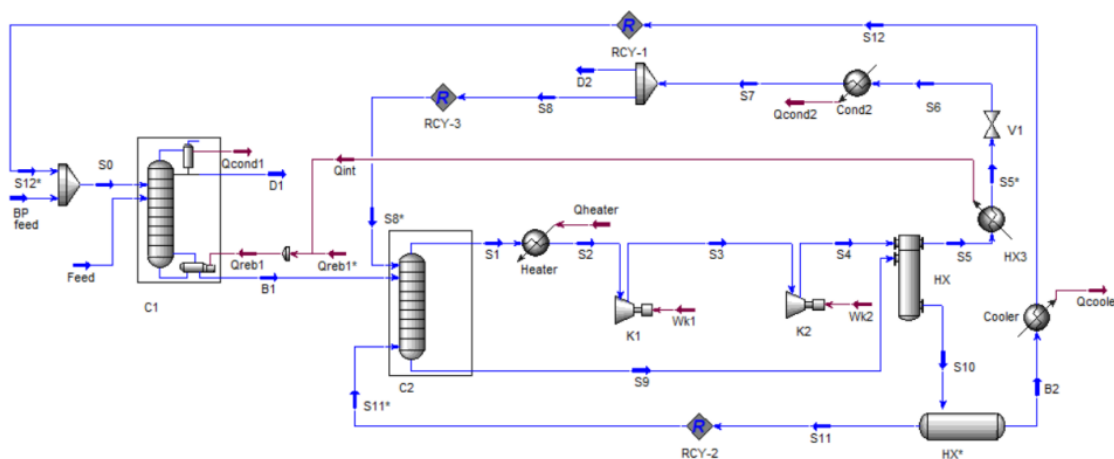
Fonte: o autor.



**Figura A2.** Fluxograma do PI2 na interface do UniSim Design Suite R490.

Fonte: o autor





**Figura A3.** Fluxograma de PI3 no ambiente computacional UniSim.

Fonte: o autor

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERJE, J.; SCHEDEMANN, A.; GMEHLING, J. Liquid densities of acetone and n-heptane and excess volumes of the binary system in a wide temperature and pressure range. **Fluid Phase Equilibria**, v. 300, p. 110-115, 2011.

KAZEMI, A.; MEHRABANI-ZEINABAD, A.; BEHESHTI, M. Evaluation of various heat pump assisted direct, indirect, Petlyuk and side stripper sequences for three-product separations. **Chemical Engineering Science**, v. 181, p. 19-35, 2018.

KIANINIA, M.; ABDOLI, S. M. The Design and Optimization of Extractive Distillation for Separating the Acetone/n-Heptane Binary Azeotrope Mixture. **ACS omega**, v. 6, p. 22447-22453, 2021.

KISS, A. A.; SMITH, R. Rethinking energy use in distillation processes for a more sustainable chemical industry. **Energy**, v. 203, p. 117788, 2020.

LIU, J. L.; WANG, X. Y.; ZHANG, L. L.; FANG, M. J.; WU, Y. L.; WU, Z.; QIU, Y. K. Two-dimensional countercurrent chromatography× high performance liquid chromatography with heart-cutting and stop- and-go techniques for preparative isolation of coumarin derivatives from *Peucedanum praeruptorum* Dunn. **Journal of Chromatography A**, v. 1374, p. 156-163, 2014.

MARIPURI, V. O.; RATCLIFF, G. A. Measurement of isothermal vapor-liquid equilibriums for acetone-n-heptane mixtures using modified Gillespie still. **Journal of Chemical and Engineering Data**, v. 17, n. 3, p. 366-369, 1972.

MARLOT, L.; FAURE, K. Preparative two dimensional separations involving liquid–liquid chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 1494, p. 1-17, 2017.

PALUDO, G. C.; CATHARINA, J. P. B. **Avaliação da ecoeficiência e da intensificação do processo de separação de acetona e n-heptano via recompressão de vapor**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química), Universidade Federal Fluminense, 2023. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/29879>. Acesso em: 13 set. 2023.

ZHU, Z.; BAI, W.; QI, P.; DAI, Y.; WANG, Y.; CUI, P.; GAO, J. Liquid liquid equilibrium data for the separation of acetone from n-heptane using four imidazolium-based ionic liquids. **Journal of Chemical & Engineering Data**, v. 64, p. 1202-1208, 2019.

**Contribuição dos autores:** Georgia Paludo e João Pedro Catharina: simulação computacional dos processos, redação; Diego Prata: supervisão, metodologia, análise formal.

**Editores:** Bruno Campos Pedroza, Mayra Soares Pereira Lima Perlingeiro.