

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO PROCESSO PARA PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS PELO MÉTODO DE LAVAGEM FÍSICA COM SOLVENTES ORGÂNICOS

Thamires Ohana Araújo de Carvalho Marcelino (1); José Nilton Silva (2); Sidinei Kleber da Silva (4)

(Universidade Federal de Campina Grande. Thamires.carvalho@eq.ufcg.edu.br)

1. Introdução

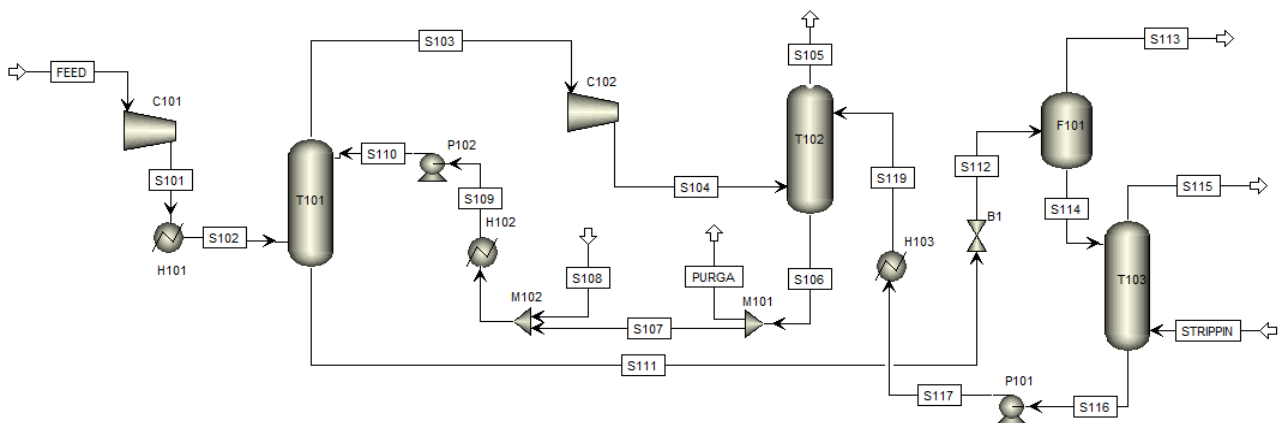
Nos dias de hoje é notória a crescente busca por fontes renováveis de energia, isto se dá como consequência do aumento pela procura por tecnologias limpas que compensem as fontes convencionais e reduza os impactos ambientais. O Biogás é uma fonte de energia natural e renovável com grande potencial energético que pode ser utilizado para substituir os combustíveis fósseis. É geralmente referido como subproduto do processo de digestão anaeróbia, onde os microrganismos decompõem a matéria orgânica na ausência de oxigênio produzindo metano e dióxido de carbono, os quais podem ser aproveitados como fontes de eletricidade e calor (BATSTONE *et al.*, 2015). No processo de digestão anaeróbia (AD – *Anarobic Digestion*) inicialmente converte-se matéria orgânica em de metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) e alguns componentes menores como amônia (NH₃), sulfureto de hidrogênio (H₂S) e água (H₂O), resultado de complexas interações entre microrganismos no biodigestor. O biodigestor é um reator bioquímico composto por uma câmara fechada onde ocorrem as reações em que biomassa é degradada anaerobicamente por bactérias. Como resultado obtém-se o biogás e os resíduos de processamento, os quais posteriormente podem ser reaproveitados na forma de bio-fertilizantes. Atualmente diversas tecnologias de purificação de biogás encontram-se desenvolvidas e muitas outras estão em desenvolvimento. De acordo com Zanette (2009) existem três motivos principais para a limpeza e purificação do biogás: atender as especificações necessárias para cada aplicação no mercado, aumento do seu poder calorífico e a padronização do gás produzido.

A Região do Semiárido Brasileiro destaca-se devido ao fator climático, a precipitação pluviométrica é marcada pela variabilidade espacial e temporal que, acrescida de outros fatores, resulta em constante ocorrência de eventos de “seca”. A aplicação e uso de tecnologias renováveis no semiárido é um segmento promissor. A oferta de biogás, proveniente de biodigestores, acarreta uma diminuição significativa no uso de combustíveis fósseis, além de minimizar o desmatamento de árvores da caatinga para coleta de lenha, possibilitando o aproveitamento da matéria orgânica proveniente das fezes de animais e provê insumos para a fertilização do solo. A purificação do biogás pelo método de lavagem física, ou absorção física, utilizando solventes orgânicos supre a necessidade do uso de água, matéria prima escassa nessa região. Nesse método não ocorre reação química, sendo o CO₂ e H₂S apenas adsorvidos em um solvente orgânico, onde são mais solúveis que o CH₄. O nome comercial para o solvente utilizado nesses processos é SELEXOL, uma mistura não tóxica de éteres dimetílicos e polietileno glicol. O presente trabalho tem como propósito o estudo, modelagem e simulação da tecnologia do processo de purificação de biogás com solventes orgânicos, tomando como base o sistema proposto por Valentin *et al.* (1974).

2. Metodologia

Para a execução do presente trabalho utilizou-se bancos de dados da literatura e dados da patente US3824766. Para a simulação do processo fez-se uso do software comercial *Aspen Plus®* da AspenTech. A fim de alcançar o maior grau de pureza realizou-se análises de sensibilidade nos equipamentos, as quais foram imprescindíveis para escolha dos parâmetros que otimizam o sistema. Com o auxílio da árvore de decisão do manual da *Aspen Plus®* e a ferramenta NIST do simulador escolheu-se o modelo SR-POLAR como o que melhor representa os dados experimentais para o processo de lavagem física com a mistura dos solventes orgânicos polietileno glicol e dimetil éter, ambos polares e não eletrólitos. A Figura 1 representa o fluxograma do processo de purificação de biogás executado no simulador *Aspen Plus®*.

Figura 1- Fluxograma do processo de purificação de biogás utilizando solventes orgânicos



Fonte: Próprio autor

Para a quantidade de biogás na corrente de alimentação do sistema estimou-se que uma média de 1,2 kg de resíduo sólido urbano (RSU) seja produzida diariamente por habitante no mundo, tomando como base uma cidade com 250.000 habitantes, têm-se uma taxa de produção de 300 toneladas de RSU por dia. Segundo Henriques (2004) cada tonelada de RSU gera de 100 a 200 m³ de biogás. Deste modo, tem-se uma vazão de 2500 m³ de biogás por hora, na unidade de purificação. Para a montagem do processo foi necessário o emprego de vários equipamentos, os quais desempenham um papel específico no sistema como um todo. A torre de absorção utilizada para a modelagem foi a RadFrac com 10 estágios, com alimentação dos solventes orgânicos dimetil éter e polietileno glicol no topo (estágio 1), com fração molar de 0,25 e 0,75, respectivamente, e alimentação da corrente de biogás na base (estágio 10). Utilizou-se um compressor isentrópico para pressurizar a corrente de entrada da torre T101 visto que a mesma está a uma pressão 14 vezes maior do que a da corrente de alimentação contendo biogás. O aumento da pressão acarreta o aumento de temperatura, que será compensado pelo trocador de calor H101. O trocador de calor H102 desempenha um papel primordial no sistema, ele é incumbido de assegurar que a temperatura de entrada do topo da T101 não tenha uma queda brusca e se distancie da temperatura da corrente de *make-up* (S117). Na corrente de topo da T101 instalou-se uma turbina de expansão com a

finalidade de despressurizar a corrente rica em metano, essa despressurização é diretamente proporcional ao decaimento da temperatura e facilita a passagem do biogás pela torre de condensação T102. O modelo utilizado para T102 foi a RadFrac com 10 estágios, onde na base sai uma mistura condensada dos solventes ricos em compostos dissolvidos e no topo obtém-se o biogás purificado com fração mássica de 0,9833. Uma bomba centrífuga foi acoplada na saída desta torre com o propósito de aumentar a pressão de descarga de modo a igualá-la com a da T101 de modo a facilitar a passagem da corrente líquida do solvente através da mesma. O trocador de calor H103 exerce um papel imprescindível, em controlar a temperatura de entrada da corrente de topo da T102, a fim de que o CH₄ na saída do processo atinja o maior grau de pureza possível.

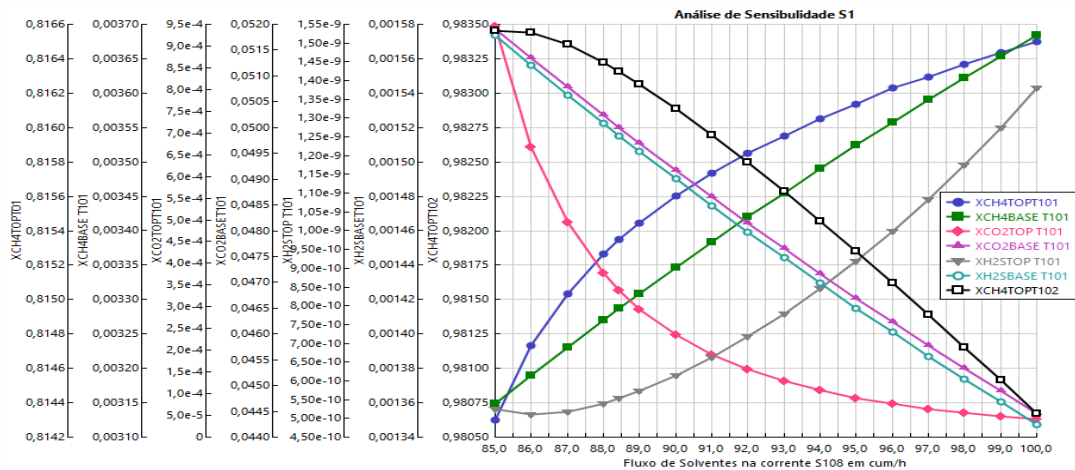
A torre T103, também representada pelo modelo RadFrac, possui 5 estágios. Nela o solvente é recuperado e reinserido no sistema. Introduce-se uma corrente de ar na base da coluna como gás de arraste para auxiliar a regeneração do solvente. Na corrente de saída desta torre instalou-se uma bomba com o intuito de aumentar a pressão, igualando-a a pressão do topo da T102 e facilitando a passagem do fluido pelo seu interior. A corrente S111 proveniente da base da T101 alimenta o vaso *flash* F101, o qual tem como função retirar o dióxido de carbono (CO₂) do sistema por meio da corrente de topo, enquanto que a corrente de base, composta pelos solventes ricos em compostos dissolvidos e do CO₂ residual, alimenta a coluna T103 e é posteriormente realimentada no processo por uma corrente de reciclo. A colocação de uma válvula redutora de pressão na entrada do vaso F101 evita uma despressurização brusca comprometa o desempenho do processo.

3. Resultados e discussão

A coluna de absorção T101 é responsável pela primeira lavagem do biogás proveniente do biodigestor anaeróbio, composto por 50% de CH₄, 46% de CO₂, 1,8% de H₂, 1,8% de H₂S e 0,4% de H₂O. A Figura 2 expressa o comportamento da fração mássica do metano, dióxido de carbono e sulfeto de hidrogênio no topo e na base da coluna T101, e o comportamento do metano no topo da coluna T102. Observa-se que os melhores resultados são obtidos a uma vazão de 88 m³/h de solvente, onde atinge-se o grau de pureza mais elevado de metano em T102, 98,33%. Em uma segunda análise de sensibilidade observou o comportamento da fração mássica de CO₂ e CH₄ em T102 em relação ao número de estágios teóricos em T101. Com ela atestou-se que a partir do décimo estágio os valores para as frações mássicas dos compostos tornaram-se constantes, sendo suficientes para alcançar o grau de pureza de CH₄ mais elevado e a melhor absorção do CO₂.

Na coluna T102 ocorre a segunda lavagem da mistura gasosa, é nela onde obtém-se o biogás purificado. Assim como para T101 foram feitas análises de sensibilidade a fim de examinar quais variáveis afetam a purificação. Após uma terceira análise constatou-se que a pressão no compressor isentrópico C102 não exerce influência significativa sobre as frações mássicas em T102. De modo análogo à primeira coluna, notou-se que 10 estágios teóricos são necessários para alcançar o maior grau de pureza e melhor absorção dos compostos. Além disso, examinou-se também o comportamento das frações mássicas de CO₂, CH₄ e H₂S nas correntes de base e de topo de T102 quando se altera a temperatura em H103. O sistema mostrou alta sensibilidade a variação de temperatura e em T= -10°C apresenta um melhor rendimento. As Tabelas 1 e 2 explicitam as especificações obtidas como resultado em T102.

Figura 2 - Comportamento da fração mássicas em T101 e no topo de T102



Fonte: próprio autor

Tabela 1- Especificação dos equipamentos

Equipamentos	S104	S119	S106	S105
Temperatura (°C)	-70,728	-10	-10,708	-9,250
Pressão (bar)	1,3	1,5	1,3	1,3
Fração de vapor	0,995	0	0	1
Fluxo volumétrico (m ³ /h)	620,915	233,290	233,553	731,794

Fonte: próprio autor

Tabela 2 – Frações mássicas dos componentes nas correntes de T102

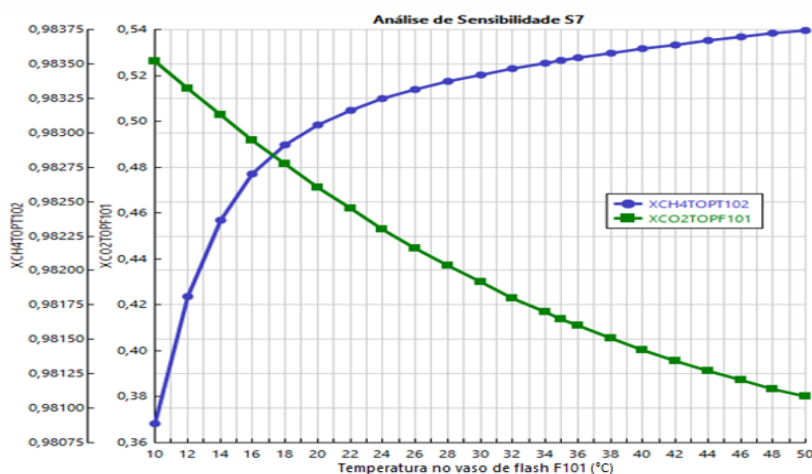
Fração mássica	S104	S119	S106	S105
H ₂	0,0042	Traços	Traços	0,005
H ₂ S	Traços	Traços	Traços	Traços
CO ₂	0,0003	Traços	Traços	Traços
CH ₄	0,8160	Traços	0,0009	0,983
H ₂ O	Traços	0,0003	0,0003	Traços
polietileno glicol	Traços	0,9994	0,9943	Traços
dimetil éter	0,1793	Traços	0,0044	Traços
N ₂	0	0,0001	Traços	0,005
O ₂	0	0,0001	Traços	0,005

Fonte: próprio autor

A coluna de absorção T103 opera a uma pressão de 0,8 bar e temperatura média de 9,568°C. Nela a corrente de solvente proveniente da base do vaso *flash*, livre de CO₂, é regenerada e reinserida no processo à fração mássica de 0,9994. Analisando os resultados obtidos verificou-se que uma corrente de ar com vazão de 40 m³/h, temperatura e pressão ambiente, deveria ser introduzida na base da torre, exercendo a função de gás de arraste, o qual irá auxiliar na regeneração do solvente. A variação desta vazão pouco afeta as frações mássicas dos compostos no processo.

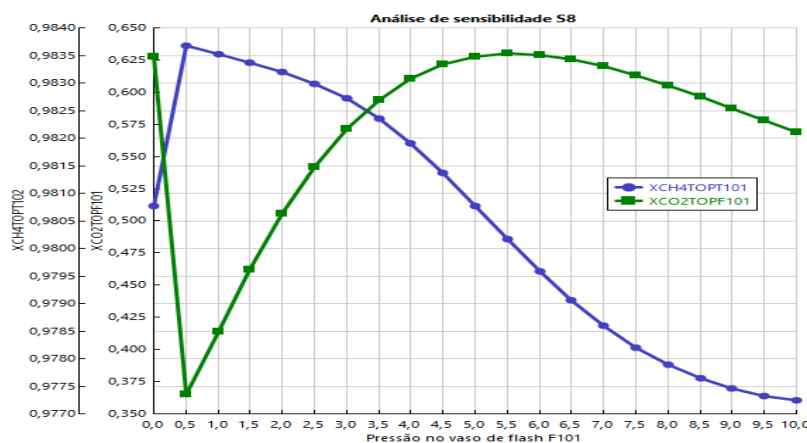
O vaso *flash* F101 opera a 35°C e 1bar e sua função é retirar o CO₂ do sistema. Sua alimentação é através da corrente de base de T101 proveniente da primeira lavagem do biogás, a qual contém solvente rico em compostos dissolvidos. A fração mássica de CO₂ retirada do sistema é de 0,4138. As Figuras 4 e 5 mostram a influência da temperatura e pressão do vaso *flash* sobre as frações mássicas de CO₂ na corrente de topo do vaso *flash* e CH₄ na corrente de topo da T102.

Figura 4 - Variação das frações mássicas de CO₂ e CH₄ com a mudança de temperatura no vaso *flash*



Fonte: próprio autor

Figura 5 - Variação das frações mássicas de CO₂ e CH₄ com a mudança pressão no vaso de *flash*



Fonte: próprio autor

Observa-se ainda nas Figuras 4 e 5 que as frações mássicas de CO₂ e CH₄ apresentam comportamentos opostos quando ocorre variação de temperatura e pressão. A explicação para tal fenômeno traduz-se na maior solubilidade do CO₂ nos solventes utilizados, acrescido ao fato de o aumento da temperatura acarretar aumento da solubilidade, por conseguinte, menos CO₂ é retirado do processo. Todavia, a diminuição da temperatura favorece o decaimento da pureza do CH₄.

4. Conclusão

Dos resultados obtidos neste trabalho pode-se concluir que:

Os resultados simulados na purificação do biogás na planta utilizada mostraram-se muito satisfatórios haja vista que o desempenho foi semelhante a dados da literatura e outros trabalhos na área.

O processo de purificação de biogás utilizando dimetil éter e polietileno glicol como solventes orgânicos atingiu pureza em CH₄ de 98,33%.

Uma quantidade de CO₂ (41,38%) foi retirada ao final do processo. Uma maneira de otimizar esse resultado seria implantar um segundo vaso *flash* na unidade.

Com base no cenário da crise hídrica no semiárido, o uso da mistura de solventes orgânicos utilizados pode ser uma boa alternativa para processos de purificação de biogás.

Palavras chave: biodigestor; biogás; purificação; solventes orgânicos

5. Referências

ASPEN PLUS. **Reference Manuals: Unit Operation Models**. Versão 10.2, Aspen Technology, Inc, 2000. 179p.

Batstone D. J., Hülsen T., Mehta C. M., Keller J. (2015). **Platforms for energy and nutrient recovery from domestic wastewater: a review**. Chemosphere 140 2–11. 10.1016/j.chemosphere.2014.10.021.

Henriques M. R. (2004). **Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: uma abordagem tecnológica**. Mestra. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

VALENTINE, J. and LULEY, W. (1974). **GAS PURIFICATION**. 3, 824,766.

ZANETTE, A. (2009). **Potencial de aproveitamento energético do biogás no brasil**. Mestre. Universidade Federal do Rio de Janeiro.