

AValiação Técnico-Econômica da Produção de Ácido Succínico via Fermentação Ácida

A. A. B. BERTI^{1,2}, J. B. V. BASTOS^{2,3}, E. L. ALVARISTO^{2,3}, F. R. MOURA^{2,3} e P. H. R. ALIJÓ⁴

¹ Faculdade SENAI-CETIQT, Rio de Janeiro, Brasil

² Instituto SENAI de Inovação em Biossintéticos, Rio de Janeiro, Brasil

³ Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, Brasil

⁴ Departamento de Físico-Química, Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, Brasil

E-mail para contato: aberti@cetiqt.senai.br

RESUMO – O ácido succínico é uma molécula em evidência no cenário mundial por seu potencial para se tornar um *building block* renovável. O presente estudo utiliza uma metodologia que estima os custos de capital e operacionais de uma planta industrial a partir de simulação computacional utilizando *softwares* comerciais. Esta metodologia também permite estimar um preço mínimo de venda considerando uma taxa de retorno para o capital investido. A metodologia se mostrou eficiente para determinar o custo de capital investido uma vez que preço estimado ficou próximo ao preço praticado no mercado. Avaliações como esta são especialmente úteis para direcionar esforços de pesquisa e desenvolvimento, auxiliando investidores na tomada de decisões.

1. INTRODUÇÃO

Problemas ambientais relacionados a emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) e a conhecida instabilidade nos preços do petróleo tem motivado o desenvolvimento de cadeias produtivas alternativas – baseadas em recursos renováveis. Em 2004 o Departamento de Energia dos Estados Unidos apontou o ácido succínico como um *building block* de grande potencial capaz de ser produzido a partir de açúcar (Werpy *et al.*, 2004). Ele pode ser usado diretamente ou convertido em derivados como o 1,4-butanodiol, podendo ser utilizado em uma variada gama de aplicações, tais como no setor de tintas, adesivos, alimentício, cosméticos, plásticos biodegradáveis, plastificantes livres de ftalatos, entre outros.

O ácido succínico era tradicionalmente produzido a partir da hidrogenação do anidrido maleico, que é derivado do petróleo. Todavia, ele também é produzido naturalmente por todo organismo que utiliza a via glicolítica para obtenção de energia, tornando-o um candidato para produção através de fermentação.

Este estudo, a partir de uma análise técnico-econômica, tem o objetivo de estimar os custos de capital e os custos operacionais de uma planta industrial de produção de ácido succínico e, com isto, sugerir um preço mínimo de venda considerando uma taxa interna de retorno.

2. METODOLOGIA

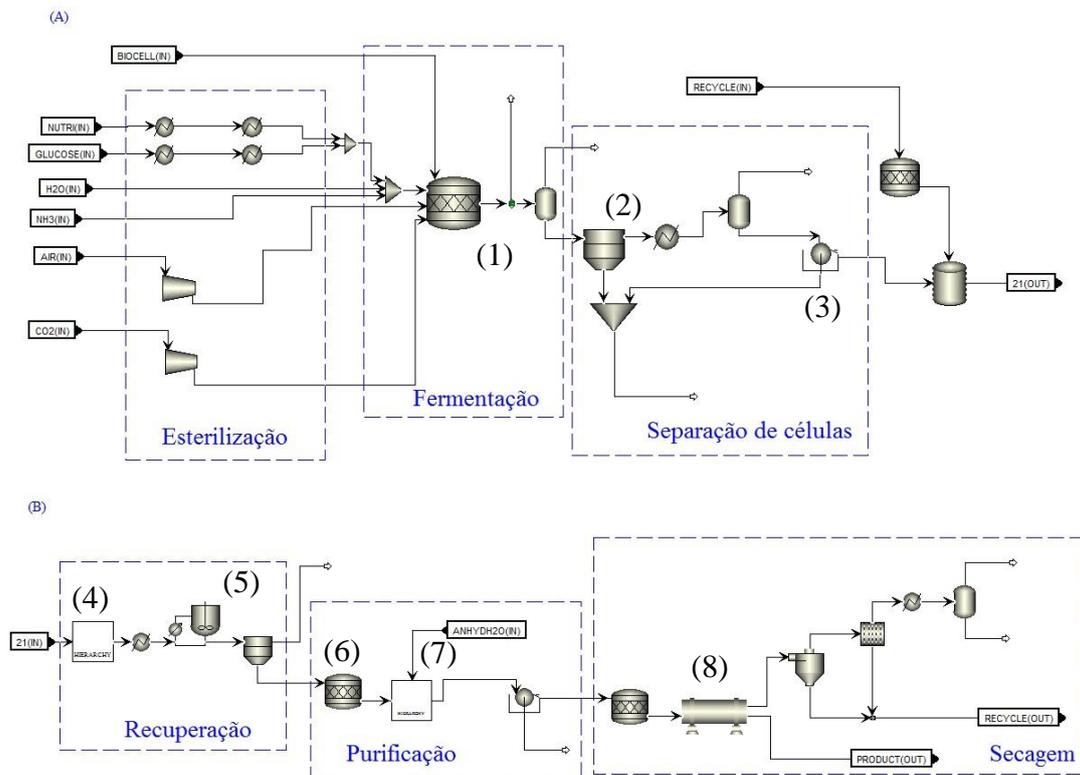
2.1. Simulação do Processo

O processo estudado foi desenhado a partir de patentes e artigos (Xiao *et al*, 2014; Cargill Incorporated. BioAmber S.A.S., 2014; BioAmber S.A.S., 2013 e então simulado no *software* Aspen Plus V8.8 para a obtenção de balanços de massa e energia rigorosos. A partir de tais balanços, é possível estimar os consumos de matéria prima e utilidades da planta de processo.

Supõem-se que o processo desenvolvido seja semelhante ao processo empregado comercialmente pela empresa BioAmber, uma vez que suas patentes se diferem substancialmente das patentes de outras empresas analisadas (*e.g.* Myriant, Reverdia), pois descrevem a fermentação sendo realizada por uma levedura, *Issatchenkia Orientalis*, que é capaz de produzir ácido succínico em meio ácido, a produtividade publicada na patente é de $0,93 \text{ g/ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Visto que a patente realiza um estudo preliminar da linhagem em *shaker* e que melhorias como modificação genética e controle de processo podem aumentar a produtividade neste estudo utilizou-se $1,6 \text{ g/ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$. O meio ácido dispensa a neutralização do meio de cultura durante a fermentação que acarretaria em etapas adicionais na recuperação do produto e na formação de subprodutos (Cargill Incorporated. BioAmber S.A.S., 2014).

A simulação realizada em Aspen Plus V8.8 prevê uma produção de 40kt/ano de ácido succínico com pureza superior a 99,9% operando 8000h/ano. Segundo a metodologia proposta por Carlson (1996), o modelo termodinâmico escolhido para representar todas as correntes da simulação foi o NRTL. Um esquema da simulação é apresentado na Figura 1. A unidade industrial foi dividida em três áreas: A100, fermentação; A200, recuperação e purificação e OSBL, geração de utilidades e armazenamento. A OSBL foi estimada a partir dos resultados de consumo de utilidades da planta simulada em Aspen Plus.

Figura 1 – (A) Área 100 (B) Área 200



O processo consiste na fermentação da glicose pelo micro-organismo em fermentadores em batelada (1). As fermentações são iniciadas com uma defasagem no tempo de modo que no momento em que se termina de processar o conteúdo de um reator o conteúdo do próximo está pronto para ser processado, então foi possível aproximar a produção dos fermentadores com um reator estequiométrico contínuo. Dessa forma, a seção de recuperação e purificação opera em modo contínuo. Com o decorrer da fermentação, a concentração de ácidos aumenta levando à redução do pH, que só é corrigido ao atingir valores inferiores a 3. O ácido succínico neutralizado é perdido. O mosto fermentado é centrifugado (2) e passa por uma etapa de polimento com ultrafiltração (3). Neste estudo, o reciclo de células não foi considerado devido à ausência de informações nas patentes. Ele é então concentrado através de evaporação (4) e segue para uma etapa de cristalização (5). Nesta etapa, a maior parte dos subprodutos, entre eles etanol, glicerol e ácido acético, é removida pois estes não cristalizam. O ácido recuperado é então derretido (6) e passa por uma destilação (7) para remoção dos últimos contaminantes e correção de coloração. O ácido é cristalizado e secado (8) antes de ser embalado (BioAmber S.A.S., 2013).

2.2. Avaliação Econômica

Utilizando o *software* Aspen Process Economic Analyzer V8.8.2 (APEA), em conjunto com dados da simulação, os equipamentos que compõem a planta industrial foram

dimensionados e o custo de construção da planta industrial foi estimado utilizando a base de custos do quarto trimestre de 2015. Os custos de matéria-prima e utilidades foram estimados a partir dos consumos calculados na simulação. Com os custos de capital (CAPEX) e os custos variáveis foram determinados os custos de operação (OPEX) utilizando uma metodologia adaptada de Turton (2012) para o cálculo de custos fixos e outras despesas de uma planta industrial. O valor mínimo de venda foi estimado como uma composição de parcelas, onde cada uma depende de uma variável de custo: custos variáveis, custos fixos e outras despesas e um retorno de investimento de 15% em 20 anos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de custos de CAPEX obtidos no APEA são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Detalhamento do CAPEX.

Componente	USD
A100	78.029.982,17
A200	22.403.996,37
OSBL	26.778.966,46
Contingência de Processo	12.721.294,50
Capital Total de Processo	139.934.239,50
Contingência de Projeto	34.983.559,88
CAPEX	174.917.799,38
Capital Adicional	8.745.889,97
Capital Fixo Total	183.663.689,34

O CAPEX da planta da BioAmber em Sarnia (Ontário, Canadá) foi de aproximadamente 141,5 milhões de dólares com uma capacidade de produção de 30 kt/ano (BioAmber, 2015). O erro relativo percentual (realizando uma correção para a diferença de capacidades) foi de 3,7% em relação ao valor obtido através desta metodologia. As estimativas forneceram um alto grau de precisão, pois para um projeto conceitual, a *AACE International* (2016) estima um erro no CAPEX de -20% a +30% no caso menos conservador e entre -50% a +100% no caso mais conservador. O custo da área de fermentação é responsável por 42,5% do valor do CAPEX, o que é atribuído à baixa produtividade do micro-organismo, requerendo fermentadores com grandes volumes. Um aumento da concentração final de ácido succínico na fermentação traria uma redução de CAPEX, diminuindo o tamanho dos fermentadores e o custo de algumas operações, principalmente a de evaporação, na seção de recuperação e purificação.

Com os dados obtidos na simulação e um conjunto de premissas descritas por Turton (2012), foi possível estimar o OPEX de acordo com a Tabela 2.

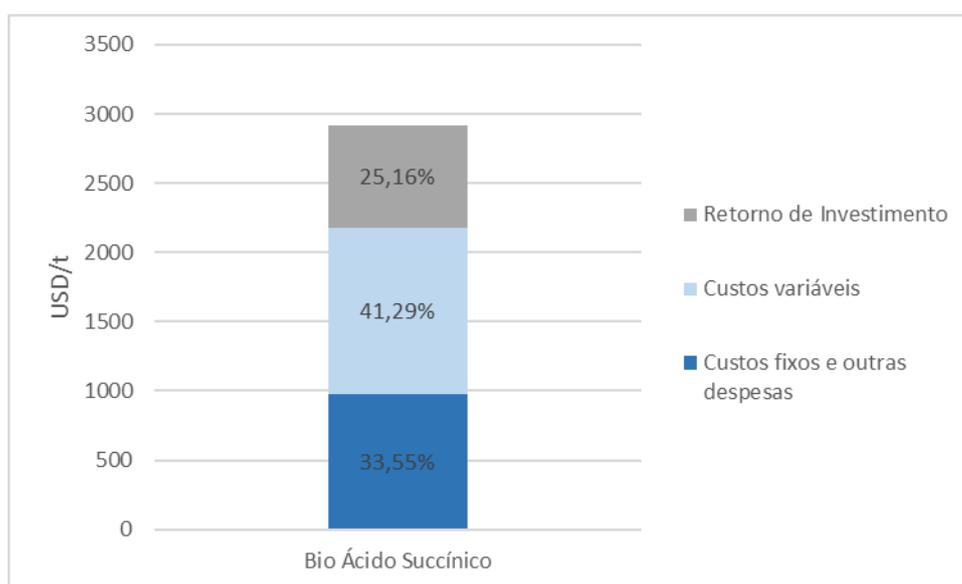
Tabela 2 – Detalhamento do OPEX.

Componente	USD/ano
Matérias Primas	40.753.428,65
Utilidades	7.404.511,53
Custos Fixos	36.591.422,56
Outras Despesas	2.542.480,88

OPEX	87.291.843,62
-------------	----------------------

A partir das estimativas de CAPEX (Tabela 1) e OPEX (Tabela 2), foi possível calcular o valor mínimo estimado de venda em 2.915,86 USD/t. Este valor é composto por três parcelas, cada uma com uma fonte de contribuição: custos fixos e outras despesas, custos variáveis e retorno de investimento. Para o processo simulado a distribuição das contribuições de cada parcela é apresentada na Figura 2.

Figura 2 – Estimativa do valor mínimo de venda, com a distribuição percentual das parcelas que compõem esse custo.



O valor calculado para esta tecnologia é competitivo em relação ao preço do produto no mercado, que está entre 2500 USD/t e 3000 USD/t (Morales *et al.*, 2016). O retorno de investimento, somado aos custos fixos e outras despesas, respondem por cerca de 60% do preço de venda. Isso se deve principalmente ao alto custo de CAPEX frente a capacidade nominal.

6. CONCLUSÃO

O ácido succínico tem sido apontado como um intermediário químico renovável de grande potencial, porém estudos sistemáticos envolvendo avaliações técnico-econômicas de sua produção via processos fermentativos ainda são escassos na literatura. Diante disso, neste trabalho apresenta-se uma metodologia para a estimativa do custo de capital e operacional de um processo de produção de ácido succínico via fermentação ácida. A partir destes custos, foi possível estimar um preço mínimo de venda, considerando uma taxa de retorno de investimento de 15% em 20 anos. Os resultados evidenciaram que o preço de venda estimado para o ácido succínico produzido a partir da rota renovável simulada pode ser competitivo, quando comparado ao preço de mercado atual. Além disso, a metodologia proposta possibilita quantificar o impacto de melhorias, podendo auxiliar na tomada de decisões em um estágio inicial de projeto.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACE International. *COST ESTIMATE CLASSIFICATION SYSTEM*. 2016.
- BioAmber. *BioAmber Sarnia Plant Opening – Media Release*. 2015.
- BioAmber S.A.S. Process for purification of succinic acid via distillation. *WO2013/088239*, 2013.
- Cargill Incorporated; BioAmber S.A.S. Yeast cells having reductive TCA pathway from pyruvate to succinate and overexpressing an exogenous NAD(P)⁺ transhydrogenase enzyme. *WO2014/018757*, 2014.
- Carlson, E. C. Don't Gamble with Physical Properties for Simulations. *Chem. Eng. Prog.*, v. 92 (10), p. 35-46, 1996.
- Morales, M.; Ataman, M.; Badr, S.; Linster, S.; Kourlimpinis, I.; Papadokostantakis, S.; Hatzimanikatis, V.; Hungerbühler, K. Sustainability assessment of succinic acid production technologies from biomass using metabolic engineering. *Enrg. & Env. Sci.* v. 9 (9), p. 2669-2926, 2016.
- Turton, R. *Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes*. New York: Prentice Hall, 2012.
- Werpy, T.; Petersen, G.; Aden, A.; Bozell, J.; Holladay, J.; White, J.; Manheim, A. *Top Value Added - Volume I: Results of Screening for Potential Candidates*. Washington: National Renewable Energy Laboratory (NREL) 2004.
- Xiao, H.; Shao, Z.; Jiang, Y.; Dole, S.; Zhao, H. Exploiting *Issatchenkia orientalis* SD108 for succinic acid production. *Microb. Cell Fact.* v. 13, 2014.