

AValiação Técnico-Econômica DO PROCESSO DE OBTENÇÃO DE OLIGOPEPTÍDEOS E ETANOL A PARTIR DA CASCA DA SOJA

C. PRETTO¹, L. C. MIRANDA², P. F. SIQUEIRA², P. W. TARDIOLI¹, R. C. GIORDANO¹, R. L. C. GIORDANO¹ e C. B. B. COSTA¹

¹ Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Química

² IMCOPA - Importação, Exportação e Indústria de Óleos S.A

E-mail para contato: caliane@ufscar.br

RESUMO – O processo de obtenção do óleo e do farelo de soja gera como subproduto a casca da soja. Atualmente, esta é, majoritariamente, utilizada para alimentação animal ou queimada na caldeira para gerar energia para a própria fábrica. Outras finalidades para este subproduto que aumente a rentabilidade da empresa têm sido objeto de estudo nos últimos anos. O uso da casca para a produção de oligopeptídeos e etanol já foi estudada em escala de bancada. O presente trabalho teve como objetivo fazer uma avaliação técnico-econômica de uma possível planta de produção de oligopeptídeos e etanol a partir da casca da soja, analisando quais parâmetros são fundamentais para a viabilidade econômica desse processo. Resultados indicam que os preços das enzimas, tanto a protease quanto a celulase, utilizadas e o preço do etanol e dos oligopeptídeos influenciam na viabilidade deste processo.

1. INTRODUÇÃO

A casca da soja é um subproduto do processo de obtenção do óleo e farelo de soja. Atualmente, seus principais usos são como ração para ruminantes, suínos e aves e para geração de vapor e energia em caldeiras das próprias fábricas de processamento do grão (SILVA, 2004; IMCOPA, 2014). Porém, pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de agregar valor a este subproduto, aumentando, assim, o rendimento das empresas. Por ser um material rico em celulose, aproximadamente 36% (m/m) de sua composição (ver Tabela 1), a maioria dos trabalhos publicados visa a produção de etanol (SCHIRMER-MICHEL *et al.*, 2008; MIELENZ *et al.*, 2009; ROJAS, 2012).

De fato, a produção de etanol a partir da casca da soja parece ser uma boa alternativa devido a esta grande quantidade de celulose e ao aumento da procura por biocombustíveis. Além disso, a proteína presente na casca de soja (aproximadamente 15%, m/m, Tabela 1) também pode ser hidrolisada para a obtenção de oligopeptídeos. Existem estudos que sugerem que oligopeptídeos, principalmente di e tri-peptídeos, são melhores absorvidos pelo organismo do que a proteína intacta ou mesmo a quantidade equivalente em aminoácidos livres (CLEMENTE, 2000).

Tabela 1 – Composição da casca da soja

Componente	% (m/m)
Celulose	35,80
Hemicelulose	23,10
Lignina	9,10
Extrativos	5,00
Cinzas	4,00
Proteínas	15,40
Pectinas	4,20

Fonte: Rojas (2012).

Os trabalhos publicados sobre a utilização da casca da soja como biomassa para a produção de etanol ainda são escassos e apenas em nível de laboratório, sendo que não foi encontrado nenhum que analise a viabilidade econômica do processo. Assim, este trabalho teve como objetivo realizar uma análise técnico-econômica preliminar da produção de etanol e oligopeptídeos a partir da casca da soja em escala industrial a partir de dados obtidos na literatura. Até o momento foram feitas análises considerando a obtenção destes produtos em um processo isolado, mas o que se pretende, em um trabalho futuro, é integrar este processo a uma planta de extração de óleo e farelo de soja.

Vários fatores influenciam na viabilidade de uma planta, como a capacidade instalada, o custo dos insumos e preço de venda dos produtos, a tecnologia disponível, os equipamentos utilizados, etc. Para este trabalho, optou-se por, definida uma capacidade de produção e um determinado arranjo produtivo, determinar a influência dos preços dos principais insumos e produtos na viabilidade desta planta.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a avaliação técnico-econômica do processo de extração de oligopeptídeos e produção de etanol a partir da casca da soja, utilizou-se o software SuperPro Designer 7.0. Para os dados de rendimento e sequência de operações foram utilizados os dados obtidos por Rojas (2012). Os equipamentos utilizados para a produção em escala industrial tiveram como base os trabalhos de Dias (2008 e 2011).

2.1. Dados Obtidos em Escala de Laboratório

Os resultados obtidos por Rojas (2012) para a extração de oligopeptídeos e a produção de etanol da casca da soja em escala de laboratório foram utilizados como dados de partida para o presente trabalho. Vale ressaltar que não era foco daquele trabalho a otimização do processo, e, por alguns experimentos preliminares feitos pela autora, foram comprovadas condições que melhoram o rendimento do processo, porém estas condições melhores não apresentam dados suficientes para modelagem. Como consequência, rendimentos melhores ainda podem ser obtidos.

A Figura 1 apresenta a sequência de etapas utilizadas. Primeiramente, a casca é misturada com

água na proporção de 1:9 para a realização da hidrólise protéica. A hidrólise foi realizada em um reator batelada com agitação mecânica durante 5 h a 60°C e pH 9. A enzima utilizada foi a Novo-Pro D fornecida pela Novozymes com concentração de 1% enzima ($m_{enzima}/m_{proteína}$). Após a hidrólise, a mistura foi filtrada e seca em estufa a 60°C. Como resultado, 56,9% das proteínas foram solubilizadas, a maioria com tamanho inferior a 6500 Da. Na fração líquida são obtidos os oligopeptídeos e na sólida, grande parte da celulose (75%), hemicelulose, lignina e outros sólidos não solubilizados.

O pré-tratamento do material lignocelulósico foi feito com ácido diluído. A fração sólida obtida na etapa anterior foi colocada em autoclave por 40 min a 120 °C com ácido sulfúrico 3% (v/v). Ao fim, a mistura foi filtrada e seca em estufa novamente. Ao final, foram removidos 65,6% da hemicelulose, na forma, principalmente, de pentoses.

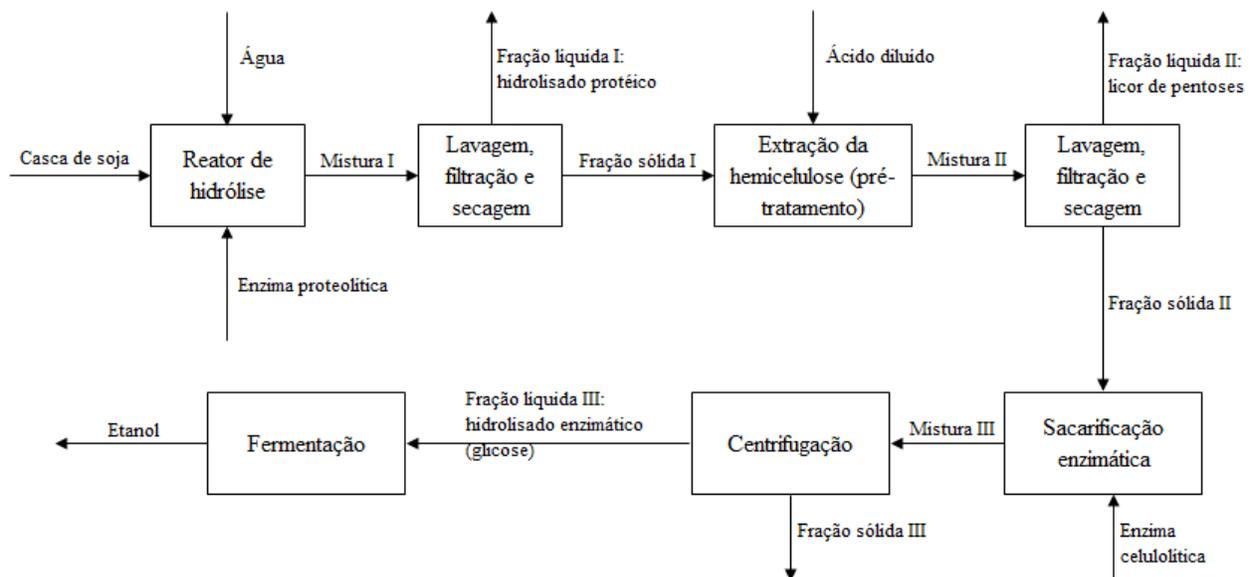


Figura 1 – Etapas utilizadas na produção de oligopeptídeos e etanol da casca da soja.

A hidrólise da celulose foi feita com a enzima Acellerase da Genencor, fornecendo uma carga de 7 e 20 FPU/g de celulose. Os dados utilizados neste trabalho são com base na carga de 20 FPU/g de celulose. A reação foi realizada a 50 °C por 72 h em pH 4,8. Após a reação, o material foi centrifugado por 10 min a 2500 rpm e 4 °C. A conversão de celulose em glicose foi de 55%. Na fração sólida, foi retirada, principalmente, a lignina. A separação sólido-líquido após a sacarificação enzimática permite que se obtenha uma fração sólida contendo lignina e celulose não hidrolisada. A fração líquida, rica em glicose, foi utilizada na fermentação com a levedura *Sacharomyces cerevisiae* da marca Fleischmann durante 135 min a 30 °C. O rendimento em etanol foi de 45,6% e em relação ao teórico de 89,3%. Para a modelagem, o tempo de fermentação utilizado foi de 8 h (com base em Dias, 2011).

2.2. Descrição do Processo Proposto em Escala Industrial

Para a simulação, fixou-se em 7920 h o tempo de operação anual, com o processamento de aproximadamente 36,2 mil toneladas de casca por ano. A IMCOPA - Importação, Exportação e Indústria de Óleos S.A. é uma empresa esmagadora de soja localizada em Araucária-PR. Utilizando esta empresa como exemplo, processar esta quantidade de casca seria o equivalente a utilizar aproximadamente 84% do total de casca gerada anualmente como subproduto da obtenção do óleo e farelo de soja.

Para a escolha dos equipamentos utilizados no processo, tomou-se como hipótese que o tratamento para a fermentação da glicose proveniente da hidrólise da celulose da casca é muito parecido ao que se dá com o bagaço da cana-de-açúcar. Desta forma, os equipamentos escolhidos foram os mesmos utilizados por Dias (2011) para a fermentação da glicose proveniente da hidrólise da celulose do bagaço de cana para a produção de etanol de segunda geração. A Figura 2 apresenta a proposta da planta do processo.

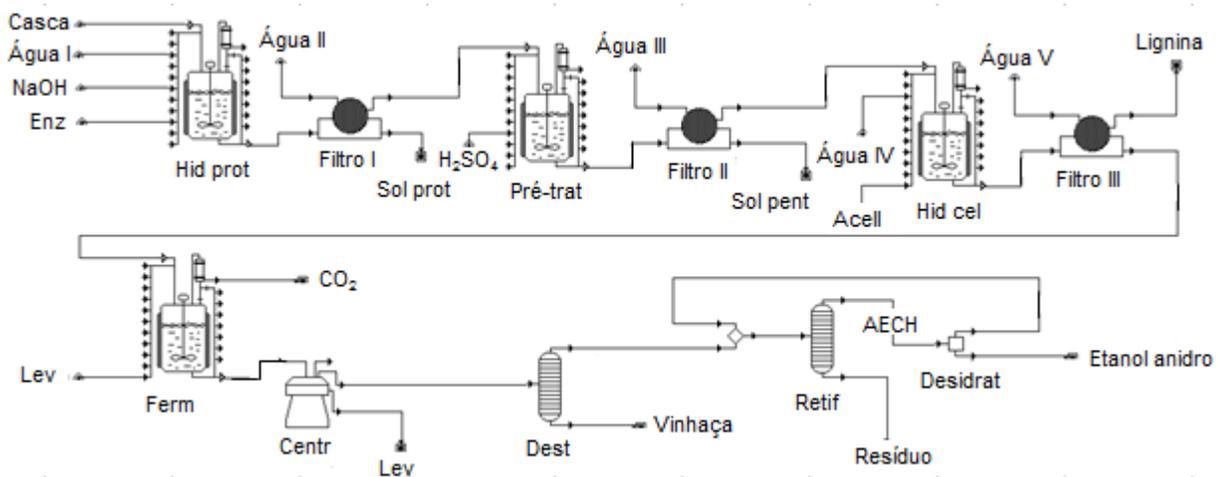


Figura 2 – Proposta para a planta de processamento da casca de soja pra obtenção de oligopeptídeos e etanol.

Após as reações de hidrólise das proteínas (Hid prot), extração da hemicelulose (Pré-trat) e hidrólise da celulose (Hid cel), em cada etapa, a mistura obtida foi filtrada. Depois da fermentação (Ferm), o vinho foi centrifugado para a separação das leveduras. Finalmente o vinho delevedurado que sai da centrífuga segue para a destilação (Dest e Retif) onde considerou-se a obtenção de álcool hidratado com aproximadamente 93% em massa de etanol e depois da desidratação (Desidrat) considerou-se 99,6% em massa de etanol.

O custo inicial da protease utilizada foi de US\$ 27,00/kg e da celulase US\$ 2,25/kg, obtidos por meio da IMCOPA e de Furlan (2012). O preço do etanol foi US\$ 0,69/L obtido no site do Centro de

estudos avançados em Economia aplicada - Cepea (<http://cepea.esalq.usp.br/etanol/>). Proteína hidrolisada de soja para alimentação animal foi encontrada com preços entre US\$ 2400 a 2800/ton de um fornecedor.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a primeira simulação do processo, mantendo-se a proporção do volume de água e o tempo de hidrólise da celulose utilizado por Rojas (2012), o processo ficou economicamente inviável, mesmo utilizando valores bem altos para os produtos e diminuindo o valor de insumos.

Posteriormente, a umidade nos reatores foi diminuída. Testes feitos pela IMCOPA (MIRANDA, 2012) mostraram que é possível se realizar a hidrólise enzimática do farelo de soja com 60% de umidade. Esse valor foi tomado como base e a umidade nos reatores de hidrólise das proteínas, reator de pré-tratamento e hidrólise da celulose foram diminuídas de 90, 80 e 90%, respectivamente, para aproximadamente 60% em todos. O tempo de hidrólise foi diminuído para 48 h (DIAS, 2011). Uma vez redefinido o processo, foram estudadas algumas variações nos preços das enzimas e nos valores dos produtos. A Tabela 2 apresenta os valores utilizados para as enzimas e produtos, assim como o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR) após impostos (34%), utilizando-se como taxa mínima de atratividade 7%.

Tabela 2 – Resultado das simulações para diferentes valores de enzimas e produtos

	Custo (US\$/kg)		Preço de venda		Resultados	
	Novo-Pro D	Accellerase	Oligopeptídeos (US\$/kg)	Etanol (US\$/L)	VPL (10 ⁶ US\$)	TIR (%)
Caso 1	27,00	2,25	2,80	0,69	- 89,326	-
Caso 2	27,00	1,13	2,80	0,69	- 72,606	-
Caso 3	13,50	1,13	2,80	0,69	- 66,174	-
Caso 4	13,50	1,13	6,00	0,69	8,955	7,89
Caso 5	13,50	1,13	6,00	0,90	12,145	8,20

Apesar do custo da enzima Novo-Pro D ser 12 vezes maior do que da Accellerase, a quantidade utilizada é 31 vezes menor. Assim, o custo da Accellerase gera um impacto maior no processo, sendo que para o Caso 1, esta representa 71% do custo de todos os insumos, enquanto que a Novo-Pro D, 27% e outros insumos (como NaOH, H₂SO₄, água, etc) totalizam aproximadamente 2%.

Como pode ser observado, com os valores iniciais para o custo das enzimas e preço de venda dos produtos, o processo ainda é inviável economicamente. Apenas quando se diminui o preço das enzimas pela metade e utiliza-se pouco mais do que o dobro do preço de venda dos oligopeptídeos em relação aos iniciais é que se passa a ter um processo viável economicamente.

Entre os produtos, o que mais gera renda são os oligopeptídeos, devido a seu maior valor e também à maior quantidade produzida: aproximadamente 3 mil toneladas de oligopeptídeos por ano e 1,9 mil toneladas de álcool por ano. Essa baixa quantidade de etanol se deve à perda de celulose ao longo do processo (aproximadamente 25%) e à conversão a glicose de apenas 55% da quantidade que

chega no reator de hidrólise celulolítica. A quantidade de oligopeptídeos obtidos também poderia ser maior, já que apenas 56,9% do total de proteínas são recuperadas.

A Figura 3 apresenta a variação da TIR para diferentes valores do preço de venda dos oligopeptídeos, fixando-se os outros valores iguais ao do Caso 5.

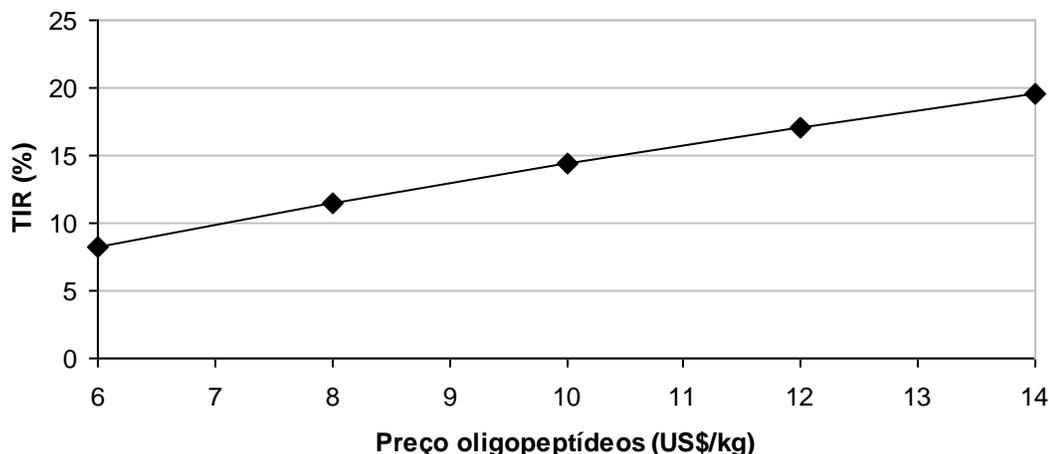


Figura 3 – Variação da TIR com o preço de venda de oligopeptídeos. Os demais insumos e produtos têm custos e preço de venda idênticos aos do Caso 5 da Tabela 2.

De acordo com Apostolakou *et al.* (2009), processos com TIR menores que 10% são de alto risco e entre 10 e 15% de médio risco. Assim, considerar valores de oligopeptídeos abaixo de aproximadamente US\$ 7,00/kg indicam que o investimento não é recomendado, enquanto que acima de pouco mais de US\$ 10,00/kg seria optar por um empreendimento com maior segurança.

Uma provável opção para melhorar a viabilidade econômica da produção de oligopeptídeos e etanol a partir da casca seria o desenvolvimento de processos que apresentassem maior rendimento dos produtos, já que existem perdas consideráveis no processo utilizado neste trabalho e baixa conversão de celulose em glicose. Os subprodutos gerados também poderiam ser utilizados, como o licor de pentoses e a lignina. O licor de pentoses poderia ser usado, também, para produção de etanol ou de xilitol, entre outros e a lignina poderia ser, por exemplo, queimada em uma caldeira para gerar vapor e energia para o processo, diminuindo os gastos com estes. Outra opção seria não produzir o etanol, obtendo-se apenas os oligopeptídeos a partir da casca e utilizar o restante do material para produzir vapor e energia para o processo em uma caldeira.

4. CONCLUSÕES

A casca da soja é um subproduto do processo de obtenção do óleo e do farelo de soja. Este trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade econômica de se utilizar a casca como matéria-prima para a produção de oligopeptídeos e etanol em função dos preços dos principais insumos e dos preços de venda dos produtos.

A partir da simulação do modelo obtido com base em dados da literatura, pôde-se observar que com a capacidade, as operações, os equipamentos e rendimentos utilizados, o processo só começaria a ser viável se as enzimas tivessem seus preços reduzidos pela metade e o preço de venda dos oligopeptídeos fosse pouco mais do que dobrado em relação ao inicial.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à IMCOPA - Importação, Exportação e Indústria de Óleos S.A.

6. REFERÊNCIAS

- APOSTOLAKOU, A. A.; KOOKOS, I. K.; MARAZIOTI, C.; ANGELOPOULOS, K. C. Techno-economic analysis of a biodiesel production process from vegetable oils. *Fuel Proc. Tech.*, v. 90, p. 1023-1031, 2009.
- CEPEA. *Indicadores de preço – Etanol*. Disponível em <http://cepea.esalq.usp.br/etanol/>. Acesso em abril de 2014.
- CLEMENTE, A. Enzymatic proteins hydrolysates in human nutrition. *Trends in Food Sci. & Tech.*, v. 11, p. 254-262, 2000.
- DIAS, M. O. S. *Simulação do processo de produção de etanol a partir do açúcar e do bagaço, visando a integração do processo e a maximização da produção de energia e excedentes do bagaço*. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia química) - Faculdade de Engenharia química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- DIAS, M. O. S. *Desenvolvimento e otimização de processos de produção de etanol de primeira e segunda geração e eletricidade a partir da cana-de-açúcar*. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia química) – Faculdade de Engenharia química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.
- FURLAN, F. F. *Desenvolvimento de ambiente integrado para simulação e otimização estática da produção de etanol a partir de bagaço de cana-de-açúcar por rota bioquímica*. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia química) - Faculdade de Engenharia química, Universidade federal de São Carlos, São Carlos, 2012.
- IMCOPA. *Empresa*. Disponível em <http://www.imcopa.com.br/empresa>. Acesso em abril de 2014.
- MIELLENZ, J. R.; BARDSLEY, J. S.; WYMAN, C. E. Fermentation of soybean hulls to ethanol while preserving protein value. *Biores. Tech.*, v. 100, p. 3532-3539, 2009.
- MIRANDA, L. C. *Obtenção e caracterização de hidrolisados enzimáticos de proteínas do farelo de soja*. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia química) - Faculdade de Engenharia química, Universidade Federal de São Carlos, 2012.
- ROJAS, M. J. *Produção de etanol e hidrolisado protéico da casca da soja*. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia química) - Faculdade de Engenharia química, Universidade

Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

- SCHIRMER-MICHEL, A. C.; FLÔRES, S. H.; HERTZ, P. F.; MATOS, G. S.; AYUB, M. A. Z.. Production of ethanol from soybean hull hydrolysate by osmotolerant *Candida guilliermondii* NRRL Y-2075. *Biores. Tech.*, v. 99, p. 2898–2904, 2008.
- SILVA, B. A. N. A casca da soja e sua utilização na alimentação animal. *Rev. Eletr. Nutritime*, v. 1, n.1, p. 59-68, 2004.