

# Concentration and atomization drying as an alternative for treating rice ethanol vinasse

## Concentração e secagem por atomização como uma alternativa de tratamento da vinhaça do etanol de arroz

Helen Just Savi  
Elaine Virmond

Universidade Federal de Santa Catarina – Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde – Departamento de Energia e Sustentabilidade, Araranguá, Brasil  
helen-just@hotmail.com  
elaine.virmond@ufsc.br

**Abstract:** The growing demand for biofuels promotes an increasing of bioethanol production and a consequent increasing vinasse generation, the main residue resulting from its production. Due to the large volume generated and the high organic load present, vinasse becomes an environmentally adequate final disposal challenge for ethanol plants. This paper proposes the concentration and atomization drying as an alternative for the treatment of rice ethanol vinasse, aiming at closing the ethanol production cycle by generating a final product with high protein content for the manufacture of animal feed. For this, the process is described in detail and the associated production costs are estimated, focusing on energy costs (corresponding to 55.01% of production costs) to analyse the business profitability with the product commercialization. As a result, the financial indicators obtained are as follows: Net Present Value (NPV) of R\$ 17,017,689.93 and Internal Rate of Return (IRR) of 81.84%, with a payback of 1.22 years. This demonstrates the economic viability of the drying system implementation.

**Keywords:** Liquid effluent, rice ethanol, vinasse, spray dryer.

**Resumo:** A crescente demanda por biocombustíveis promove o aumento da produção de bioetanol e o consequente aumento da geração de vinhaça, principal

resíduo decorrente da sua produção. Devido ao grande volume gerado e da alta carga orgânica presente, a vinhaça impõe desafios à disposição final ambientalmente adequada para as usinas de bioetanol. Este trabalho apresenta a concentração e secagem por atomização como alternativa para o tratamento da vinhaça de etanol de arroz com o objetivo de fechar o ciclo produtivo do etanol, gerando um produto final com alto teor proteico destinado à fabricação de ração animal. Para isso, o processo é descrito em detalhes e os custos de produção atrelados são estimados, com foco nos custos energéticos (correspondentes a 55,01% dos custos de produção) para analisar a viabilidade de lucro com a comercialização do produto obtido. Como resultado, os indicadores financeiros obtidos são os seguintes: Valor Presente Líquido (VPL) de R\$ 17.017.689,93 e Taxa Interna de Retorno (TIR) de 81,84%, com *payback* de 1,22 anos. Isso demonstra a viabilidade econômica da implementação do sistema de secagem.

**Palavras-Chave:** Efluente líquido, etanol de arroz, vinhaça, spray dryer.

### 1 Introdução

Diante do interesse mundial em buscar soluções ambientais eficientes e sustentáveis, a transição energética mostra-se imprescindível para minimizar as emissões de gases do efeito estufa. Para atingir a marca de zero emissões líquidas em 2050, o uso de energias renováveis precisa dobrar a cada cinco anos [1]. Nesse sentido, o Brasil é, notoriamente, um dos países com a matriz energética mais renovável no mundo. Segundo a Agência Nacional de Petróleo [2], esse fato se deve, em parte, ao pioneirismo mundial no uso de biocombustíveis que levou o Brasil a alcançar uma posição almejada por muitos países que buscam desenvolver fontes renováveis de energia como alternativas estratégicas ao petróleo.

No Brasil, os dois principais biocombustíveis líquidos utilizados são o etanol obtido a partir de cana-de-açúcar e, em escala crescente, o biodiesel.

Segundo a *Renewable Fuels Association* [3], o Brasil foi o segundo maior produtor de bioetanol no mundo em 2020, responsável por cerca de 30% de toda a produção mundial, com cerca de 30 bilhões de litros, ficando atrás apenas dos EUA, cuja produção de 52,7 bilhões de litros corresponde a cerca de 53% da produção do biocombustível no mundo.

No entanto, com a crescente produção de etanol em todo o mundo, a preocupação quanto aos impactos ambientais relacionados também aumenta [4]. Dentre os resíduos gerados na produção de etanol, a vinhaça se destaca como o resíduo mais preocupante. De acordo com Bergmann et al. [5], a vinhaça consiste em um lodo ácido (pH 3,5-5) de cor marrom escura, com alto teor orgânico (demanda química de oxigênio de 50-150 g/L) e cheiro desagradável para humanos. Somam-se a essas características elevadas concentrações de potássio e sulfato, além de teores apreciáveis de fósforo, nitrogênio e outros, tais como macro e micronutrientes [6]. Possui alto potencial poluidor, cerca de 100 vezes mais do que o esgoto doméstico, devido ao alto teor de matéria orgânica, causando esgotamento de

oxigênio e altos níveis de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) [7].

Lora e Venturini [8] estimam que a vinhaça corresponde a aproximadamente 57% de todos os resíduos produzidos pelas usinas de etanol, e que seu custo de disposição aumentou significativamente no decorrer dos anos. Fuess [6] estima que a taxa de geração média de vinhaça corresponde, em geral, a 13 L por litro de etanol produzido, enquanto Parsaee et al. [9] afirmam que a produção mundial atual de vinhaça é de cerca de 22,4 GL.

Para Fukushima et al. [4], a perspectiva de crescimento na produção de etanol deve atingir 65 milhões  $m^3$  até 2050, valor 133% maior que os 28,3 milhões  $m^3$  produzidos no Brasil em 2016. Com este aumento na produção, segundo Ao et al. [10], faz-se necessário o desenvolvimento de rotas de desperdício zero para a valorização da vinhaça com a finalidade de alcançar o desenvolvimento sustentável.

Das alternativas mais utilizadas como opção de tratamento e aplicação da vinhaça nas usinas de bioetanol no Brasil destacam-se a biodigestão e a fertirrigação [11] [12] [13]. Segundo Fuess [6], praticamente todo o volume de vinhaça gerado nas destilarias brasileiras, que utilizam predominantemente a cana-de-açúcar, é direcionado à fertirrigação das lavouras. No entanto, ainda segundo o autor, o potencial poluente/contaminante da vinhaça caracteriza sua disposição no solo como problemática, tendo em vista prováveis impactos negativos no solo e nos recursos hídricos no caso da aplicação de dosagens inadequadas. Além disso, possíveis casos de contaminação por metais tóxicos (como cádmio, chumbo, cobre, cromo e níquel) também podem estar associados ao descarte da vinhaça.

A secagem após a concentração é uma alternativa de tratamento para a vinhaça residual do processo de produção de etanol [14]. O produto obtido pode ser comparado ao *Distillers Dried Grains with Solubles* (DDGS), matéria-prima já amplamente empregada na formulação de rações animais, principalmente como suplemento proteico, mas também como fonte de energia metabolizável. Entretanto, é um dos ingredientes mais caros. Por isso, a busca por fontes de proteína alternativa de menor custo, mas com garantia de valor nutritivo para reduzir custo e aumentar retorno econômico, é uma necessidade nesse setor. Em estudo recente, El-Zaiat et al. [15] mostraram que o produto resultante da secagem da vinhaça de etanol de arroz constitui uma fonte promissora de proteína e energia para rebanho de ovelhas, com potencial extra para vantagens econômicas sem efeitos adversos na performance de crescimento do rebanho.

Este trabalho apresenta essa alternativa utilizando como objeto de estudo uma usina de etanol instalada no extremo sul catarinense que utiliza resíduo de arroz como matéria-prima. Esse tipo de tratamento visa à valorização de um resíduo com alto potencial poluente, transformando-o em um coproduto rentável por meio de um processo produtivo ecoeficiente, aproximando a empresa de uma rota de desperdício zero. Nesse contexto, este trabalho levantou em campo informações pertinentes ao processo produtivo e

estudou a viabilidade de lucro com a comercialização do produto seco obtido para aplicação na fabricação de ração animal.

## 2 Metodologia

O trabalho utilizou-se de pesquisa exploratória como metodologia e foi desenvolvido na forma de estudo de caso. O embasamento teórico se deu por meio de revisão bibliográfica, enquanto que os dados técnicos de operação foram levantados em campo, por meio de contato direto com o corpo técnico da empresa.

### 2.1 Descrição do objeto de estudo

A empresa em estudo utiliza a quirera de arroz como principal matéria-prima e tem seu processo produtivo descrito na Figura 1. Apresenta capacidade de processamento média de 500 toneladas de quirera/mês, com capacidade nominal de produção de 550  $m^3$  de etanol/mês. Há recuperação de até 120.000 kg/mês de dióxido de carbono proveniente da etapa fermentativa do processo produtivo e geração média atual de vinhaça estimada em 90  $m^3$ /dia.

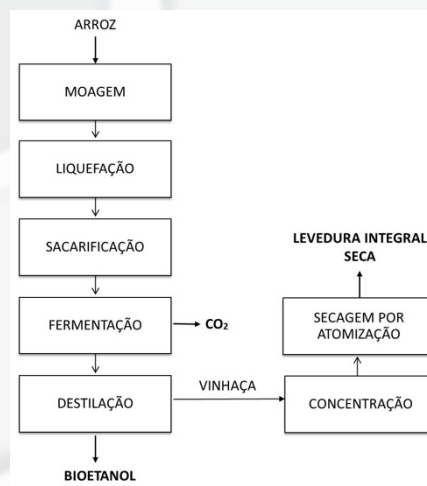


Figura 1: Fluxograma de processos operantes.

O volume diário gerado de vinhaça apresentava-se como uma problemática ambiental e logística para a empresa. Com isso, no ano 2016 a empresa investiu em um sistema de secagem composto de um evaporador de múltiplos efeitos para concentração da vinhaça e de um secador por atomização tipo *spray dryer* para a obtenção de um produto em pó com alto teor proteico, a ser destinado como matéria-prima para composição de ração animal.

As etapas de processo foram descritas a seguir a fim de servirem de base para a estimativa da viabilidade de lucro com a comercialização do produto seco.

### 2.2 Descrição do processo de concentração e secagem da vinhaça

O volume médio de vinhaça gerado na empresa objeto de estudo é de 90  $m^3$ /dia, com temperatura de

aproximadamente 100 °C, teor de sólidos totais (ST) de 7% e pH na faixa de 3,5-4,5. O tratamento da vinhaça ocorre em duas etapas: a vinhaça líquida residual proveniente da etapa de destilação do etanol de arroz é submetida à concentração em um evaporador de névoa turbulenta de múltiplos efeitos, reduzindo a umidade e aumentando o teor de ST a 30%, obtendo-se como produto a vinhaça concentrada. A vinhaça concentrada passa então para a etapa de secagem, efetuada em um secador tipo *spray dryer* com sistema de atomização com bicos de alta pressão, resultando em um produto em pó, a levedura integral seca, com teor de umidade final na faixa de 6%.

O equipamento que promove a concentração da vinhaça é um evaporador com quatro efeitos que utiliza o princípio da névoa turbulenta descendente de múltiplos efeitos e possui capacidade de evaporação de 4 t/h, possibilitando a redução do volume de produto em até dez vezes. O esquema de funcionamento do evaporador concentrador, descrito a seguir, pode ser observado na Figura 2.

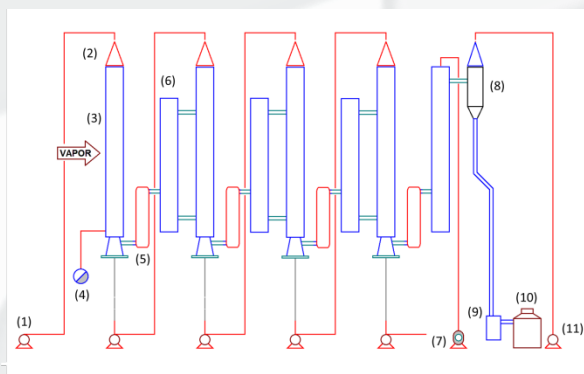


Figura 2: Esquema de funcionamento do evaporador de quatro efeitos: (1) bomba de recalque; (2) top cone; (3) feixe tubular longo; (4) purgador; (5) separador; (6) distribuidor; (7) bomba de vácuo; (8) condensador barométrico; (9) selo hidráulico; (10) torre de resfriamento; (11) bomba de recirculação.

Nessa etapa, a vinhaça armazenada em tanques (ST=7%) é bombeada com uma bomba de recalque (1) a uma vazão de 5 m<sup>3</sup>/h e inserida no equipamento na parte superior da torre, o chamado top cone (2). O top cone é composto de uma região de alta pressão na parte superior, na qual ocorre a formação da névoa turbulenta da vinhaça alimentada e consequente expansão térmica, e de uma região de baixa pressão na parte inferior (vácuo). O vapor é, então, inserido na parte superior do feixe tubular longo (3), entre a camisa e a parede externa do primeiro efeito do evaporador, com a finalidade de realizar a evaporação da névoa descendente do produto a alta velocidade e turbulência, promovendo transferência de calor durante todo o comprimento do feixe. Na parte inferior do feixe tubular, um purgador (4) retira a parcela de condensado no primeiro estágio, enquanto o produto a ser concentrado alimenta o próximo estágio por bombeamento. O vapor gerado no primeiro efeito é remanejado para o segundo efeito por meio de um separador (5) e de um distribuidor (6) para continuar o processo de evaporação. O processo se repete até o quarto efeito, no qual o produto concentrado a ST=30% é bombeado para armazenamento pré-atomização. Uma

bomba de vácuo (7) instalada na parte superior do último estágio garante que o vácuo no sistema diminua o ponto de ebulição do líquido no processo. O vapor remanescente do último estágio passa para um condensador barométrico (8) conectado a um selo hidráulico (9) que garante a manutenção do vácuo do sistema. Parte do vapor proveniente de (8) é reutilizada por meio de uma bomba de recirculação (11), enquanto o restante em estado líquido segue para uma torre de resfriamento (10), onde o calor residual é dissipado para o ambiente, encerrando o processo.

A vazão de saída é de 1.200 kg/h de produto concentrado, com teor de ST de 30%. O consumo de vapor estimado para a alimentação do primeiro efeito do concentrador é de 900 kg/h, sendo esse purgado ao final do primeiro estágio uma vez que o próprio vapor do produto a ser concentrado alimenta os próximos efeitos. Para promover a concentração de todo o volume de vinhaça gerado diariamente, o evaporador deve operar por 18 h/dia, produzindo 21.600 kg/dia de concentrado de vinhaça.

O secador por atomização *spray dryer* (Figura 3) possui a capacidade de processar vazão de 950 kg/h de resíduo de álcool de arroz com concentração de ST de 30%.

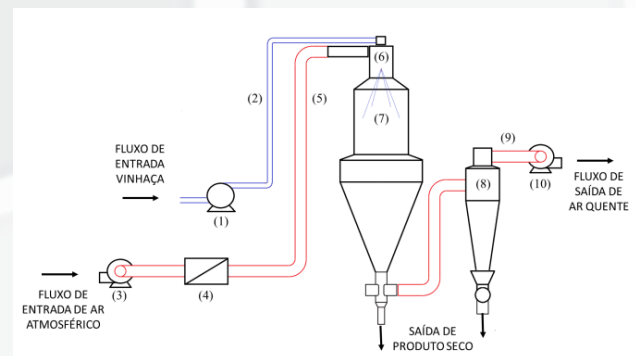


Figura 3: Esquema de funcionamento do secador: (1) conjunto de bombeamento; (2) canal de alimentação; (3) ventilador adutor; (4) trocador de calor; (5) tubulação de ar de entrada; (6) bico atomizador; (7) câmara de secagem; (8) ciclones; (9) tubulação de ar de saída; (10) ventilador exaustor.

Esse secador é alimentado por dois fluxos de massa distintos: um de material líquido a passar por secagem e outro de ar quente responsável pela secagem em si. A alimentação do material concentrado é feita por um conjunto de bombeamento (1) composto por uma bomba centrífuga seguida de uma bomba de alta pressão que promove o bombeamento ascendente do líquido a temperatura ambiente através do canal de alimentação (2). A inserção do fluxo de ar de entrada se dá por meio de um ventilador adutor (3) com vazão de 21.000 m<sup>3</sup> ar/h, que força a passagem do fluido a temperatura ambiente por um trocador de calor do tipo radiador (4). O radiador aumenta a temperatura do fluido a cerca de 180 °C, que ascende através da tubulação de ar de entrada (5). O bico atomizador (6) dispersa o líquido em gotículas descendentes, provocando o aumento da superfície de contato do material. Com isso, o fluxo concorrente de ar quente entra em contato direto com o líquido pulverizado

em direção à câmara de secagem (7) onde ocorre a evaporação do componente líquido pela transferência de calor entre o material disperso e o fluxo de ar quente. A maior parte do material já seco se deposita no cone abaixo da câmara de secagem, de onde é retirado como produto com umidade de cerca de 6% e temperatura de 45 °C. No entanto, devido à turbulência na câmara de secagem, parte do material continua em suspensão no fluxo de ar quente, sendo coletado em um par de ciclones (8) que promove a segunda retirada de material seco. O ar quente, livre de material particulado, segue pela tubulação de ar de saída (9), de onde é extraído por um ventilador exaustor (10) a cerca de 100 °C.

Com uma alimentação de 950 kg/h de vinhaça, a capacidade produtiva do sistema de secagem é de 302 kg/h de levedura seca, considerando umidade relativa final de cerca de 6%. Para processar os 21.600 kg/dia de concentrado, o secador deve operar por 22,7 h/dia, quase ininterruptamente, produzindo assim 6.867 kg/dia de produto seco. A demanda térmica do secador *spray dryer* estimada é de 1.090 kW, representando um consumo de cerca de 1.405 kg/h de vapor. A partir desses dados, os custos de produção da levedura seca integral foram estimados.

### 2.3 Caracterização da levedura integral seca

Uma amostra da levedura integral seca foi coletada na saída do secador tipo *spray dryer* durante a fase inicial de testes e enviada para um laboratório externo especializado para determinação dos parâmetros e respectivos métodos empregados listados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros e métodos utilizados nos ensaios de caracterização da levedura integral seca.

Parâmetro	Método
Amilase	Colorimétrico Titulação - Norma: USP 26 ( <i>Pancreatin "Assay for amylase activity"</i> )
Lisina	Para Tioptofano HPLC - Norma: EN ISO 13904; EU 152/2009 (F). Para demais aminoácidos:
Metionina	Hidrólise ácida - Norma: ISO 13903:2005; EU 152/2009 (F)
Beta glucanos	AOAC 995.16
Resíduo mineral fixo (material mineral)	Normas IAL, 4ª ed. SP - 2005, item 018/IV [PNT154-AL]
Fibra bruta	Gravimetria AOAC 962.09; AOCS Ba 6-84
Glucose	
Glucomanano (cálculo)	LC-DAD - Método interno
Manose	
Gordura total	Normas IAL, 4ª ed. SP - 2005, item 033/IV [PNT154-AL]
Proteína	Kjeldhal - PNT24-AL - Procedimento para determinação de proteína total [PNT024-AL]
Cálcio (Ca)	
Fósforo (P)	AOAC <i>Official Method</i> 2013.06 adaptado
Potássio (K)	[PNT005-AB]
Sódio (Na)	

Esses parâmetros são comumente determinados na análise de matérias-primas para formulação de ração animal, e os

ensaios foram realizados pelo Laboratório Eurofins/ALAC, sob relatório N° 101644/2016.

### 2.4 Análise da viabilidade de lucro na comercialização da levedura integral seca

Para Abreu Filho e Cury [16], a análise de um projeto de investimento tem por objetivo o fornecimento de subsídios para a tomada de decisão objetiva, por parte de investidores, a partir de premissas básicas estimadas e previstas com base nos cenários observáveis e em relação a seus julgamentos técnicos, para a maximização da riqueza e pela melhor relação risco *versus* retorno.

A análise econômica do sistema de secagem implantado baseou-se majoritariamente na metodologia proposta por Senicato e Basso [17]. Para tanto, assumiu-se que a geração diária de vinhaça da usina é de 90 m<sup>3</sup>/dia. Desse total, considerou-se o ciclo produtivo diário de 6,8 t/dia de levedura integral seca. Considerou-se também que o total de dias de operação da usina, sob condições normais, seja de 300 dias/ano, descontados recessos e pausas para manutenção, resultando em produção total de 2.010 t/ano do produto levedura integral seca.

Dentre os métodos quantitativos consagrados e consensuais no mundo das finanças, para a realização da análise da viabilidade econômica de implantação do projeto do sistema de secagem da vinhaça na empresa em estudo foram utilizados os indicadores listados a seguir: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Taxa de Retorno de Capital (TRC ou *payback*). Os cálculos desses indicadores foram realizados utilizando-se do *software Microsoft Excel*, tomando-se como horizonte de planejamento a vida útil dos equipamentos, estimada em 15 anos. A Taxa Média de Atratividade (TMA) considerada foi de 15% a.a.

Os custos de produção foram definidos pelo custo da matéria-prima, custos fixos e custos variáveis. Uma vez que a matéria-prima é considerada um resíduo industrial, seu custo é nulo. Os custos fixos incluem mão de obra e encargos agregados. Para a mão-de-obra considerou-se que sejam necessários apenas dois trabalhadores para a operação do conjunto evaporador e secador uma vez que o sistema é automatizado. Os custos variáveis englobam os custos energéticos e de embalagem do produto. O custo de vapor corresponde à demanda térmica de aquecimento dos trocadores de calor, enquanto que o custo de energia elétrica corresponde à demanda dos motores dos equipamentos, ambos descritos detalhadamente nos resultados deste trabalho.

Na definição do custo referente à embalagem, consideraram-se embalagens do tipo *big bag* com capacidade de 1 t, com custo individual de R\$ 17,00 (valor cotado em janeiro de 2019). Para a depreciação dos equipamentos, considerou-se uma taxa de 10% a.a. do investimento inicial total dos equipamentos, conforme média de máquinas industriais dispostas na instrução normativa RFB N° 1700 [18].

Quanto à estimativa de impostos, considerou-se operação sob Lucro Presumido. Para esse regime tributário, foram tomadas as seguintes considerações fornecidas pelo setor contábil da empresa em estudo para base de cálculo: contribuição social, com base de cálculo de 8% da receita bruta com alíquota de 15%; Imposto de Renda Pessoa Jurídica (IRPJ), com base de cálculo de 12% da receita bruta com alíquota de 9%; Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), com alíquota de 17% (para operações internas); Programa de Integração Social (PIS), com alíquota de 0,65%; e por fim, Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), com alíquota de 3%. O investimento total para a implementação do sistema de secagem foi estimado em R\$ 1,4 milhões para o evaporador e R\$ 3 milhões para o secador *spray dryer*, totalizando R\$ 4,4 milhões para o conjunto. Esse investimento foi realizado no ano de 2016.

#### 2.4.1 Cálculo do Valor Presente Líquido (VPL)

De acordo com Abreu Filho e Cury [16], o VPL pode ser considerado o método mais rigoroso e tecnicamente perfeito, e, de maneira geral, o melhor procedimento para comparação de projetos diferentes, mas com o mesmo prazo de vida econômica útil. Matematicamente, o VPL é o valor no presente ( $t = 0$ ) que equivale a um fluxo de caixa de um projeto, calculado a uma determinada taxa de desconto. O VPL de um fluxo de caixa de um projeto pode ser calculado pela Equação 1 [16],

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+k)^t} \quad (1)$$

em que  $FC_t$  é o fluxo de caixa resultante líquido do período  $t$  (em anos);  $k$  é a taxa de desconto (percentual) e  $n$  (em anos) é o horizonte de estudo definido para a análise do projeto.

O método VPL estabelece que:

- VPL > 0 → o projeto pode ser aceito.
- VPL = 0 → é indiferente aceitar ou rejeitar o projeto.
- VPL < 0 → o projeto deve ser rejeitado.

#### 2.4.2 Cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR)

Ainda segundo Abreu Filho e Cury [16], a TIR é a taxa que iguala o valor presente das entradas e saídas de um projeto de investimento e serve para determinar a taxa de juros máxima de custo de capital que um projeto suporta pagar. A taxa de desconto nominal considerada corresponde à Taxa Mínima de Atratividade (TMA), definida pelos mesmos autores como a taxa de retorno de um projeto abaixo da qual os investidores, individuais ou corporativos não a devem considerar atrativa para remunerar o capital investido.

Em termos matemáticos, a TIR de um projeto é a taxa de juros  $k^*$  que satisfaça a Equação 2 [16],

$$\sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+k^*)^t} = 0 \quad (2)$$

em que  $FC_t$  é o fluxo de caixa resultante líquido do período  $t$  (em anos);  $k^*$  é a taxa de desconto (percentual) e  $n$  (em anos) é o horizonte de estudo definido para a análise do projeto. A análise da TIR estabelece que:

- TIR > TMA → o projeto pode ser aceito.
- TIR = TMA → é indiferente aceitar ou rejeitar o projeto.
- TIR < TMA → o projeto deve ser rejeitado.

Os custos do investimento para implantação dos sistemas de concentração e secagem foram considerados no cálculo da TIR.

#### 2.4.3 Cálculo da Taxa de Retorno de Capital (TRC)

Segundo Afonso Junior e colaboradores [19], a TRC, também chamada *payback*, é o período necessário para que o investimento inicial aplicado seja recuperado, e pode ser calculada considerando a renda anual não descontada por meio da Equação 3,

$$TRC = \frac{C_i}{R_a} \quad (3)$$

na qual  $C_i$  é o capital inicial (em R\$) e  $R_a$  é a renda anual não descontada (em R\$). O critério do método do TRC estabelece que:

- TRC < vida útil do projeto → o projeto pode ser aceito.
- TRC = vida útil do projeto → é indiferente aceitar ou não.
- TRC > vida útil do projeto → o projeto deve ser rejeitado.

### 3 Resultados e Discussão

Apresentam-se nesta seção os resultados obtidos e breve discussão sobre eles.

#### 3.1 Caracterização da levedura integral seca

Os resultados da caracterização da levedura integral seca visando à sua aplicação na formulação de ração animal são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados da caracterização da levedura integral seca.

Parâmetro	Resultado	Unidade
Amilase	<0,50	U/mg
Lisina	1,26	g/100g
Metionina	1,04	g/100g
Beta glucanos	<0,10	g/100g
Resíduo mineral fixo (matéria mineral)	4,84	g/100g
Fibra bruta	2,4	%
Glucose	1,97	%
Glucomanano (cálculo)	5,12	%
Manose	3,15	%
Gordura total	7,57	g/100g
Proteína	34,9	g/100g
Cálcio (Ca)	161	mg/100g
Fósforo (P)	811	mg/100g
Potássio (K)	903	mg/100g
Sódio (Na)	125	mg/100g

Análises laboratoriais indicaram como principal característica do produto o alto teor de proteína, que é de 34,9%, além da presença de micronutrientes. Na comparação, o produto apresentou composição nutricional semelhante à do DDGS (*Distillers Dried Grains with Solubles*), vide Tabela 3, proveniente da indústria de etanol de milho e largamente utilizado como matéria-prima na fabricação de rações animais.

Tabela 3: Composição nutricional do DDGS proveniente da produção de etanol de milho.

Parâmetro	Faixa (min-máx)	Unidade
Proteína bruta	28,7 - 32,9	g/100g
Extrato etéreo (lipídeos)	8,8 - 12,4	g/100g
Fibra bruta	5,4 - 10,4	g/100g
Matéria mineral	3,0 - 9,8	g/100g
Lisina	0,61 - 1,6	g/100g
Arginina	1,01 - 1,48	g/100g
Metionina	0,54 - 0,76	g/100g
Fósforo (P)	420 - 990	mg/100g

(Adaptado de Da Silva et al. [20]).

O DDGS apresenta teor médio de proteína bruta de 30,90%, segundo Da Silva et al. [20], e de 42,06% segundo Santos et al. [21]. A levedura integral seca derivada do etanol de arroz apresentou maiores concentrações de cálcio e de fósforo (161 mg/100 g e 811 mg/100, respectivamente) comparada à amostra de DDGS caracterizada por Stuaní et al. [22], que apresentou 60 mg/100g de Ca e 790 mg/100g de P. Segundo Da Silva et al. [20], o teor de fósforo no DDGS varia de 420-990 mg/100 g. Adicionalmente, a levedura integral seca apresentou aminoácidos como lisina e metionina em valores semelhantes ou superiores aos do DDGS, nutrientes importantes para a composição de ração animal e que conferem valor ao produto.

Além da porção amídica, os cereais apresentam carboidratos denominados polissacarídeos não-amídicos, que têm função quase que exclusivamente estrutural nas plantas, compondo sua fração fibrosa. A porção solúvel das fibras é composta por pectinas, gomas e também pela hemicelulose na forma de xiloglucanos, arabinoxilanos, xilanos,  $\beta$ -glucanos, glucomanos, entre outros [23]. A utilização de dietas que contenham em sua composição cereais e subprodutos originados do beneficiamento desses com elevadas concentrações desse tipo de fibra podem trazer alterações ao desenvolvimento das aves [24].

Utimi [25] indica que quando presentes nas dietas de aves, polissacarídeos não-amídicos, principalmente a porção solúvel das fibras, além de apresentarem baixo valor digestivo para aves, interferem na digestão e na disponibilidade dos nutrientes. Dessa forma, pesquisas para determinar níveis de inclusão da levedura integral seca na formulação de rações para frangos de corte ou outros animais devem ser realizadas para garantir a manutenção do desempenho na produção. Dado que estudos anteriores que investigaram a composição nutricional da levedura derivada da produção de etanol de arroz não foram encontrados, os resultados deste trabalho contribuem para a literatura no tema.

### 3.2 Estimativa dos custos de produção da levedura integral seca

Os custos de produção da secagem da levedura seca integral foram estimados e dispostos na Tabela 4.

Tabela 4: Resumo dos custos de produção estimados para a produção da levedura integral seca.

Descrição	Valor	Custo/t	%
Matéria-prima	R\$ -	R\$ -	0
Vinhaça	R\$ -	R\$ -	0
Custos fixos	R\$ 48.000,00	R\$ 23,30	4,13
Mão-de-obra/encargos	R\$ 48.000,00	R\$ 23,30	4,13
Custos variáveis	R\$ 674.717,20	R\$ 327,53	58,03
Vapor	R\$ 210.728,74	R\$ 102,30	18,12
Energia elétrica	R\$ 428.966,76	R\$ 208,24	36,89
Embalagem	R\$ 35.021,70	R\$ 17,00	3,01
Depreciação	R\$ 440.000,00	R\$ 213,59	37,84
Total	R\$ 1.162.717,20	R\$ 564,43	100

Observa-se o impacto dos custos energéticos no custo de produção, cerca de 55%. A estimativa de custo energético obtida neste trabalho auxilia na definição dos custos totais do produto e é decisiva no momento de definir o preço do produto para o mercado. Com base nos dados apresentados, pode-se observar o quanto o custo energético de operação do sistema de secagem é extremamente representativo para a viabilidade de operação do projeto. Com isso, devem-se buscar alternativas para reduzir tais custos. Há possibilidade de: (i) aumentar a eficiência do sistema de geração de vapor; (ii) usar biomassa alternativas para a geração de vapor em função do preço de mercado do combustível utilizado atualmente (casca de arroz), sem causar prejuízo à geração de vapor; (iii) e/ou implementar um sistema de cogeração que reduza ou até mesmo dispense a demanda externa de energia elétrica. A utilização da casca de arroz como biomassa para queima na caldeira é viável uma vez que sua disponibilidade está associada à oferta da matéria-prima do etanol, o arroz, além da facilidade de obtenção junto aos fornecedores, as cerealistas da região.

### 3.3 Receitas do projeto

O preço final de venda do produto foi estimado pela empresa por meio de uma pesquisa de mercado em cerca de R\$ 3.000,00/t. Dado que não se teve conhecimento de outras empresas que produzem e comercializam tal produto, levou-se em conta o preço de outras matérias-primas com aplicação similar, como o farelo de soja, nessa determinação. Para esse valor, a produção de 2.060 t/ano de levedura integral seca geraria uma receita bruta anual de R\$ 6.180.300,00. Com isso, o lucro bruto anual estimado, dado pela receita bruta diminuída dos custos, foi de R\$ 5.017.582,80. Por fim, o lucro líquido anual, subtraídos os impostos, foi estimado em R\$ 3.600.440,01.

### 3.4 Avaliação financeira do projeto

Os valores obtidos para os indicadores considerados na avaliação financeira do projeto foram apresentados na Tabela 5. Conforme os critérios utilizados na avaliação, observa-se o VPL no valor positivo de R\$ 17.017.689,93 e a

TIR de 81,84%, 5,5 vezes superior à taxa de juros considerada de 15% a.a., o que indica que o projeto é economicamente viável. Para esses valores, o período de *payback* estimado foi de 1,22 anos.

Tabela 5: Avaliação econômica do projeto.

Indicador	Valor
VPL	R\$17.017.689,93
TIR	81,84%
<i>Payback</i> (Anos)	1,22
TMA (a.a.)	15,00%

A avaliação de cenários com as mesmas condições, oscilando apenas o valor de venda do produto final, indica ainda que o projeto se mostra viável para valor de comercialização da levedura seca a partir de R\$ 1.170,00/t, permitindo certa flexibilidade comercial para inserir o produto no mercado.

#### 4 Conclusões

Conforme demonstrado neste trabalho, a viabilidade de lucro na comercialização da levedura integral seca se baseia essencialmente no fato de que além de a matéria-prima (vinhaça) não apresentar custos na obtenção, seu processamento é uma forma de tratamento associada à obtenção de produto com alto valor agregado a partir de um resíduo.

A viabilidade desse investimento está ligada diretamente aos custos de operação do conjunto de secagem. Assim, o levantamento dos custos energéticos atrelados a esse processo é fundamental tanto na determinação do preço final do produto quanto na viabilidade econômica dessa alternativa de tratamento da vinhaça.

Ainda assim, embora a secagem por atomização da vinhaça apresente um consumo energético considerável e determinante no preço comercial do produto final obtido, com base nas considerações dispostas na análise de viabilidade, conclui-se que a secagem da vinhaça se mostrou uma alternativa viável para o tratamento do resíduo líquido da produção de etanol de arroz uma vez que se fecha o ciclo produtivo de forma eficiente e lucrativa para a empresa, além do grande ganho ambiental no reaproveitamento de resíduo, evitando eventual disposição ambiental inadequada.

Além disso, o fechamento do ciclo produtivo com possibilidade de geração de renda a partir de um efluente, cujo tratamento e disposição final de outra forma pode agregar custos ao processo, permite avaliar a matéria-prima por um novo viés. No caso do arroz, essa mudança no processo, aliado ao desenvolvimento de novas cultivares do grão com maior rendimento produtivo por hectare e direcionado à produção de etanol, pode colocar essa matéria-prima como opção considerável dentre as amiláceas disponíveis, viabilizando a operação de microusinas descentralizadas do eixo centro-oeste.

Por fim, diante das características similares e em alguns casos superiores em teor proteico na comparação da

levedura integral seca obtida do processo de secagem da vinhaça de arroz com o DDGS proveniente da produção de etanol de milho, pode-se pressupor que ambos os produtos se encaixam no mesmo nicho de mercado e que o produto final pode ser utilizado no ramo de alimentação animal com alto valor agregado, embora tal aplicação ainda demande estudos a fim de se avaliar o efeito do valor nutricional da levedura integral seca na composição de ração animal. Além disso, considerando-se que a aplicação da secagem por atomização para biomassa residual, particularmente, no setor de etanol, é relativamente nova, o custo de produção e a prospecção de mercado futuro requerem estudos mais aprofundados para avaliar, ao longo de anos de operação, as tendências e o crescimento a partir deste estudo preliminar.

#### Referências

- [1] EPBR (org.). O “novo capitalismo” de Davos. 2020. Elaborada por G. Gaudarde. Disponível em: <https://epbr.com.br/o-novo-capitalismo-de-davos/>. Acesso em: 21 jan. 2020.
- [2] ANP – Agência Nacional Do Petróleo. Biocombustíveis. 2016. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/>. Acesso em: 16 nov. 2019.
- [3] Renewable Fuels Association. Annual World Fuel Ethanol Production. Disponível em: <https://ethanolrfa.org/statistics/annual-ethanol-production/>. Acesso em: 27 jul. 2021.
- [4] N.A. Fukushima, M.C. Palacios-Bereche, R. Palacios-Bereche, S.A. Nebra. Energy analysis of the ethanol industry considering vinasse concentration and incineration. *Renewable energy*, v. 142, pp. 96-109, 2019. doi: 10.1016/j.renene.2019.04.085.
- [5] J.C. Bergmann, D. Trichez, L.P. Sallet, F.C. de Paula e Silva, J.R.M. Almeida. Chapter 4 - Technological Advancements in 1G Ethanol Production and Recovery of By-Products Based on the Biorefinery Concept, Editor(s): Anuj Kumar Chandel, Marcos Henrique Luciano Silveira, Advances in Sugarcane Biorefinery, Elsevier, pp. 73-95, 2018. doi: 10.1016/B978-0-12-804534-3.00004-5.
- [6] L.T. Fuess. Potencial contaminante e energético da vinhaça: riscos de contaminação ao solo e recursos hídricos e recuperação de energia a partir da digestão anaeróbia. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2013.
- [7] A. Kannan, R.K. Upreti. Influence of distillery effluent on germination and growth of mung bean (*Vigna radiata*) seeds. *J. Hazard. Mater.*, v. 153, n. 1-2, pp. 609-615, 2008. doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.09.004.
- [8] E.E.S. Lora, O.J. Venturini. Biocombustíveis. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 2 v.
- [9] M. Parsaee, M.K.D. Kiani, K. Karimi. A review of biogas production from sugarcane vinasse. *Biomass and bioenergy*, v. 122, pp. 117-125, 2019. doi: 10.1016/j.biombioe.2019.01.034.
- [10] T. Ao, Y. Luo, Y. Chen, Q. Cao, X. Liu, D. Li. Towards zero waste: A valorization route of washing separation and

- liquid hot water consecutive pretreatment to achieve solid vinasse based biorefinery. **Journal of Cleaner Production**, v. 248, p. 119253, 2020. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119253.
- [11] J.V. da Silva Neto, W.L.R. Gallo, E.A.A. Nour. Production and use of biogas from vinasse: implications for the energy balance and GHG emissions of sugar cane ethanol in the Brazilian context. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 39, n. 1, 2020, pp. 1-11. doi: 10.1002/ep.13226.
- [12] L.S. Buller, et. al. A spatially explicit assessment of sugarcane vinasse as a sustainable by-product. **Science of The Total Environment**, v. 765, pp. n. 142717, 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142717.
- [13] E.B. Sydney, et al. Current developments and challenges of green technologies for the valorization of liquid, solid, and gaseous wastes from sugarcane ethanol production. **Journal of Hazardous Materials**, v. 404, Part A, n. 15, 124059, 2021. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.124059.
- [14] L.F.L. Santa Cruz, C.G. Duarte, T.F. Malheiros, E.C. Pires. Análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental das atuais formas de aproveitamento da vinhaça: fertirrigação, concentração e Biodigestão. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, v. 29, pp. 111-127, 2013.
- [15] H.M. El-Zaiat, D.D. Ré, H.O. Patino, S.M.A. Sallam. Assessment of using dried vinasse rice to replace soybean meal in lambs diets: In vitro, lambs performance and economic evaluation. **Small Ruminant Research**, v. 173, pp. 1-8, 2019. doi: 10.1016/j.smallrumres.2019.01.003.
- [16] J.C.F. De Abreu Filho, M.V.Q. Cury. Análise de projetos de investimento. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2018.
- [17] S.D. Senicato, T.P. Basso. Temas de agronegócio: viabilidade econômica da implantação do sistema de secagem – spray dry – para levedura em usina na região centro-sul do Brasil. Piracicaba: Linha Impressa Editora, 32 p., 2014.
- [18] Brasil. Instrução normativa RFB nº 1700, DE 14 DE MARÇO DE 2017. Dispõe sobre a determinação e o pagamento do imposto sobre a renda e da contribuição social sobre o lucro líquido das pessoas jurídicas e disciplina o tratamento tributário da Contribuição para o PIS/Pasep e da Cofins no que se refere às alterações introduzidas pela Lei nº 12.973, de 13 de maio de 2014. Brasília, DF: Receita Federal, 2017. Disponível em: <http://normas.receita.fazenda.gov.br/sijut2consulta/link.action?visao=compilado&idAto=81268#1706802>. Acesso em: 02 jun. 2020.
- [19] P.C. Afonso Júnior, D. Oliveira Filho, D.R. Costa. Viabilidade econômica de produção de lenha de eucalipto para secagem de produtos agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, pp. 28-35, 2006.
- [20] J.D. Da Silva, D.P. Netto, V.M. Scussel. Grãos secos de destilaria com solúveis, aplicação em alimentos e segurança—uma revisão. **Pubvet**, v. 10, pp. 190-270, 2015.
- [21] F.R. Santos, M.R.S. Silva, N.R. Oliveira, H.B. Santos, D.A. Cordeiro, C.S. Minafra. Composição nutricional e valores energéticos determinados com frangos de corte de coprodutos do processamento do etanol do milho. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec**, v. 71, n. 5, pp. 1759-1763, 2019.
- [22] J.L. Stuardi, A. Corassa, I.P.A. da Silva. Caracterização nutricional e uso de DDGS em dietas para suínos em crescimento e terminação - Abordagem analítica. **Revista Nativa**, Sinop, v. 4, n. 2, pp. 116-120, 2016.
- [23] F.C. Tavernari, T.A. Carvalho, A.P. Assis, H.D.J. Lima. Polissacarídeos não amiláceo solúvel na dieta de suínos e aves. **Revista Eletrônica Nutritime**, v.5, p.673- 689, 2008.
- [24] H. Mazzuco. Alimentos fibrosos: árvore do conhecimento. 2015. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 06 jul. 2016.
- [25] N.B.P. Utimi. Efeitos da adição de complexo multienzimático sobre o desempenho de frangos de corte. 83 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2012.