



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS ARAPIRACA - UNIDADE EDUCACIONAL PENEDO
CURSO DE ENGENHARIA DE PESCA

DOUGLAS FELIPE NOGUEIRA ROCHA

**UTILIZAÇÃO DO ÓLEO EXTRAÍDO DE RESÍDUOS DE PEIXES PARA A
PRODUÇÃO DE BIODIESEL E OBTENÇÃO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS
IDEAIS NO PROCESSO DE TRANSESTERIFICAÇÃO**

Penedo
2021

DOUGLAS FELIPE NOGUEIRA ROCHA

**UTILIZAÇÃO DO ÓLEO EXTRAÍDO DE RESÍDUOS DE PEIXES PARA A
PRODUÇÃO DE BIODIESEL E OBTENÇÃO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS
IDEAIS NO PROCESSO DE TRANSESTERIFICAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à banca examinadora do Curso
de Engenharia de Pesca da Universidade
Federal de Alagoas, como requisito parcial
para a obtenção do título de bacharel em
Engenharia de Pesca.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Adriana Carla de
OliveiraLopes

Penedo
2021

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Biblioteca Setorial da Unidade Educacional Penedo – BSP
Bibliotecária Responsável: Eliúde Maria da Silva CRB – 4/1834

R672u Rocha, Douglas Felipe Nogueira.
Utilização do óleo extraído de resíduos de peixes para a produção de biodiesel e obtenção das condições operacionais ideais no processo de transesterificação / Douglas Felipe Nogueira Rocha. – Penedo – AL, 2021.
22 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Pesca)
Universidade Federal de Alagoas. Campus Arapiraca. Unidade Educacional de Penedo. Penedo, 2021.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Adriana Carla de Oliveira Lopes.

Bibliografia: f. 18-19.

Anexo: f. 20-22.

1. Processamento de pescado. 2. Óleo de Peixe – Biocombustível. 3. Produção de Biodiesel. I. Lopes, Adriana Carla de Oliveira. II. Título.

CDU: 639.381



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
 CAMPUS ARAPIRACA/UNIDADE EDUCACIONAL PENEDO
 CURSO DE ENGENHARIA DE PESCA



ATA DA 133ª DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos vinte dias do mês de setembro de 2021, o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **UTILIZAÇÃO DO ÓLEO EXTRAÍDO DE RESÍDUOS DE PEIXES PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL E OBTENÇÃO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS IDEAIS NO PROCESSO DE TRANSESTERIFICAÇÃO**, foi apresentado pelo acadêmico **Douglas Felipe Nogueira Rocha**, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira de Pesca desta Instituição Federal de Educação Superior. Após abertura dos trabalhos pela Profa. Dra. Adriana Carla de Oliveira Lopes, que presidiu a sessão, o Trabalho foi submetido à avaliação pela banca examinadora, designada pelo Colegiado do Curso de Bacharelado em Engenharia de Pesca, composta pelos seguintes membros: Profa. Dra. Adriana Carla de Oliveira Lopes (Orientadora - UFAL), Profa. Dra. Taciana Kramer de Oliveira Pinto (Avaliadora interna - UFAL) e M.Sc. Ana Helena Gomes da Silva (Avaliadora externa - CODEVASF). Após análise pela banca examinadora, o Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado **APROVADO**, tendo obtido nota: 9,0 (NOVE INTEIROS).

Documento assinado digitalmente
 gov.br ADRIANA CARLA DE OLIVEIRA LOPES
 Data: 25/09/2021 10:30:09-0300
 Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profa. Dra. Adriana Carla de Oliveira Lopes

Documento assinado digitalmente
 gov.br Taciana Kramer de Oliveira Pinto
 Data: 29/09/2021 16:53:36-0300
 Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profa. Dra. Taciana Kramer de Oliveira Pinto


 M.Sc. Ana Helena Gomes da Silva

UTILIZAÇÃO DO ÓLEO EXTRAÍDO DE RESÍDUOS DE PEIXES PARA A
PRODUÇÃO DE BIODIESEL E OBTENÇÃO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS
IDEAIS NO PROCESSO DE TRANSESTERIFICAÇÃO

**UTILIZATION OF OIL EXTRACTED FROM FISH RESIDUES FOR THE
PRODUCTION OF BIODIESEL AND OBTAINING THE IDEAS OPERATIONAL
CONDITIONS IN THE TRANSESTERIFICATION PROCESS**

Douglas Felipe Nogueira Rocha¹
Adriana Carla de Oliveira Lopes²

RESUMO: O biodiesel, formado por ésteres, é uma fonte de energia renovável, não tóxico e não poluente produzido a partir de óleos vegetais ou rejeitos gordurosos de origem animal. O biodiesel é produzido convencionalmente através da reação de transesterificação de um triglicérido com um álcool, geralmente metanol ou etanol anidro, na presença de catalisador homogêneo ou heterogêneo. Por conter longa cadeia carbônica e porcentagens significativas de ácido graxos saturados, o óleo presente nas vísceras de peixes, vem sendo utilizado como matéria-prima para a produção de biodiesel. Desse modo, este trabalho teve como objetivo analisar a influência das variáveis de processo selecionadas, bem como seus efeitos de interação no processo de produção do biodiesel. Para determinar as condições experimentais que possam maximizar a síntese de ésteres (biodiesel), resultantes da reação de transesterificação, foi realizado um planejamento experimental fatorial saturado com 2 níveis e 4 variáveis. Para isto foram realizados experimentos em escala de bancada, a partir de um planejamento experimental fatorial completo com quatro variáveis, onde a resposta de interesse foi a conversão do óleo de peixe em biodiesel. As análises destas conversões, em % massa, foram realizadas por cromatografia gasosa. As variáveis que foram estudadas para o processo de produção deste biodiesel em meio homogêneo foram: temperatura de reação (30-70 °C); concentração de catalisador hidróxido de potássio (0,5-1,5%); tempo de reação (0,5 - 2 horas); e, razão molar etanol/óleo de peixe (4:1-10:1). Após a realização do estudo foi obtido como principais resultados a significativa influência das variáveis temperatura de reação e razão molar etanol:óleo na conversão percentual deste óleo de peixe em biodiesel.

Palavras-chave: Produção de Biodiesel. Óleo de Peixe. Análise de Variáveis. Conversão.

ABSTRACT: Biodiesel, made up of esters, is a renewable, non-toxic and non-polluting source of energy produced from vegetable oils or fatty waste of animal origin. Biodiesel is conventionally produced through the transesterification reaction of a triglyceride with an alcohol, usually methanol or anhydrous ethanol, in the presence of a homogeneous or heterogeneous catalyst. Because it contains a long carbon chain and significant percentages of saturated fatty acids, the oil present in fish viscera has been used as a raw material for the production of biodiesel. Thus, this work aimed to analyze the influence of selected process variables, as well as their interaction effects in the biodiesel production process. To determine the experimental conditions that can maximize the synthesis of esters (biodiesel) resulting from the transesterification reaction, a saturated factorial experimental design with 2 levels and 4 variables was carried out.

¹ Graduando em Engenharia de Pesca pela Universidade Federal de Alagoas -UFAL – Campus Penedo. E-mail: douglas.rocha@arapiraca.ufal.br

²Graduada, Doutora em Materiais, Universidade de Federal de Alagoas-UFAL. E-mail:

adriana.lopes@penedo.ufal.br

For this, bench scale experiments were carried out, from a complete factorial experimental design with four variables, where the answer of interest was the conversion of fish oil into biodiesel. The analysis of these conversions, in % mass, was carried out by gas chromatography. The variables that were studied for the production process of this biodiesel in a homogeneous medium were: reaction temperature (30-70 °C); potassium hydroxide catalyst concentration (0,5 - 1.5%); reaction time (0,5 - 2 hours); and, ethanol/fish oil molar ratio (4:1-10:1). After the study was carried out, the main results were the significant influence of the reaction temperature and ethanol: oil molar ratio variables on the percentage conversion of fish oil into biodiesel.

Keywords: Biodiesel Production. Fish Oil. Variable Analysis. Conversion.

1. INTRODUÇÃO

A redução das reservas de petróleo e o aumento da procura por combustíveis vêm sendo constatada ao longo dos anos. Esses fatos, aliados aos danos causados ao meio ambiente pela queimada combustíveis de origem fóssil, estimulam as pesquisas sobre fontes de energia tais como os biocombustíveis (SILVA, 2017; COBUS, 2019).

Entre os biocombustíveis, destaca-se o biodiesel o qual por ter rendimento similar ao diesel, vem se mostrando uma fonte de energia renovável bastante atrativa e que contribui na diminuição dos problemas relacionados ao efeito estufa, reduzindo em 33,33% a emissão de gases tóxicos tais como o monóxido de carbono e óxidos de enxofre (LOPES, 2008), assim como diminui, também, a emissão de hidrocarbonetos e materiais particulados durante o processo de combustão (BATENI et al., 2017). O biodiesel vem contribuindo com a geração de empregos no Brasil, tornando-se uma alternativa para a obtenção de renda tanto para as grandes usinas produtoras de biodiesel como para agricultores de pequeno porte (SILVA, 2017). Para PARENTE 2003, apud GOMES 2008, o que tem sido denominado de biodiesel é um combustível obtido de fonte renovável, biodegradável e ambientalmente correto, sucedâneo ao óleo diesel, constituído de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos, obtidos da reação de transesterificação de qualquer triglicerídeo com um álcool de cadeia curta, metanol ou etanol, respectivamente.

À vista disso, o presente trabalho teve por objetivo analisar os efeitos das variáveis de processo na produção do biodiesel obtido a partir do óleo de resíduos de peixe, em escala de bancada, através da transesterificação deste óleo, via rota etílica utilizando um catalisador básico.

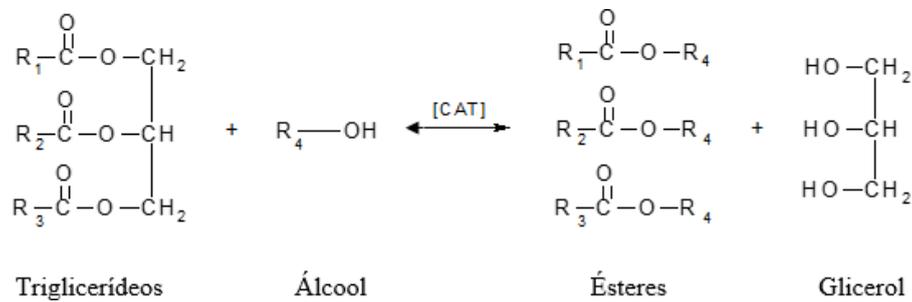
Para o desenvolvimento deste estudo, foram realizados ensaios experimentais de

transesterificação empregando a metodologia de Lopes (2008), tendo como ponto de partida um planejamento fatorial completo com quatro variáveis: temperatura de reação (30-70 °C); concentração de catalisador hidróxido de potássio (0,5-1,5%); tempo de reação (0,5-2 horas); e, razão molar etanol/óleo de peixe (4:1-10:1). O óleo de resíduos dos peixes tilápia do Nilo e tambaqui, coletados nas feiras da cidade de Penedo/AL, foi extraído utilizando a metodologia de Guerra e Oña (2008). Os experimentos foram realizados com catálise homogênea, usando o catalisador básico hidróxido de potássio (KOH) e o álcool etanol anidro (C₂H₅OH), com ênfase na conversão do óleo de peixe em biodiesel. Esta conversão foi determinada por cromatografia gasosa, utilizando o cromatógrafo VARIAN, modelo CP-3800 com detector FID. Após a obtenção das conversões (%), foram calculados os efeitos das variáveis utilizando a técnica do planejamento fatorial (NETO et al., 2001). Foi verificada a forte influência das variáveis principais como temperatura de reação e razão molar etanol/óleo, e do efeito de interação entre elas. Podem-se justificar esses resultados, pela de acordo com a teoria do equilíbrio químico (BRADY e HUMISTON, 1986), que pode ser aplicada para reações reversíveis, como a reação de transesterificação do biodiesel (MURAYAMA, 1994; MA e HANNA, 1999).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A transesterificação (alcoólise) é o processo de produção do biodiesel mais utilizado na indústria. Trata-se de uma reação química que envolve triglicerídios, a partir de gordura animal ou óleo vegetal, com um álcool formando ésteres (biodiesel) e glicerol (glicerina), conforme Figura 1 (LOPES, 2008). Um catalisador básico ou ácido ou ainda uma enzima, são utilizados para aumentar a velocidade da reação (LOPES, 2008; NASCIMENTO et al., 2020). Após o processo de transesterificação, o biodiesel produzido necessita ser purificado para que este atenda as especificações exigidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (ANP, 2014) para sua comercialização. Em relação aos seus contaminantes, destaca-se, a glicerina (glicerol) e resíduos de catalisadores utilizados na reação de transesterificação (BATENI et al., 2017).

Figura 1 – Reação de transesterificação para a produção de biodiesel.



Fonte: Lopes, 2008

Vários estudos realizados sobre a otimização do processo de produção do biodiesel, comprovaram que o rendimento da reação de transesterificação deste biocombustível, dependendo da matéria-prima (óleo vegetal ou gordura animal), pode ser afetado pelas variáveis de processo: temperatura de reação, concentração de catalisador, tempo de reação, e razão molar etanol/óleo (LOPES, 2008; COBUS, 2019).

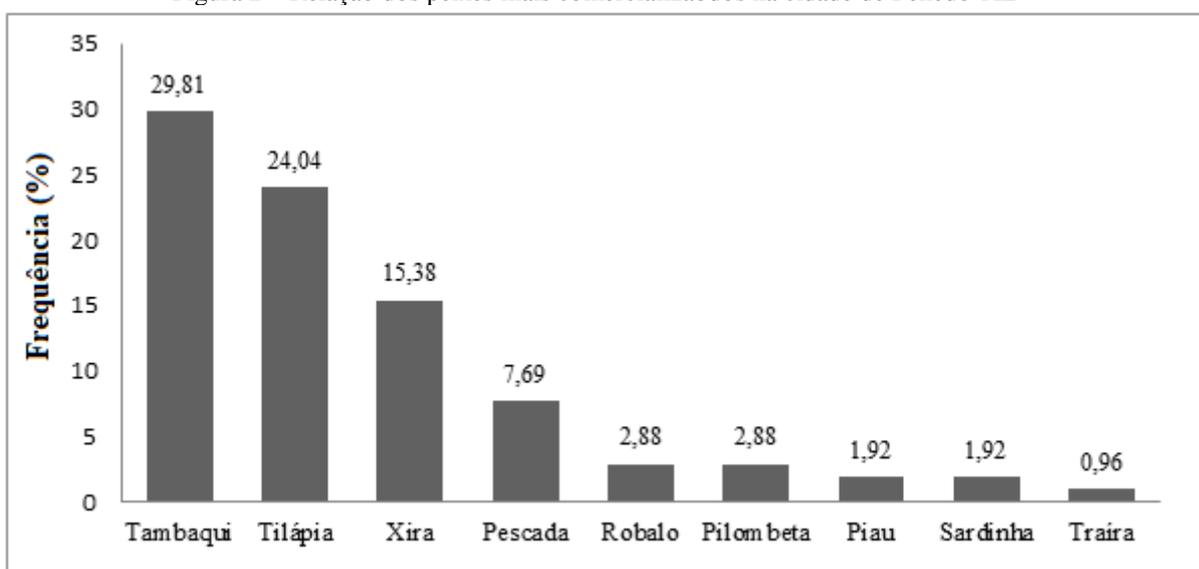
O óleo de peixe extraído das vísceras do peixe vem sendo utilizado na produção de biodiesel, por ser um óleo que contém longa cadeia carbônica, assim como elevados teores de ácidos graxos saturados, os quais constituem os triglicerídeos (BERY et al., 2012), além disso a utilização das vísceras de peixes é uma forma de aproveitamento destes resíduos que usualmente são descartados pelas indústrias e comunidades pesqueiras, evitando, desta forma, prejuízos de produção, por tratar-se de uma alternativa muito valiosa para a geração de energia (BERY et al., 2012). Por não competir com a alimentação humana, há mais vantagens tanto em termos econômicos como em termos ambientais, produzir biodiesel a partir de rejeitos gordurosos, tais como resíduos de peixes, do que produzir este biocombustível a partir de óleos vegetais. Os resíduos de peixes correspondem a uma matéria-prima de alta produtividade e baixo custo, que minimiza os impactos ambientais, além de gerar uma alternativa de renda para comunidades que vivem da piscicultura local (BERY et al., 2012). Nesse contexto, extrair o óleo contido nas vísceras de peixe constitui-se numa excelente opção, uma vez que estas vísceras são em sua maioria descartadas, gerando contaminação do solo, do ar e do lençol freático, além de representar um complemento de renda para pescadores e ser um agente impulsionador para a indústria do biodiesel, devido ao baixo custo do óleo extraído das vísceras de peixe (SANTOS, 2009).

Apesar de o Rio São Francisco apresentar uma longa variedade de peixes como,

tais como matrinchã, dourado, surubim, pacamã, piau, dentre outros, os peixes que são mais comercializados nas feiras da cidade de Penedo-AL são provenientes de pisciculturas locais. A grande maioria dos feirantes (mais de 70%) afirma que no local não há, ou é muito pouco frequente, a presença de técnicos da vigilância sanitária e, ao mesmo tempo, relata que os principais problemas do local destacam-se o mau cheiro e a falta de higiene e limpeza do local (EMBRAPA, 2007). Os resíduos provenientes do pescado gerados pelas indústrias também devem ser destinados para diferentes áreas de produção e reutilização, como: fertilizantes, indústria de alimentos, indústria de biolubrificantes, e ainda, aproveitá-los no desenvolvimento de produtos químicos como quitosana, óleos graxos com alto teor de ômega 3 e demais componentes orgânicos que proporcionem valor agregado ao setor e minimize os custos de processamento (BERY *et al.*, 2012).

As feiras livres recebem diariamente um grande número de consumidores, principalmente aos finais de semana, que tem como preferência o tambaqui (*Colossoma macropomum*) e a Tilápia (*Oreochromis niloticus*) como mostra a figura 2:

Figura 2 – Relação dos peixes mais comercializados na cidade de Penedo-AL



Fonte: ARAÚJO et al, 2015. p. 434

Diante deste quadro, utilizamos a Tilápia do Nilo e o Tambaqui como matéria-prima para a extração do óleo para a produção do biodiesel, por serem os mais comercializados nas feiras da cidade de Penedo-AL, bem como as espécies mais cultivadas no município e em regiões circun-vizinhas.

Devido a sua resistência em ambientes aquáticos tanto de baixas como de altas concentrações de oxigênio dissolvido, pela facilidade de criação, alimentação onívora e

herbívora, resistência a doenças, alta prolificidade e sabor da carne, a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) (Figura 3), nativa do continente africano, encontrada nas bacias dos rios Nilo, Tchade, Níger e lagos do Centro–Oeste africano (KUBITZA e KUBITZA, 2000; DILER e DILEK, 2002), é considerada a segunda espécie de água doce mais cultivada no mundo, perdendo apenas para as carpas (EL-SAYED, 2002; TBF, 2015). Em 1971, a tilápia foi inserida na região Nordeste do Brasil, sendo difundida pelo país, desde a bacia amazônica até a região Sul (KUBITZA e KUBITZA, 2000). O intervalo de temperatura, o qual a tilápia demonstra conforto térmico é de 27 a 32 °C, fora desta faixa de temperatura, observa-se redução do consumo de alimentos e conseqüentemente, redução do seu crescimento. O sistema imunológico da tilápia torna-se fragilizado a uma temperatura abaixo de 18 °C. Podendo ser letal para estes peixes, ambientes a temperatura entre 8 e 14 °C (KUBITZA e KUBITZA, 2000).

Figura 3 – Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).



Fonte: EMBRAPA (2020).

O Tambaqui (*Colossoma macropomum*) (Figura 4), peixe nativo da região Amazônica, de forma roboidal, pode alcançar cerca de 106 centímetros de comprimento, por ter carne saborosa e ser uma das espécies mais fáceis de serem cultivadas, é facilmente comercializado em vários Estados do país (RODRIGUES et al., 2013; EMBRAPA, 2020). Foi apresentado por George Cuvier, em 1818, em uma exposição em Paris (GOMES et al., 2010). A área povoada por este peixe possui temperatura no intervalo de 28 a 31,7 °C, pH entre 6,8-7,5 e concentração de oxigênio dissolvido na água entre 5,9-7,4 mg L⁻¹ (GOMES

et al, 2010). A alimentação do tambaqui pode variar de vegetais a pequenos artrópodes (RODRIGUES et al., 2013).

Figura 4 – Tambaqui (*Colossoma macropomum*).



Fonte: cpt.com.br

De certo modo, dentro de uma perspectiva de empregar os resíduos de espécies de peixes de água doce para a geração de uma fonte renovável de energia, este trabalho propôs estudar a produção de biodiesel a partir do óleo extraído das vísceras dos peixes tambaqui e tilápia do Nilo, coletados nas feiras da cidade de Penedo-AL, bem como analisar influência das variáveis de processo na produção deste biodiesel.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram realizados ensaios experimentais de transesterificação com catálise homogênea, utilizando amostras de 70 gramas de massa de óleo de resíduos de peixes com ênfase na conversão em biodiesel.

Os experimentos de produção do biodiesel foram realizados em escala de bancada no laboratório de química da UFAL.

3.1. MATERIAIS

- Os reagentes para a produção do biodiesel foram: o óleo extraído dos resíduos de peixes tambaqui e tilápia do Nilo, coletados nas feiras da cidade de Penedo; O álcool etanol anidro (C_2H_5OH) PA e o catalisador básico hidróxido de potássio (KOH) PA;
- Para os processos de purificação foram utilizados os solventes água destilada e ácido sulfúrico (H_2SO_4) PA; e como agente secante o sal sulfato de magnésio ($MgSO_4$);

- Os equipamentos utilizados no processo de transesterificação foram: chapa aquecedora/agitadora, barra magnética para agitação, termômetro digital, balança de precisão e vidrarias (béquer, balão volumétrico, bastão de vidro, funil de decantação, erlenmeyer, entre outros).

3.2. EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DE PEIXE PARA A REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Para a extração do óleo de peixe, a metodologia utilizada foi a de Guerra e Oña (2008): os resíduos (cabeça, músculo, pele, nadadeiras e vísceras) de peixes das espécies tambaqui (*Colossoma macropomum*) e tilápia (*Oreochromis niloticus*), foram coletados em torno de 2,5 Kg de nas feiras da cidade de Penedo/AL. Estes resíduos foram acondicionados em um freezer, e após atingir a completa solidificação foram cortados em formatos cúbicos, e postos em béckers, onde posteriormente foram aquecidos em banho maria a uma temperatura de 70 °C durante 1 h e 30 minutos. Estas condições foram suficientes para extração de pouco mais de 400 ml, o que tornou viável para realização dos ensaios. Em seguida o óleo foi armazenado e encaminhado para as análises de caracterização, em termos de composição de ácidos graxos, para a obtenção da massa molar em g/mol necessária para os cálculos dos reagentes envolvidos nas reações de transesterificação para a produção do biodiesel. A caracterização deste óleo foi realizada via cromatografia gasosa - CG, em cromatógrafo VARIAN, modelo CP-3800 com detector FID localizado no laboratório de química do Instituto Federal de Alagoas-IFAL da cidade de Maceió, de modo que após análise, foram efetuados cálculos para obtenção da massa molar média de 903 g/mol. A Tabela 1 apresenta a caracterização do óleo extraído a partir de resíduos dos peixes tilápia do Nilo e tambaqui em relação a outros tipos de gordura animal e óleos vegetais utilizados na fabricação de biocombustíveis.

Tabela 1 – Ácidos graxos presentes no óleo de resíduos dos peixes tambaqui e tilápia do Nilo, comparados com outras substâncias utilizadas no processo de transesterificação.

Composição química						
Ácidos Graxos	Resíduos de Peixes	Sebo Bovino*	Resíduos de Frango*	Óleo de Soja*	Óleo de Milho*	Banha de Porco*
Oléico	32,8%	44,5%	55,05%	24%	33%	42,5%
Palmítico	19,9%	29%	18,85%	11%	11,5%	17,3%
Linoléico	18,2%	12,74%	17,85%	53%	48%	9,2%
Eicosapentaenóico	18,1%	#	#	#	#	#
Esteárico	#	24,5	8,20%	#	2,25%	15,6%
Linolênico	#	#	#	8%	< 2%	0,4%

FONTE (IFAL, 2020) (URIBE et al, 2014. apud RAMOS et al. 2003) (CENTENARO, et al 2008) (SANTOS, 2009) (LIMA, et al 2010) (SANTOS, 2009. Apud LOTERO et al., 2005)

(*) Valores bibliográficos comparativos

3.3. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Todo o estudo estatístico foi efetuado utilizando a técnica do planejamento experimental fatorial completo (NETO et al., 2001 e RODRIGUES e LEMMA, 2014), com o intuito de verificar as condições das variáveis selecionadas, bem como os efeitos de sua interação no processo utilizado para produzir biodiesel, detreminando condições ideais nos experimentos maximizando a síntese de ésteres (biodiesel), resultantes da reação de transesterificação, foi realizado um planejamento experimental fatorial saturado com 2 níveis e 4 variáveis. As variáveis analisadas nesta etapa foram: temperatura de reação, concentração de catalisador, tempo de reação, e razão molar etanol/óleo. O intervalo de estudo destas variáveis foi escolhido com o intuito de abranger grande parte dos estudos apresentados na literatura, referentes à transesterificação de óleos utilizando catalisadores alcalinos. Estes valores estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Intervalo de estudo das variáveis – transesterificação do óleo de peixe.

Variável	Intervalo
Temperatura (°C)	30 -70
Concentração de KOH (%p/p)	0,5-1,5
Tempo de reação (h)	0,5-2
Razão molar óleo de peixe/etanol	1:4 -1:10

Fonte: Autor, 2020.

O uso do planejamento fatorial permite expressar como as variáveis de processo influenciam na conversão do óleo de peixe a biodiesel. Segundo a técnica do planejamento experimental fatorial completo, se há quatro variáveis selecionadas deverão ser realizados dezesseis experimentos, feitos em duplicata, ou seja, ao final do trabalho foram realizados trinta e dois experimentos em escala de bancada, obedecendo a metodologia do planejamento experimental descrita por NETO et al. (2001). Neste estudo **o parâmetro de avaliação foi à conversão (%massa) do óleo de peixe a biodiesel**, esta conversão foi determinada por cromatografia gasosa, utilizando o cromatógrafo VARIAN, modelo CP-3800 com detector FID do Instituto Federal de Alagoas-IFAL de Maceió.

Os efeitos principais, assim como os efeitos de interação das variáveis selecionadas foram calculados de acordo com a metodologia descrita por NETO et al., (2003). No caso de um planejamento fatorial com dois níveis e k variáveis, o efeito E de uma determinada variável é calculado a partir da equação:

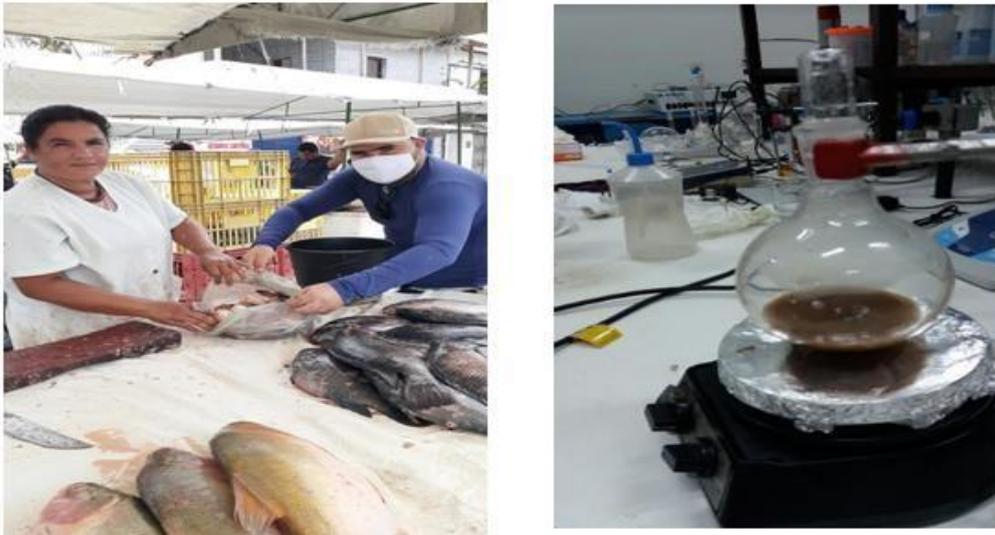
$$E = \frac{1}{2^{k-1}} \times X_i^t \times Y$$

Onde X^t é a matriz linha que é obtida transpondo a coluna da matriz de planejamento correspondente à variável i e Y é a matriz coluna obtida com os valores da variável resposta do planejamento. Neste estudo a resposta foi à conversão percentual em massa de óleo a biodiesel.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme já mencionado, o óleo foi extraído a partir de resíduos dos peixes tambaqui e tilápia de Nilo coletados nas feiras da cidade de Penedo/AL, conforme Figura 5 (a), e conduzido aos experimentos de produção do biodiesel, em escala de bancada, conforme Figura 5 (b).

Figura 5 – (a) Coleta de resíduos de peixe nas feiras da cidade de Penedo, pelo discente Douglas Rocha e (b) produção do biodiesel de peixe em escala de bancada.



Fonte: Autor (2021).

A Figura 6 mostra o discente e autor do presente trabalho, Douglas Rocha, executando o processo de produção do biodiesel de peixe.

Figura 6 – Discente Douglas Rocha realizando as reações de transesterificação em bancada.



Fonte: autor, 2021.

Após a produção e purificação do biodiesel de peixe, amostras deste óleo foram encaminhadas ao Instituto Federal de Alagoas-IFAL de Maceió para a obtenção das conversões (% massa) do óleo de peixe em biodiesel, via cromatografia gasosa-CG. Esta conversão corresponde à resposta do presente estudo. As condições experimentais, assim como os resultados, conversão do óleo de peixe em biodiesel, estão apresentados na Tabela

3. A técnica do planejamento fatorial completo utiliza-se o -1 para representar o limite inferior e +1 para representar o limite superior do intervalo das variáveis estudadas.

Tabela 3 – Condições experimentais e resultados dos experimentos de produção do biodiesel de peixe.

Experimento	Temperatura da reação(°C)	Razão molar óleo/álcool	Concentração em peso do catalisador (%p/p)	Tempo de reação (h)	Média da conversão do óleo de peixe à biodiesel (% em massa)
1	30/-1	1:4/-1	0,5/-1	0,5/-1	64
2	70/+1	1:4/-1	0,5/-1	0,5/-1	72
3	30/-1	1:10/+1	0,5/-1	0,5/-1	79
4	70/+1	1:10/+1	0,5/-1	0,5/-1	78
5	30/-1	1:4/-1	1,5/+1	0,5/-1	63
6	70/+1	1:4/-1	1,5/+1	0,5/-1	71
7	30/-1	1:10/+1	1,5/+1	0,5/-1	79,5
8	70/+1	1:10/+1	1,5/+1	0,5/-1	79,2
9	30/-1	1:4/-1	0,5/-1	1,5/+1	64,5
10	70/+1	1:4/-1	0,5/-1	1,5/+1	72,6
11	30/-1	1:10/+1	0,5/-1	1,5/+1	78,7
12	70/+1	1:10/+1	0,5/-1	1,5/+1	78,2
13	30/-1	1:4/-1	1,5/+1	1,5/+1	64,4
14	70/+1	1:4/-1	1,5/+1	1,5/+1	71,8
15	30/-1	1:10/+1	1,5/+1	1,5/+1	78,8
16	70/+1	1:10/+1	1,5/+1	1,5/+1	79,2

Fonte: Autor (2020).

Utilizando a técnica do planejamento fatorial completo, essa Tabela 3 foi transformada em uma matriz “X”, contendo apenas os elementos +1 e -1.

Os efeitos principais, assim como os efeitos de interação de duas, três e quatro variáveis selecionadas foram, então, calculados e seus valores encontram-se representados graficamente no diagrama de pareto, Figura 7.

Figura 7 – Diagrama de pareto apresentando os resultados obtidos dos efeitos das variáveis estudadas.



Fonte: Autor (2021).

Estes efeitos representam a influência que cada variável exerce, isoladamente, sobre a resposta do sistema (neste caso, a conversão a biodiesel), e são interpretados da seguinte maneira:

- **Efeito principal da variável 1 (Temperatura):** Significa que se a temperatura de reação aumentar de 30 para 70° C, mantendo as outras variáveis constantes, a conversão do óleo de peixe em biodiesel irá aumentar, em média, 3,7625 %;
- **Efeito principal da variável 2 (razão molar óleo/álcool):** Significa que se a razão molar óleo/álcool aumentar de 1:4 para 1:10, mantendo as outras variáveis constantes, a conversão do óleo de peixe em biodiesel irá aumentar, em média, 10,9125 %;
- **Efeito principal da variável 3 (concentração em peso do catalisador):** Significa que se a concentração em peso do catalisador hidróxido de potássio aumentar de 0,5 para 1,5%, mantendo as outras variáveis constantes, a conversão do óleo de

peixe em biodiesel irá diminuir, em média, 0,0125 %;

- **Efeito principal da variável 4 (tempo de reação):** Significa que se o tempo de reação aumentar de 0,5 para 2 h, mantendo as outras variáveis constantes, a conversão do óleo de peixe em biodiesel irá aumentar, em média, 0,3125 %;

O diagrama de Pareto mostra a resultante do tratamento estatístico-experimental, referente aos efeitos de cada fator, no rendimento das variáveis que mais influenciaram na conversão do óleo de peixe em biodiesel. A temperatura de reação e a razão molar óleo/álcool, bem como a interação entre elas, quando comparado com as demais variáveis foram as que mais se destacaram em relação à influência na conversão.

Analisando os resultados, pode-se observar a considerável influência, na conversão do óleo de peixe em biodiesel, das variáveis da temperatura de reação e a razão molar óleo/álcool, assim como o efeito de interação entre estas. Esses resultados podem ser explicados pela teoria do equilíbrio químico (BRADY e HUMISTON, 1986, p. 500-502), que pode ser aplicada para reações reversíveis, como a reação de transesterificação do biodiesel (MURAYAMA, 1994, p. 5; MA e HANNA 1999, p.3).

A teoria do equilíbrio químico também explica o motivo de quando aumentamos a temperatura, também aumentou a conversão em biodiesel, implicando o rendimento da reação termodinamicamente, consistindo que a transesterificação seja endotérmica, ou seja, é uma reação que absorve calor no sentido da formação do éster. BRADY e HUMISTON, 1986, p. 500 menciona que quanto maior a temperatura, para reação endotérmica, o equilíbrio é deslocado no sentido de formação dos produtos da reação. A teoria do equilíbrio químico também menciona que quando a concentração do reagente aumenta, como foi o caso do aumentada quantidade em mols do reagente álcool (de 4 para 10 mols), o equilíbrio químico é deslocado para o sentido de formação dos produtos, aumentando assim a conversão do reagente em produto (BRADY e HUMISTON, 1986, p. 502).

Já os efeitos das variáveis de concentração do catalisador hidróxido de potássio e tempo de reação contribuíram com a diminuição e o aumento, respectivamente, da conversão, mas não tão de forma significativa quanto às duas primeiras variáveis selecionadas. Assim como os demais efeitos de interação das variáveis, os quais não foram tão significativos comparados ao efeito de interação entre as variáveis 1 e 2.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos mostram que o processo de produção do biodiesel de peixe pode ser realizado de maneira relativamente simples e com elevado rendimento, pois conversões acima de 50% foram obtidas em condições operacionais diversas. O emprego do planejamento experimental mostrou-se eficiente no estudo da influência das variáveis de processo. Os efeitos temperatura de reação, razão molar óleo/álcool e o efeito de interação entre estas duas variáveis foram bastante significativos, promovendo uma variação média de 3,7624 %, 10,9125 % e 4,1125%, respectivamente, na conversão da reação de transesterificação. LIMA et al, 2010 relata que no processo de transesterificação utilizando óleo extraído de milho a razão molar teve uma reação menor do que as demais variáveis sendo assim desconsideradas nas análises estatísticas. Enquanto a temperatura quando aumentada implicou termodinamicamente fazendo com que a transesterificação fosse endotérmica, movendo-se no sentido da formação do éster, da mesma forma do presente estudo.

As variáveis concentração do catalisador hidróxido de potássio e o tempo de reação não influenciaram de forma significativa no processo estudado, bem como os efeitos de interação envolvendo essas últimas variáveis.

Portanto, os objetivos do presente trabalho foram atingidos com resultados satisfatórios e confiáveis para trabalhos futuros, e contribuindo com o enriquecimento da literatura para a comunidade científica.

5. AGRADECIMENTOS

- A Universidade Federal de Alagoas – UFAL, pelo apoio e ajuda financeira do projeto;
- Ao curso de Engenharia de Pesca da Universidade Federal de Alagoas, Polo Penedo, por todo o aprendizado e experiências compartilhadas;
- Ao Instituto Federal de Alagoas – IFAL, Campus Maceió, em especial ao professor Johnatan Duarte de Freitas pelas análises realizadas neste trabalho;
- A toda Equipe da revista Brazilian Journal of Development.
- A todos que contribuíram com a realização desse projeto.

REFERÊNCIAS

- ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), Resolução N° 45, Brasília, DF, 2014.
- ARAUJO, Daniel de Magalhães. Et al. **Aspectos de aquisição e consumo de peixes na feira livre da cidade de Penedo – Alagoas**. Bol. Inst. Pesca, São Paulo, Vol. 41(2): 429 – 440, 2015.
- BATANI H.; SARAELIAN A.; ABLE, C. **A comprehensive review on biodiesel purification and upgrading**. Biofuel Research Journal, 15, 2017.
- BERY, C. C. S.; NUNES, M. L. SILVA, G. F. SANTOS, J. A. B.; BERY, C. S. **Estudo da viabilidade do óleo de vísceras de peixes marinhos (*Seriola Dumerlii* (ARABAIANA), *Thunnus ssp* (ATUM), *Scomberomorus cavala* (CAVALA) e *Carcharrhinus spp* (CAÇÃO)) comercializados em Aracaju-SE para a produção de biodiesel**. R. Geintec, v. 2, n. 3, 2012.
- BRADY, J. E. HUMISTON, G. E. **Química Geral**. 2ª ed, vol.2, 1986.
- CENTENARO, Graciela Saete. Et al. **Gordura de frango: alternativas tecnológicas e nutricionais**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 29, n.3. 2008. p. 619-630
- COBUS, D. **Produção de biodiesel por transesterificação utilizando banho ultrassônico**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.
- CPT. **Pacu e tambaqui: características**. [Home page]. Disponível em [https:// cpt.com.br/noticias/pacu-e-tambaqui-caracteristicas/](https://cpt.com.br/noticias/pacu-e-tambaqui-caracteristicas/). Acesso em: 03 out. 2021.
- DA LUZ, Cinthia da S. C. MAINIER, Fernando B. MONTEIRO, Luciane P. C. **Comparação de oleaginosas para a produção de biodiesel**. Engevista, Vol. 17, nº. 2: p. 232-239, 2015.
- DILER I, DILEK K. **Significance of pigmentation and use in aquaculture**. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. p. 97-99, 2002.
- EL-SAYED, A.F.M. **Alternative dietary protein sources for farmed tilapia *Oreochromis spp*. Aquaculture**. v.179, n.1-4, p.149-168, 2002.
- EMBRAPA. **Comercialização do Tambaqui (*Colossoma macropomum*) na cidade de Penedo-AL**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2007.
- EMBRAPA. **Agência de Informação Embrapa**. [Home page]. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 18 out. 2020.
- FERREIRA, Vicente da Rocha S. PASSADOR, Cláudia S. **O Cenário Sobre Biocombustíveis, Políticas Públicas e Sustentabilidade na Produção Científica Nacional e Internacional: a Internacionalização das Pesquisas do Brasil**. XXXVIII Encontro da ANPAD. Rio de Janeiro, 2014.
- GOMES, L.C.; SIMÕES, L.N. & ARAUJO-LIMA, C.A.R.M. **Tambaqui (*Colossoma macropomum*)**In: BALDISSEROTTO, B. & GOMES L.C. **Espécies Nativas para piscicultura no Brasil**. Ed. UFSM, Santa Maria, p. 175 – 204. 2010.
- GOMES, L.F.S. MELEGARI, S. N. M.S. BORICCATTI, R. A. **Biodiesel produzido Biodiesel com óleo de frango**. Maringá, Vol. 30, nº. 1: p. 57-62, 2008.

GUERRA, J. OÑA, M. **Obtención de aceite de vísceras de pescado, caracterización de los ácidos grasos presentes y su efecto en la alimentación de pollos parrilleros y trucha arco-íris.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Agropecuária) – Sangolquí (Equador), 2009.

KUBITZA F, KUBITZA LMM. **Tilápias: qualidade da água, sistemas de cultivo, planejamento da produção, manejo nutricional e alimentar e sanidade.** Parte I. Panor. aquica; 10(59):44-53, 2000.

LIMA, A. L. Et al. **Parâmetros da reação de Transesterificação etílica com óleo de milho para produção de biodiesel.** São Paulo, Eclética Química, Vol. 35, nº 4: p. 101 - 106, 2010

LOPES, A. C. O. **Estudo das Variáveis de Processo na Produção e na Purificação do Biodiesel de Soja via Rota Etílica.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

MA, F. e HANNA, M.A. **Biodiesel production: a review.** Bioresource Technology. v. 70, p. 1-15,1999.

MURAYAMA, T. **Evaluating vegetable oils as a diesel fuel.** Inform, v.5, n.10, 1994.

NASCIMENTO, T. L.; MACIEL, M. A. M.; Bertini, L. M.; RIOS, M. A. S. **Avaliação do óleo e biodiesel de soja (glycine max) a partir de parâmetros físico-químicos / Evaluation of soybean oil and biodiesel (glycine max) from physical- chemical parameters.** Journal Brazilian Journal of Development. v. 6, n.3, pp. 6-7, 2020.

NETO, B. B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos – pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria.** Ed. Unicamp: Campinas, 2001.

RODRIGUES, A. P. O. BERGAMIN, G. T. SANTOS, V. R. V dos. **Nutrição e alimentação de peixes.** In: RODRIGUES, Ana Paula Oeda et al. (Edts.). **Piscicultura de Água Doce: Multiplicando conhecimentos.** 1 ed. Brasília (DF): cap. 6. p. 171-214, EMBRAPA, 2013.

RODRIGUES, M.I., LEMMA, A.F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos.** 3a ed., Editora Cárita, Campinas, 2014.

SANTOS, Francisco F. P. dos. **Produção de biodiesel assistida por ultra-som.** 2009. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2009.

SILVA, M. J. **Diversidade e conservação da ictiofauna das bacias envolvidas no Projeto de Transposição do rio São Francisco.** Tese (Doutorado em Sistemática e Evolução) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

TBF, J. **Farinha de microalga schizochytrium sp., como fonte de ômega 3, em dieta para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) na fase adulta.** [Tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 2016.

URIBE, Raul A. M. ALBERCONI, Caio H. TAVARES, Beatriz A. **Produção de biodiesel a partir do sebo bovino: viabilidade econômica e métodos de produção.** X Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Ago, 2014.

ANEXO
(NORMAS DA REVISTA)

NORMAS DA REVISTA

Título em português

English title

Recebimento dos originais: xx/xx/20xx (não preencher)

Aceitação para publicação: xx/xx/20xx (não preencher)

Autor 1

Formação acadêmica mais alta, pela Instituição XXXXX

Instituição: (instituição onde trabalha atualmente)

Endereço: Rua AAAA, 1155, Bairro AAAA - Cidade, Estado, CEP: xxxxx-xxx

E-mail: xxxxx@hotmail.com

Autor 2

Formação acadêmica mais alta, pela Instituição XXXXX

Instituição: (instituição onde trabalha atualmente)

Endereço: Rua AAAA, 1155, Bairro AAAA - Cidade, Estado, CEP: xxxxx-xxx

E-mail: xxxxx@hotmail.com

Autor 3

Formação acadêmica mais alta, pela Instituição XXXXX

Instituição: (instituição onde trabalha atualmente)

Endereço: Rua AAAA, 1155, Bairro AAAA - Cidade, Estado, CEP: xxxxx-xxx

E-mail: xxxxx@hotmail.com

(máximo 8 autores)

RESUMO

Entre 3 e 15 linhas, descrevendo o resumo do trabalho a ser publicado.

Palavras-chave: Entre 3 e 5 palavras-chave, separadas por vírgula.

ABSTRACT

Between 3 and 15 lines, describing the abstract of the paper to be published.

Keywords: Between 3 and 5 keywords, separated by commas.

1 INTRODUÇÃO (Times New Roman 12, com negrito)

Descrever a contextualização, questão de pesquisa e justificativa da pesquisa. O Brazilian Journal of Development trabalha com fonte Times New Roman 12, espaçamento entre linhas 1,5.

Ainda, o máximo são 8 autores, e o extensão máxima do trabalho são 20 páginas, já considerando as referências. Caso seu trabalho exceda estes limites são cobradas taxas extras de diagramação. Os trabalhos podem ser redigidos em português, inglês ou espanhol.

2 FORMATO DO TEXTO

Os autores devem utilizar normas ABNT para citações e referências. As legendas de elementos gráficos devem aparecer acima do elemento, centralizada e em fonte Times New Roman, tamanho 10. A fonte do elemento deve aparecer após o elemento, alinhada a esquerda e em fonte Times New Roman, tamanho 10.

Quadro 1 - Hierarquia das necessidades de Maslow

Necessidades	Características
Fisiológicas	São as que ocupam maior relevância. Dentro das necessidades fisiológicas estão as necessidades de sexo, sono, exercício, alimentação e outras necessidades fisiológicas.
Segurança	Nesse grupo está à liberdade, segurança; estabilidade, confiança, ordem, lei, limites e outros.

Fonte: adaptado de Maslow (1954).

2.1 SUBTÍTULO DE SEÇÕES

Os subtítulos devem estar em caixa alta, sem negrito, fonte Times New Roman, tamanho 12. Demais subtítulos de outros níveis devem obedecer às normas vigentes da ABNT.

3 AGRADECIMENTOS

Seção opcional, onde o autor pode agradecer agências de fomento, ou outro tipo de agradecimento aplicável.

REFERÊNCIAS

(referências utilizando normas ABNT)

SAMPAIO, C. A. C.; ALVES, F. K.; FALK, V. C. V. Arranjo socioprodutivo de base comunitária: Interconectando o turismo comunitário com redes de Comércio justo. **Turismo Visão e Ação**, v. 10, n 2. p. 244-262, 2008.

SINGER, P. **Introdução à economia solidária**. 3ª ed. São Paulo: Fundação Perseu Abramo, 2002.