

**VIABILIDADE DE
ARRANJOS INTEGRADOS
DE ECONOMIA CIRCULAR
EM CADEIAS AQUÍCOLAS
VULNERÁVEIS: AVALIAÇÃO
EX ANTE DE UMA UNIDADE
DE ABATE E DE UMA
BIOINDÚSTRIA DE
COPRODUTOS DE TILÁPIA
EM PERNAMBUCO**

**FEASIBILITY OF INTEGRATED CIRCULAR ECONOMY ARRANGEMENTS IN
VULNERABLE AQUACULTURE CHAINS: AN EX ANTE ASSESSMENT OF A
TILAPIA PROCESSING UNIT AND A BY-PRODUCT BIOINDUSTRY IN
PERNAMBUCO, BRAZIL**

Engenharias, Ciências Sociais Aplicadas • 30/09/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/790633413](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/790633413)

Rafael Breda Justo¹

Alexandre Pereira Chahad²

RESUMO

A avaliação econômica de empreendimentos de economia circular costuma ser conduzida por unidade produtiva, procedimento que pode levar a decisões equivocadas quando as unidades são tecnicamente interdependentes. Este artigo realiza avaliação ex ante de um arranjo composto por uma unidade de abate e processamento de tilápias e por uma bioindústria de coprodutos, proposto para o município de Jatobá, no Submédio São Francisco pernambucano. A pesquisa, documental e bibliográfica, formula a configuração industrial, declara as premissas que a sustentam e a submete a modelagem de fluxo de caixa livre, com balanço de massa, pontos de equilíbrio e análise de sensibilidade à adesão dos produtores, à tarifa de processamento e ao preço dos coprodutos. Avaliada isoladamente, a unidade de abate apresenta valor presente líquido de R\$ -249 mil e taxa interna de retorno de 6,9% a.a., abaixo da taxa mínima de atratividade de 10% a.a.; a bioindústria alcança taxa de 30,0% a.a.; e o arranjo, R\$ 2,48 milhões e 21,3% a.a. Como a bioindústria depende do resíduo que a unidade de abate gera em condição sanitária adequada, a rejeição desta suprimiria o insumo daquela, o que recomenda a avaliação integrada como critério de decisão. O resultado do arranjo, contudo, depende fortemente dos preços dos coprodutos: uma redução de 12,6% anula o valor presente líquido. O balanço de massa mostra ainda que a bioindústria absorve 38,5% do resíduo gerado pela unidade de abate. Conclui-se que a integração é condição de viabilidade do arranjo, desde que os preços dos coprodutos sejam validados e que se defina destinação para o excedente de resíduo.

Palavras-chave: economia circular; negócios de impacto socioambiental; avaliação ex ante; resíduos de pescado; coordenação de cadeias produtivas.

ABSTRACT

Economic assessments of circular economy ventures are usually carried out unit by unit, which may lead to wrong decisions when units are technically interdependent. This article presents an ex ante assessment of an arrangement combining a tilapia slaughter and processing unit with a by-product bioindustry, proposed for the municipality of Jatobá, in the São Francisco valley of Pernambuco, Brazil. Based on documentary and bibliographic research, the industrial configuration and its assumptions are modelled through free cash flow, mass balance, break-even points and sensitivity analysis of producer adherence, processing fee and by-product prices. Assessed on its own, the processing unit shows a net present value of BRL -249 thousand and an internal rate of return of 6,9% per year, below the 10% hurdle rate; the bioindustry reaches 30,0%; and the arrangement, BRL 2,48 million and 21,3%. Since the bioindustry depends on waste that only the processing unit generates under adequate sanitary conditions, rejecting the latter would remove the former's input, which supports integrated assessment as the decision criterion. The arrangement's result is, however, highly sensitive to by-product prices: a 12,6% reduction brings its net present value to zero. The mass balance also shows that the bioindustry absorbs 38.5% of the waste generated by the processing unit. Integration is a condition for the arrangement's feasibility, provided that by-product prices are validated and a destination is defined for surplus waste.

Keywords: circular economy; socio-environmental impact business; ex ante assessment; fish waste; supply chain coordination.

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura responde por parcela crescente da oferta mundial de pescado, e sua expansão tem sido acompanhada, na agenda internacional, por recomendações de uso eficiente de recursos e de aproveitamento integral dos organismos aquáticos (FAO, 2022). No Brasil, a tilapicultura consolidou-se nas duas últimas décadas como uma das atividades aquícolas de maior crescimento, com forte presença em territórios ribeirinhos e reservatórios do interior (Sebrae, 2022). A estruturação das etapas de pós-colheita não acompanhou esse ritmo, e o diagnóstico nacional da cadeia de valor da tilapicultura já identificava essa defasagem como restrição à agregação de valor no setor (Barroso *et al.*, 2018). Em diversos polos produtores faltam unidades certificadas de beneficiamento, sistemas de rastreabilidade e soluções para os resíduos do processamento, o que compromete o acesso a mercados formais e a qualidade dos corpos hídricos que sustentam a atividade. A destinação desses resíduos é regida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, que atribui responsabilidade ao gerador e estabelece hierarquia de manejo em que a reciclagem precede a disposição final (Brasil, 2010).

O volume envolvido é expressivo. Feltes *et al.* (2010) registram que os resíduos sólidos do beneficiamento de pescado, compostos por cabeça, cauda, vísceras, nadadeiras, coluna vertebral, escamas e restos de carne, podem representar metade ou mais da matéria-prima, conforme a espécie e o tipo de processamento. Para a tilápia filetada, Simões *et al.* (2007) determinaram rendimento de filé que situa a fração não comestível acima de 60% do peso do animal, resultado convergente com o rendimento industrial medido por Pinheiro *et al.* (2006). Em um município que produza 16 mil toneladas anuais, a geração potencial de resíduo supera 10 mil toneladas por ano.

A base técnica para converter esse passivo em insumo está estabelecida, com rotas documentadas de obtenção de farinha, óleo, silagem, composto, hidrolisados proteicos e colágeno (Feldes *et al.*, 2010; Chalamaiah *et al.*, 2012; Espinales *et al.*, 2023). A conversão em escala industrial, porém, exige que alguém opere a etapa intermediária de abate e processamento com conformidade sanitária, sem a qual o resíduo não chega segregado, fresco e rastreável às rotas de valorização. Essa etapa enfrenta condições econômicas adversas em cadeias marcadas por informalidade e intermediação. O problema que daí decorre é sobretudo de coordenação: a unidade que viabiliza tecnicamente a valorização do resíduo pode não ser a que se apropria economicamente dela.

Este artigo examina esse problema a partir de um caso concreto: a implantação de um arranjo composto por uma unidade de abate e processamento de tilápias e por uma bioindústria de coprodutos em Jatobá, no Submédio São Francisco pernambucano, município que figura entre os maiores produtores nacionais de tilápia. A questão de pesquisa é a seguinte: como avaliar a viabilidade de um arranjo de economia circular cujas unidades têm retornos econômicos opostos e interdependência técnica, e que condições determinam sua sustentabilidade? O objetivo é avaliar cada unidade e o arranjo consolidado, identificar os parâmetros que definem o resultado e examinar sua robustez.

A contribuição pretendida tem caráter metodológico e substantivo. Mostra-se que a avaliação por unidade produtiva, procedimento usual em estudos de viabilidade, levaria à rejeição da unidade deficitária e, com ela, à supressão do insumo da unidade lucrativa, resultado que a avaliação integrada evita. Ao mesmo tempo, a explicitação dos limiares de adesão, tarifa e preço e do balanço de

massa entre as unidades delimita as condições em que esse argumento se sustenta e orienta a formulação de arranjos semelhantes em outros polos aquícolas.

Além desta introdução, o artigo apresenta a revisão bibliográfica na seção 2, o delineamento metodológico e as premissas na seção 3, os resultados e sua discussão na seção 4 e as conclusões na seção 5.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão percorre a economia circular aplicada a resíduos de pescado e as rotas técnicas de seu aproveitamento, que definem a oportunidade material do arranjo, e em seguida os negócios de impacto socioambiental, a vulnerabilidade de cadeias territoriais e a teoria dos custos de transação, que fornecem o critério de avaliação, qualificam o problema do território e explicam a forma organizacional proposta.

A economia circular propõe a substituição do modelo linear de extração, uso e descarte por ciclos nos quais os materiais permanecem em circulação com o maior valor possível. Kirchherr, Reike e Hekkert (2017), em análise de 114 definições do conceito, observam que ele é mais frequentemente representado como combinação de redução, reúso e reciclagem, e que raramente se explicita a necessidade de mudança sistêmica. Os autores identificam ainda vínculo fraco entre as definições correntes e o desenvolvimento sustentável, sobretudo quanto à equidade social, observação pertinente a arranjos cuja justificativa inclui a distribuição de benefícios entre produtores de baixa renda.

Os resíduos do beneficiamento de pescado reúnem características favoráveis à recirculação. Feltes *et al.* (2010) mostram que o material

tem elevado teor proteico e ácidos graxos de cadeia longa, notadamente da série ômega-3, o que sustenta a obtenção de óleo, farinha e silagem para alimentação animal. Chalamaiah *et al.* (2012) documentam que hidrolisados proteicos obtidos desse material apresentam perfil de aminoácidos e atividade antioxidante compatíveis com aplicações de maior valor unitário, e Espinales *et al.* (2023) acrescentam colágeno e quitina ao conjunto de derivados possíveis. Kubitza e Campos (2006) classificam os resíduos segundo sua adequação a cada destinação, indicando que vísceras, escamas e esqueleto servem à produção de farinhas, silagens e óleos, enquanto a carcaça com carne residual admite a obtenção de polpa.

As rotas diferem em intensidade de capital e escala mínima. Lima (2013) identifica a farinha, o óleo e a compostagem como as tecnologias aplicáveis aos resíduos sólidos de entrepostos de pescado e registra que as graxarias, destinadas a farinha e óleo, exigem elevado custo de implantação, o que as torna limitantes para pequenas empresas e cooperativas, enquanto a compostagem é tecnicamente simples e requer baixo investimento. O mesmo autor indica, para a compostagem, relação carbono/nitrogênio média de 10:1, proporção de 70% de substrato vegetal seco para 30% de carcaça, adição de cerca de 13% de água e estabilização em torno de 60 dias; para a farinha, reporta que resíduos de peixes abatidos abaixo de 800 g rendem em média 85% de farinha e 15% de óleo. Feltes *et al.* (2010) convergem ao apontar que a linha de farinha demanda equipamentos especiais e alto consumo energético, com retorno relativamente baixo, e identificam silagem e compostagem como alternativas economicamente mais vantajosas. A demanda por esses coprodutos na nutrição animal está documentada: Boscolo *et al.* (2005) avaliaram farinha de resíduos da filetagem de tilápias na alimentação da própria espécie, Abimorad *et al.* (2009)

empregaram silagem de resíduo da filetagem em ração artesanal para tilápia-do-nilo, Benites e Souza-Soares (2010) caracterizaram farinhas de silagem co-secas com farelo de arroz e Enke *et al.* (2009) utilizaram farinha de silagem em dietas para juvenis de jundiá.

Estabelecida a oportunidade material, resta definir o critério de avaliação. A categoria de negócios de impacto designa empreendimentos que buscam, simultaneamente, sustentabilidade financeira e solução de problema social ou ambiental. Yunus, Moingeon e Lehmann-Ortega (2010), a partir da experiência do Grameen, definem o *social business* pela subordinação do lucro ao objetivo social, sem abdicar da cobertura integral de custos, de modo que o retorno financeiro passa a ser condição de continuidade da operação. No Brasil, o guia de negócios de impacto socioambiental do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio associa a categoria à intencionalidade de impacto, à mensuração de resultados e à viabilidade econômica (MDIC, 2020). Dessa formulação decorre que a avaliação pode aceitar retornos modestos em unidades cuja função é social ou ambiental, mas não dispensa a demonstração de que o conjunto da operação se sustenta.

O que confere relevância a esse critério no caso examinado é a condição do território. Adger (2006) define vulnerabilidade como o estado de suscetibilidade a dano decorrente da exposição a estresses ambientais e sociais e da ausência de capacidade de adaptação, e decompõe o conceito em exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa. Linnenluecke e Griffiths (2010) transpõem esse arcabouço para o plano organizacional ao argumentar que as abordagens de adaptação empresarial centradas na competição econômica são pouco adequadas a mudanças drásticas no

ambiente natural. Linnenluecke, Griffiths e Winn (2012) sustentam que a teoria organizacional oferece percepções limitadas sobre a adaptação antecipatória, e Wedawatta, Ingirige e Amaratunga (2010) aplicam a discussão a pequenas e médias empresas e a suas cadeias de suprimento. Em cadeias aquícolas de tanques-rede, a vulnerabilidade assume forma particular, porque o descarte inadequado de resíduos devolve matéria orgânica ao mesmo corpo hídrico de que a produção depende, e essa fragilidade ambiental combina-se com a informalidade documental dos produtores, que restringe o acesso a crédito, a mercados formais e a instrumentos de gestão de risco.

Configurações desse tipo tendem a exigir respostas que o mercado, isoladamente, não produz, e a forma organizacional adotada influencia o resultado. Williamson (1985) demonstra que a estrutura de governança de uma transação decorre da combinação entre especificidade de ativos, incerteza e frequência, e que transações com ativos altamente específicos tendem a migrar do mercado para formas hierárquicas de coordenação. Uma bioindústria de coprodutos de pescado tem valor dependente de fluxo regular de resíduo fresco, segregado e sanitariamente adequado, condição que em cadeias informais somente uma unidade de abate formalizada assegura, o que a caracteriza como ativo específico e sugere a integração entre as duas unidades como forma de governança apropriada.

A revisão permite formular três expectativas para a análise. Espera-se que a unidade de abate, remunerada por tarifa limitada pela capacidade de pagamento dos produtores, apresente retorno inferior ao da bioindústria, que se apropria de um insumo de custo próximo de zero. Espera-se, conforme Williamson (1985), que a

avaliação pertinente seja a do arranjo, e não a de suas partes. E espera-se que a viabilidade do conjunto dependa de condições que ultrapassem a engenharia do projeto, como a adesão dos produtores, o preço obtido pelos coprodutos e a destinação da totalidade do resíduo concentrado. A seção 4 examina essas expectativas.

3. METODOLOGIA

3.1. Delineamento e Fontes

A pesquisa caracteriza-se como estudo de caso único de natureza aplicada e finalidade avaliativa *ex ante*, conduzido segundo as orientações de Yin (2018). A abordagem é documental e bibliográfica, complementada por modelagem econômico-financeira determinística, sem coleta de dados primários. O procedimento consiste em formular a configuração de duas unidades industriais tecnicamente interdependentes, declarar as premissas que as sustentam e avaliar a viabilidade de cada unidade isoladamente e do arranjo consolidado.

Os parâmetros de rendimento de processamento e de geração de resíduo derivam da literatura sobre beneficiamento de tilápia e valorização de resíduos de pescado (Pinheiro *et al.*, 2006; Simões *et al.*, 2007; Feltes *et al.*, 2010; Lima, 2013). A capacidade instalada, a configuração dos equipamentos e a composição do investimento derivam de cotação de fabricante de unidades modulares de processamento de pescado (Peixe Limpo, 2025), de orçamentos de equipamentos industriais e de referências do Custo Unitário Básico da Construção. A caracterização do território apoia-se em estatísticas oficiais de produção aquícola e no diagnóstico municipal da

piscicultura (Jatobá, 2021), que reúne, a partir de questionário aplicado a 49 unidades produtivas e de georreferenciamento das áreas aquícolas, indicadores de organização, ocupação, conformidade documental e comercialização.

3.2. Território de Estudo

Jatobá situa-se na Mesorregião do São Francisco Pernambucano e desenvolve a tilapicultura em tanques-rede no reservatório de Moxotó, a jusante da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga. A atividade é a principal ocupação econômica local e posiciona o município entre os maiores produtores nacionais de tilápia (IBGE, 2023; Peixe BR, 2024). A Tabela 1 sintetiza a caracterização produtiva e institucional da cadeia.

Tabela 1. Caracterização produtiva e institucional da cadeia aquícola municipal

Indicador	Situação
Unidades de piscicultura em operação	49
Associações coletivas	15
Empresas	14
Produtores familiares	17
Produção mensal de tilápia	1.353 t
Produção mensal projetada	2.591 t
Utilização da capacidade produtiva instalada	52,2%
Pessoas ocupadas na produção	412
Custo declarado de produção	R\$ 5,10 a R\$ 8,25/kg

Preço de venda praticado	R\$ 6,00 a R\$ 10,30/kg
Produtores com projeto técnico de regularização	93,8%
Produtores sem outorga de uso da água	64,6%
Produtores sem cessão de uso	89,6%
Produtores sem licença de operação	89,6%
Produtores sem assistência técnica	45,8%

Fonte: elaborado pelos autores com base em Jatobá (2021).

3.3. Configuração Técnica e Premissas

A unidade de abate foi dimensionada para processar 10 t diárias em regime de filetagem, ou até 18 t diárias em regime restrito à evisceração, em módulo industrial composto por contêineres adaptados, com câmara fria, fábrica de gelo, áreas limpas e sujas setorizadas e caminhão baú refrigerado (Peixe Limpo, 2025). A opção modular apoia-se na validação microbiológica de unidades desse tipo no processamento de tilápia, cujo pescado apresentou condições sanitárias compatíveis com a legislação (Machado *et al.*, 2020), no menor investimento em relação a entrepostos convencionais e na possibilidade de ampliação por acréscimo de módulos. A unidade opera como prestadora de serviço, cobrando tarifa por quilograma sobre pescado que permanece de propriedade do produtor.

A bioindústria foi dimensionada para processar 2,5 t diárias de resíduo, por rotas de desidratação térmica, prensagem, moagem e compostagem, com produção inicial de farinha de peixe e composto orgânico. A rota de farinha concentra o investimento em

desidratadores, prensa extratora, filtro prensa e moinho de martelos, enquanto a compostagem desloca o dispêndio para a área construída de composteiras e pátio de leiras, em conformidade com a assimetria de intensidade de capital descrita por Lima (2013). O ciclo de maturação do composto foi fixado em 90 dias, acima dos 60 dias reportados pelo mesmo autor. As premissas operacionais e econômicas, arbitradas pelos autores, constam da Tabela 2.

Tabela 2. Premissas do modelo

Parâmetro	Unidade de abate	Bioindústria
Capacidade nominal	10 t/dia de pescado (filetagem)	2,5 t/dia de resíduo
Dias úteis e sazonalidade	20 dias/mês; redução de 20%	20 dias/mês; redução de 20%
Volume efetivo	160 t/mês (12% da produção municipal)	40 t/mês de resíduo
Receita	Tarifa de R\$ 1,20/kg processado	Farinha: R\$ 35,00/kg; composto: R\$ 45,00/kg
Rendimento	Resíduo equivalente a 65% do pescado filetado	Metade do resíduo para farinha (22%) e metade para compostagem (50%)
Restrição de venda		Composto comercializável limitado a 1/3 da produção física mensal
Custo do insumo	Pescado de terceiros	Resíduo transferido sem custo
Tributos sobre faturamento	8%	12%
Manutenção	1% a.m. sobre equipamentos e	1% a.m. sobre equipamentos e infraestrutura

	infraestrutura	
Depreciação e amortização	Equipamentos 10 anos; infraestrutura 20 anos; projetos 5 anos	Equipamentos 10 anos; infraestrutura 20 anos; projetos 5 anos
Horizonte e TMA	10 anos; 10% a.a.	10 anos; 10% a.a.

Fonte: elaborado pelos autores.

3.4. Modelagem, Indicadores e Análise de Sensibilidade

O fluxo de caixa livre anual foi obtido a partir do resultado operacional antes de juros, impostos sobre o lucro, depreciação e amortização (EBITDA), deduzidas as despesas financeiras (DF), conforme a Equação 1, procedimento que evita subtrair do fluxo de caixa a depreciação, despesa não desembolsável. Os fluxos são constantes ao longo do horizonte, o que corresponde a modelagem a preços constantes.

$$FCL = 12(EBITDA - DF)$$

(1)

O valor presente líquido (VPL) foi calculado pela Equação 2, em que I_0 é o investimento inicial, i a taxa mínima de atratividade (TMA) e n o horizonte de dez anos. Calcularam-se também a taxa interna de retorno (TIR) e o prazo de retorno simples. Os indicadores foram obtidos três vezes, para cada unidade e para o arranjo consolidado, procedimento que constitui o núcleo analítico do trabalho.

$$VPL = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FCL_t}{(1+i)^t}$$

(2)

Os custos foram decompostos em fixos e variáveis para o cálculo do ponto de equilíbrio operacional pela Equação 3, em que CF é o custo fixo em caixa, incluídas as despesas financeiras, p o preço ou tarifa, τ a alíquota sobre o faturamento e cv o custo variável unitário. Na unidade de abate, são variáveis água, materiais operacionais, higienização e transporte; na bioindústria, energia, água, insumos de conversão e materiais operacionais.

$$Q_e = \frac{CF}{p(1 - \tau) - cv}$$

(3)

Elaborou-se balanço de massa que confronta a geração de resíduo no município e na unidade de abate com a capacidade da bioindústria. A análise de sensibilidade compreendeu duas matrizes que cruzam tarifa (R\$ 1,20, R\$ 1,30 e R\$ 1,50 por quilograma) e adesão, expressa como percentual da produção municipal processada pela unidade de abate (9%, 12% e 15%), para a unidade de abate e para o arranjo, e a variação conjunta dos preços dos coprodutos entre 50% e 100% dos valores adotados. Calcularam-se ainda a adesão e o preço que anulam o VPL.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. O Território e a Circularidade Adversa da Cadeia

A produção mensal de 1.353 t, cerca de 16 mil toneladas anuais, corresponde a 52,2% da capacidade projetada para as unidades instaladas, o que indica ociosidade superior a 40% e sugere que a expansão da cadeia é limitada mais pelas condições de escoamento e comercialização do que pela capacidade física de cultivo. O confronto entre as faixas de custo e de preço da Tabela 1 evidencia margens estreitas e, em parte dos casos, negativas. Produtores que

precisam liquidar a produção rapidamente para pagar a ração submetem-se às condições de intermediários, em sua maioria de outros estados, e parcela expressiva deles não calcula o custo de produção nem a conversão alimentar, o que agrava a assimetria informacional na negociação (Jatobá, 2021).

A informalidade documental amplifica essa condição, ao restringir o acesso a crédito rural e a mercados institucionais e ao manter a atividade em insegurança jurídica. Como 93,8% dos produtores declaram possuir projeto técnico de regularização, trata-se de processo iniciado e incompleto, passível de superação com suporte técnico e administrativo. A estrutura organizativa também é favorável à coordenação: as 412 pessoas ocupadas distribuem-se em 49 unidades, das quais 15 são associações coletivas, o que reduz o número de contratos a negociar e monitorar e, nos termos de Williamson (1985), os custos de transação do arranjo.

À fragilidade institucional soma-se a ambiental. Sem infraestrutura de evisceração e beneficiamento, o abate ocorre de modo disperso, e o resíduo é lançado no reservatório junto às estruturas de cultivo ou disposto em valas improvisadas e aterros irregulares nas margens. A matéria orgânica lançada eleva a carga de nutrientes e a demanda bioquímica de oxigênio, favorece macrófitas e cianobactérias e reduz o oxigênio dissolvido nas camadas em que os tanques-rede operam, com prejuízo ao desempenho zootécnico e ocorrência de *off-flavor*, que deprecia o pescado na comercialização. O quadro sanitário agrava essa dinâmica. Egger *et al.* (2023) documentaram surtos de lactococose causada por *Lactococcus petauri* em fazendas de tilápia de diferentes regiões do país entre 2019 e 2022, concentrados nos meses mais quentes e manifestos como septicemia hemorrágica, e confirmaram experimentalmente a

patogenicidade do agente. Embora a etiologia da mortalidade seja multifatorial, a elevação da carga orgânica e a redução do oxigênio dissolvido são condições predisponentes, de modo que o acúmulo de resíduo opera como fator de risco para os lotes.

Configura-se, assim, uma circularidade adversa. A atividade gera resíduo, o resíduo degrada a água, a degradação eleva a mortalidade e deprecia o pescado, a perda de receita reduz a capacidade de investir em manejo e regularização, e a precariedade do manejo amplia a má destinação do resíduo. Na acepção de Adger (2006), a sensibilidade do sistema é elevada porque a exposição é endógena. A prática vigente também situa os produtores em desconformidade com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010). O arranjo avaliado responde a demandas formuladas pelos próprios produtores, que indicaram como prioridades do poder público a implantação de unidade de beneficiamento e frigorífico, a criação de área de evisceração, o aproveitamento de vísceras, couro e escamas e a compostagem coletiva (Jatobá, 2021).

4.2. Balanço de Massa

A Tabela 3 confronta a geração de resíduo com a capacidade instalada de processamento.

Tabela 3. Balanço de massa entre geração de resíduo e capacidade de processamento

Fluxo	Volume anual (t)	Referência
Produção municipal de tilápia	16.000	100,0% da produção
Resíduo gerado no município	10.400	65,0% da produção

Pescado processado pela unidade de abate	1.920	12,0% da produção
Resíduo gerado pela unidade em filetagem	1.248	65,0% do processado
Capacidade efetiva da bioindústria	480	38,5% do resíduo da unidade
Excedente de resíduo da unidade de abate	768	61,5% do resíduo da unidade
Resíduo municipal captado pelo arranjo	480	4,6% do resíduo municipal

Fonte: elaborado pelos autores. Coeficiente de geração de resíduo conforme Simões *et al.* (2007) e Pinheiro *et al.* (2006).

A tabela revela dois achados. Na escala municipal, o insumo é abundante, pois a bioindústria capta menos de 5% do resíduo gerado, e a disponibilidade física do material não restringe o empreendimento. Na escala do arranjo, há descompasso: em regime de filetagem, a unidade de abate gera 2,6 vezes o volume que a bioindústria processa, e 768 t anuais de resíduo concentrado permanecem sem destinação no desenho avaliado. O custo de dar destino a esse excedente não está incorporado ao modelo.

O descompasso tem consequências para o argumento ambiental do arranjo. Concentrar o abate em um único ponto transforma um passivo difuso em passivo localizado, e a bioindústria, tal como dimensionada, absorve apenas parte dele. As alternativas incluem ampliar a capacidade da bioindústria, sobretudo na rota de compostagem, de menor intensidade de capital; destinar o excedente a rotas de baixo investimento, como a silagem, recomendada por Feltes *et al.* (2010); e ajustar a composição entre

serviços de filetagem e de evisceração, que geram volumes distintos de resíduo. A última alternativa depende de coeficiente de geração de vísceras que os dados disponíveis não permitem estimar, e cada uma delas requer orçamento próprio. A composição dos serviços e o dimensionamento da bioindústria devem, portanto, ser definidos em conjunto.

4.3. Investimento e Estrutura de Custos

Tabela 4. Composição do investimento por unidade e categoria (R\$)

Categoria	Unidade de abate	Bioindústria	Total
Módulo industrial e equipamentos	1.522.000,00	1.214.934,30	2.736.934,30
Infraestrutura física	180.000,00	1.110.000,00	1.290.000,00
Documentos e projetos técnicos	200.000,00	440.000,00	640.000,00
Total	1.902.000,00	2.764.934,30	4.666.934,30

Fonte: elaborado pelos autores com base em Peixe Limpo (2025), orçamentos de equipamentos industriais e referências do Custo Unitário Básico da Construção.

Na bioindústria, a infraestrutura responde por 40,1% do investimento e compreende galpão industrial de 450 m², área administrativa de 150 m², composteiras, pátio de leiras, drenagem e cercamento; os documentos e projetos técnicos, 15,9%, incluem estudos ambientais e o licenciamento sanitário e ambiental, mais complexo que o da

unidade de abate por envolver resíduos orgânicos e efluentes. O investimento por tonelada de capacidade diária é de R\$ 190,2 mil na unidade de abate e de R\$ 1,11 milhão na bioindústria, diferença de 5,8 vezes, explicada pelo fluxo contínuo da primeira e pelo tempo de retenção da compostagem na segunda, que exige área de leiras extensa. A Tabela 5 apresenta os custos operacionais mensais.

Tabela 5. Custos e despesas operacionais mensais por unidade (R\$)

Rubrica	Unidade de abate	Bioindústria	Total
Energia elétrica	20.000,00	20.000,00	40.000,00
Água e efluentes	7.000,00	8.000,00	15.000,00
Mão de obra de produção	35.700,00	35.700,00	71.400,00
Insumos de conversão		15.000,00	15.000,00
Materiais operacionais	8.000,00	20.000,00	28.000,00
Higienização e manejo	2.000,00	3.000,00	5.000,00
Manutenção preventiva	17.020,00	23.249,34	40.269,34
Equipamentos de proteção	2.000,00	2.000,00	4.000,00
Transporte e movimentação	5.000,00	5.000,00	10.000,00
Licenças e análises	2.000,00	5.000,00	7.000,00
Subtotal de custos	98.720,00	136.949,34	235.669,34
Mão de obra administrativa	34.000,00	34.000,00	68.000,00
Serviços terceirizados	16.000,00	16.000,00	32.000,00

Segurança patrimonial	3.500,00	3.500,00	7.000,00
Total	152.220,00	190.449,34	342.669,34

Fonte: elaborado pelos autores. Manutenção calculada sobre equipamentos e infraestrutura.

Na unidade de abate predominam custos associados à refrigeração contínua e à mão de obra, requisitos de conformidade sanitária que independem do volume processado e conferem rigidez à estrutura de custos. Na bioindústria, insumos de conversão e materiais operacionais têm peso maior, refletindo a natureza intensiva em processo das rotas adotadas. O custo operacional total da bioindústria equivale a R\$ 4,76 por quilograma de resíduo efetivamente processado, dos quais R\$ 3,42 correspondem aos custos de produção.

4.4. Resultado Projetado por Unidade

A receita da bioindústria compõe-se de 4.400 kg mensais de farinha, que somam R\$ 154.000,00, e de 3.333,33 kg de composto comercializável, que somam R\$ 150.000,00. A Tabela 6 consolida a demonstração de resultado.

Tabela 6. Demonstração de resultado projetada por unidade (mensal, R\$)

Item	Unidade de abate	Bioindústria	Arranjo
Receita bruta	192.000,00	304.000,00	496.000,00

(-) Tributos sobre faturamento	15.360,00	36.480,00	51.840,00
Receita líquida	176.640,00	267.520,00	444.160,00
(-) Custo dos produtos e serviços	98.720,00	136.949,34	235.669,34
Resultado bruto	77.920,00	130.570,66	208.490,66
(-) Despesas operacionais	53.500,00	53.500,00	107.000,00
EBITDA	24.420,00	77.070,66	101.490,66
Margem EBITDA (%)	13,8	28,8	22,9
(-) Depreciação e amortização	16.766,67	22.082,79	38.849,45
(-) Despesas financeiras	2.000,00	2.500,00	4.500,00
Resultado líquido	5.653,33	52.487,87	58.141,20
Margem líquida (%)	3,2	19,6	13,1

Fonte: elaborado pelos autores. A amortização dos projetos técnicos incide nos cinco primeiros anos.

A assimetria entre as unidades é imediata. A unidade de abate tem margem EBITDA de 13,8% e margem líquida de 3,2% nos primeiros cinco anos, suficiente para continuidade operacional, mas sem reservas para reinvestimento. A bioindústria alcança margem EBITDA de 28,8%. A diferença decorre principalmente da posição de cada unidade na apropriação de valor da cadeia, como antecipado na revisão. A unidade de abate cobra tarifa limitada pela capacidade de pagamento de produtores com margens estreitas, enquanto a bioindústria recebe sem custo um material que é passivo para quem o gera e o converte em produtos vendidos a preços de mercado.

4.5. Indicadores de Viabilidade e Efeito da Avaliação Separada

Tabela 7. Indicadores de viabilidade por unidade e para o arranjo

Indicador	Unidade de abate	Bioindústria	Arranjo
Investimento (R\$)	1.902.000	2.764.934	4.666.934
Fluxo de caixa livre anual (R\$)	269.040	894.848	1.163.888
Valor presente líquido (R\$)	-248.866	2.733.519	2.484.653
Taxa interna de retorno (% a.a.)	6,9	30,0	21,3
Prazo de retorno simples (anos)	7,1	3,1	4,0
Decisão isolada (TMA de 10% a.a.)	Rejeitar	Aprovar	Aprovar

Fonte: elaborado pelos autores. Horizonte de dez anos.

Submetida ao critério convencional, a unidade de abate seria rejeitada, com VPL de R\$ -248.866 e TIR de 6,9% a.a., enquanto a bioindústria seria aprovada com folga, com TIR de 30,0% a.a. e retorno em 3,1 anos. A rejeição da unidade de abate, porém, suprimiria o insumo da bioindústria. O resíduo de pescado é altamente perecível e exige segregação, refrigeração e rastreabilidade para que as rotas de valorização mantenham conformidade sanitária, condições que no território somente uma unidade de abate formalizada assegura. Sem ela, o resíduo continuaria disperso entre produtores informais, em estado incompatível com a produção de farinha para nutrição animal e com

a compostagem em escala industrial. A decisão recomendada pelo critério convencional eliminaria, assim, o ativo que o mesmo critério aprovaria.

Avaliado como conjunto, o arranjo apresenta VPL de R\$ 2,48 milhões, TIR de 21,3% a.a. e retorno em 4,0 anos. O resultado confirma a expectativa derivada de Williamson (1985): a integração responde à especificidade do ativo representado pela bioindústria, cujo valor depende de um fluxo de insumo que o mercado, nas condições institucionais do território, não fornece. A diferença de retornos entre as unidades funciona como subsídio cruzado interno ao arranjo, e a unidade deficitária cumpre a função de mecanismo de governança que permite à unidade lucrativa capturar valor. Nessa leitura, a valorização do resíduo deixa de ser acréscimo desejável a uma operação já viável e passa a ser a condição que torna viável a operação que o gera, o que corresponde à articulação entre cobertura de custos do conjunto e objetivo socioambiental proposta por Yunus, Moingeon e Lehmann-Ortega (2010).

4.6. Pontos de Equilíbrio e Sensibilidade

Na unidade de abate, os custos variáveis somam R\$ 22.000,00 mensais, ou R\$ 0,1375 por quilograma, e os custos fixos em caixa, R\$ 132.220,00. Com tarifa líquida de tributos de R\$ 1,104, a margem de contribuição é de R\$ 0,9665 por quilograma, e o equilíbrio operacional ocorre com 136.803 kg mensais, equivalentes a 10,3% da produção municipal. O VPL da unidade se anula com adesão de 12,3%, pouco acima do caso-base. Na bioindústria, os custos variáveis somam R\$ 63.000,00 mensais e os fixos em caixa R\$ 129.949,34, com equilíbrio operacional em 63,5% da capacidade, patamar que a abundância de resíduo torna alcançável do ponto de vista do

suprimento. A Tabela 8 apresenta a sensibilidade do VPL à tarifa e à adesão.

Tabela 8. Sensibilidade do VPL à tarifa e à adesão (R\$ mil)

Tarifa por quilograma	Adesão de 9%	Adesão de 12%	Adesão de 15%
<i>Painel A: unidade de abate isolada</i>			
R\$ 1,20	-3.099	-249	+2.602
R\$ 1,30	-2.285	+837	+3.958
R\$ 1,50	-657	+3.007	+6.672
<i>Painel B: arranjo integrado</i>			
R\$ 1,20	-366	+2.485	+5.335
R\$ 1,30	+448	+3.570	+6.692
R\$ 1,50	+2.076	+5.741	+9.405

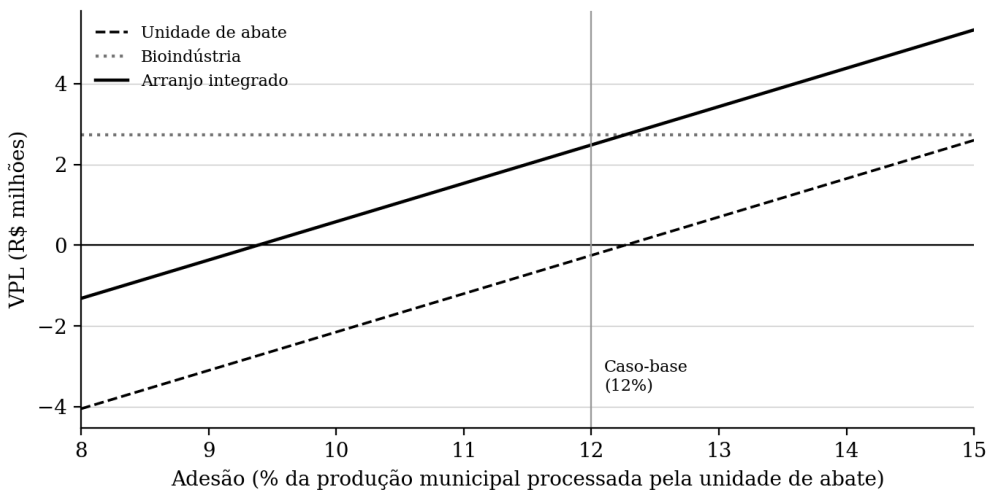
Fonte: elaborado pelos autores. Adesão expressa como percentual da produção municipal processado pela unidade de abate. A adesão de 15% corresponde à capacidade nominal da unidade sem redução sazonal.

No Painel A, cinco das nove combinações produzem VPL positivo; no Painel B, apenas uma produz resultado negativo, e o VPL do arranjo se anula com adesão de 9,4%. A inviabilidade isolada da unidade de abate é, portanto, paramétrica: a tarifa de R\$ 1,30 torna a unidade viável com adesão de 12%, e a tarifa de R\$ 1,20 exige adesão de 15%. A estabilidade do arranjo decorre do balanço de massa, pois mesmo

com adesão de 9% a unidade de abate gera 936 t anuais de resíduo, acima das 480 t processadas pela bioindústria, cujo resultado permanece inalterado em toda a faixa examinada.

Duas qualificações são necessárias. A primeira diz respeito à escolha entre tarifa e adesão. Elevar a tarifa transferiria custo para os produtores que o arranjo pretende beneficiar, o que torna a ampliação da adesão a via preferível. Essa via tem, porém, teto físico: a adesão de 15% corresponde à capacidade nominal da unidade operando todos os meses sem redução sazonal, e qualquer patamar superior requer módulos adicionais e, portanto, novo investimento. A segunda qualificação, de maior consequência, refere-se aos preços dos coprodutos, cujo efeito é apresentado no Gráfico 1 e na Tabela 9.

Gráfico 1. VPL das unidades e do arranjo segundo a adesão dos produtores



Fonte: elaborado pelos autores. Tarifa de R\$ 1,20 por quilograma.

Tabela 9. Sensibilidade do VPL ao preço dos coprodutos (R\$ mil)

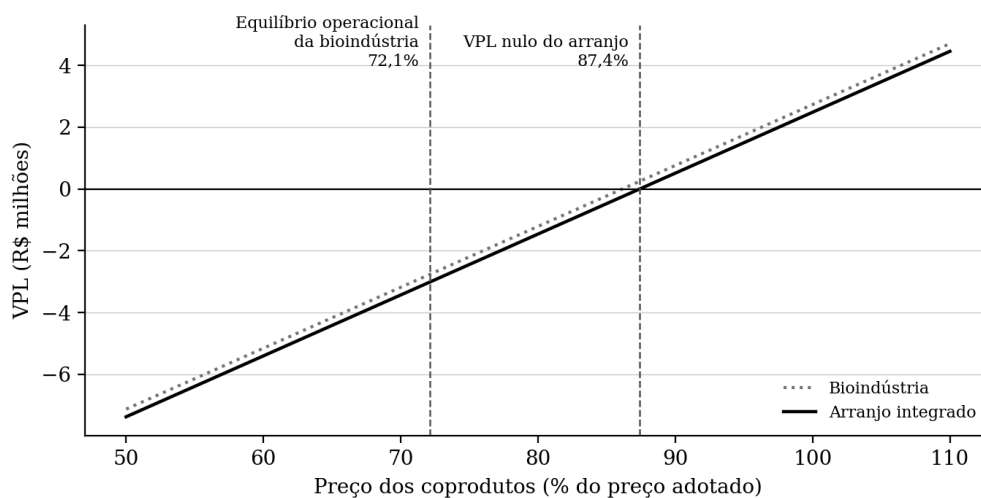
Preço dos coprodutos (% do adotado)	Farinha (R\$/kg)	Composto (R\$/kg)	Bioindústria	Arranjo

100	35,00	45,00	+2.734	+2.485
90	31,50	40,50	+761	+512
80	28,00	36,00	-1.212	-1.460
70	24,50	31,50	-3.184	-3.433
50	17,50	22,50	-7.129	-7.378

Fonte: elaborado pelos autores. Adesão de 12% e tarifa de R\$ 1,20 por quilograma.

O arranjo é muito mais sensível ao preço dos coprodutos do que à adesão. Uma redução de 12,6% nos preços, que os leva a R\$ 30,59 por quilograma de farinha e R\$ 39,33 por quilograma de composto, anula o VPL do arranjo, e uma redução de 27,9% leva a bioindústria ao equilíbrio operacional, abaixo do qual ela deixa de cobrir seus custos em caixa. A 80% dos preços adotados, o arranjo apresenta VPL de R\$ -1,46 milhão. O Gráfico 2 ilustra essa relação.

Gráfico 2. VPL da bioindústria e do arranjo segundo o preço dos coprodutos



Fonte: elaborado pelos autores.

Esse resultado limita o alcance da conclusão sobre robustez. A integração protege o arranjo contra variações de adesão, mas não contra variações de preço, porque todo o excedente que compensa o déficit da unidade de abate provém da bioindústria. Os preços adotados foram situados pelos autores na porção inferior das faixas de mercado que identificaram, mas não se apoiam em fonte documentada, e o canal de venda condiciona fortemente o preço de coprodutos desse tipo. A formação de preços em canal fracionado ou a granel, a capacidade de absorção do mercado regional de nutrição animal e de insumos agrícolas e o registro dos produtos são, por isso, as variáveis que mais precisam de validação antes da decisão de investimento. Como o composto responde por metade da receita da bioindústria, a premissa de venda limitada a um terço da produção física mensal também deve ser examinada, pois em regime o ciclo de maturação desloca o momento da venda sem reduzir o volume vendável, e a restrição adotada só se justifica como aproximação da capacidade de absorção do mercado.

4.7. Benefícios e Horizonte de Diversificação

Além do resultado apropriado pelas unidades, o arranjo tende a gerar benefícios para os produtores, o poder público e a sociedade, sistematizados no Quadro 1.

Quadro 1. Distribuição dos benefícios projetados segundo o agente apropriador

Agente	Dimensão econômica	Dimensão social	Dimensão ambiental
Arranjo	Fluxo de caixa livre (R\$ 1,16 milhão/ano)	Postos de trabalho	

		diretos e qualificados	
Piscicultores	Acesso a mercados formais para a produção processada (12% da produção municipal); menor dependência de intermediários	Segurança jurídica e formalização documental	Menor carga orgânica no reservatório
Poder público	Arrecadação tributária; menor despesa com passivo ambiental	Formalização de cadeia produtiva informal	Avanço na conformidade com a Política Nacional de Resíduos Sólidos
Sociedade em geral	Oferta local de insumos para nutrição animal e agricultura	Efeito demonstração para outros polos aquícolas	Resíduo desviado do corpo hídrico (480 t/ano); menor risco de eutrofização

Fonte: elaborado pelos autores. Os valores entre parênteses correspondem ao caso-base.

Apenas os benefícios da primeira linha são apropriados pelo empreendimento, e poucos admitem quantificação com as premissas adotadas. O desvio ambiental deve ser lido em conjunto com o balanço de massa: as 480 t anuais processadas representam 4,6% do resíduo municipal e 38,5% do resíduo da própria unidade de abate, de modo que o benefício ambiental líquido depende da destinação do excedente discutida na seção 4.2. O acesso a mercados formais, por sua vez, alcança a parcela da produção efetivamente processada, e não a totalidade dos produtores.

A avaliação econômica restringe-se à fase inicial de farinha e composto, única com premissas operacionais definidas. A literatura indica, contudo, horizonte de diversificação com valor unitário crescente, sistematizado no Quadro 2.

Quadro 2. Horizonte de diversificação de coprodutos e barreiras associadas

Fase	Linha de produto	Referência	Barreira dominante
1	Composto orgânico e farinha de peixe	Feltes <i>et al.</i> (2010); Boscolo <i>et al.</i> (2005); Lima (2013)	Registro do produto; ciclo de maturação; escala mínima da rota de farinha
2	Silagem e óleo bruto de pescado	Feltes <i>et al.</i> (2010); Lima (2013)	Prensagem e estabilização; controle de oxidação
3	Hidrolisados proteicos	Chalamaiah <i>et al.</i> (2012)	Hidrólise enzimática; padronização de perfil
4	Colágeno e derivados bioativos	Espinales <i>et al.</i> (2023)	Regulação sanitária; equipamento de separação

Fonte: elaborado pelos autores com base na literatura indicada.

A progressão sugere estratégia em que a fase inicial consolida o suprimento e gera caixa, enquanto as fases seguintes elevam o valor agregado com aportes incrementais. O excedente de 768 t anuais de resíduo da unidade de abate constitui reserva de matéria-prima para essas fases, em particular para a silagem e o óleo, que Lima (2013) e Feltes *et al.* (2010) associam a menor exigência de capital. Explorar essa reserva permitiria enfrentar ao mesmo tempo o

problema de destinação identificado no balanço de massa e a dependência do arranjo em relação aos preços da fase inicial.

4.8. Riscos e Limitações

A condição mais determinante é a adesão dos produtores, pois o arranjo requer que parcela de uma cadeia historicamente informal migre para o processamento formalizado, o que envolve mudança de práticas de comercialização. Três elementos atenuam esse desafio: a organização de parte da cadeia em associações, que reduz o número de interlocutores; a disposição à formalização expressa nos projetos de regularização; e a ociosidade produtiva, que permite atender à unidade sem competir com os canais atuais. A continuidade do fluxo integrado é a segunda condição, pois a interrupção da unidade de abate por razão sanitária, regulatória ou de mercado deixaria ocioso um ativo de R\$ 2,76 milhões, o que recomenda cláusulas de continuidade no contrato entre as unidades e fontes alternativas de resíduo na região. A exposição ambiental persiste, já que o arranjo intercepta o resíduo do processamento, mas não a carga orgânica da ração não consumida nos tanques-rede.

Entre os riscos operacionais, a sazonalidade pode ter amplitude superior aos 20% adotados; o ciclo de maturação do composto exige capital de giro no início da operação; e a rota de farinha opera em escala modesta, 1,25 t diárias de resíduo, diante da advertência de Lima (2013) e de Feltes *et al.* (2010) sobre o custo e o retorno das graxarias. O risco regulatório incide sobre a própria existência do arranjo, porque a unidade de abate só cumpre sua função se operar sob inspeção sanitária reconhecida, com prazo de habilitação

incerto, e o licenciamento ambiental envolve efluentes e resíduos orgânicos junto a corpo hídrico de uso múltiplo.

Os resultados devem ser lidos à luz das limitações do desenho. A base empírica é documental e bibliográfica, sem levantamento primário junto aos produtores. Os preços dos coprodutos, a restrição de venda do composto, as alíquotas tributárias e a produtividade de processamento foram arbitrados e não validados em operação. O modelo não incorpora capital de giro, rampa de adesão, custo de destinação do excedente de resíduo nem tratamento probabilístico das incertezas. Os resultados constituem, portanto, cenários condicionados às premissas declaradas, cuja função é estabelecer a ordem de grandeza do problema e indicar as variáveis que a investigação empírica deve priorizar.

5. CONCLUSÃO

Este artigo avaliou, de forma ex ante, um arranjo integrado de economia circular composto por uma unidade de abate e processamento de tilápias e por uma bioindústria de coprodutos em Jatobá, no Submédio São Francisco pernambucano. Avaliadas isoladamente, as unidades levariam a decisões contraditórias: a unidade de abate seria rejeitada, com VPL de R\$ -248.866 e TIR de 6,9% a.a., e a bioindústria aprovada, com TIR de 30,0% a.a. Avaliado como conjunto, o arranjo apresenta VPL de R\$ 2,48 milhões e TIR de 21,3% a.a. Como a bioindústria depende do resíduo que somente a unidade de abate fornece em condição sanitária adequada, a avaliação separada levaria a uma decisão inferior à recomendada pela avaliação integrada.

A resposta à questão de pesquisa é clara quanto ao critério e condicionada quanto ao resultado. A unidade de análise adequada para arranjos com interdependência técnica é o conjunto, e a assimetria de retornos deve ser interpretada como subsídio cruzado interno, na linha da especificidade de ativos de Williamson (1985). A viabilidade do conjunto, contudo, depende de condições identificadas pela análise: adesão mínima de 9,4% da produção municipal, com teto de 15% na configuração atual; preços dos coprodutos no máximo 12,6% inferiores aos adotados; e destinação para as 768 t anuais de resíduo que a bioindústria não absorve. A integração torna o arranjo pouco sensível à adesão, mas concentra o risco no preço dos coprodutos.

Decorrem do estudo três contribuições. No plano metodológico, mostra-se que a aplicação de indicadores de viabilidade a componentes isolados de sistemas integrados pode rejeitar a unidade que sustenta o conjunto, e que a avaliação integrada deve ser acompanhada de balanço de massa entre as unidades. No plano substantivo, identifica-se que a inviabilidade isolada da unidade de abate é paramétrica e que a ampliação da adesão é preferível à elevação tarifária, dentro do limite físico da capacidade instalada, enquanto o preço dos coprodutos é a variável crítica do arranjo. No plano analítico, a leitura da assimetria de retornos como subsídio cruzado articula a formulação de *social business* de Yunus, Moingeon e Lehmann-Ortega (2010) ao arcabouço de custos de transação de Williamson (1985) e oferece evidência de que desempenho ambiental e econômico podem ser conjugados por desenho organizacional que internalize, na estrutura de receitas, o valor da destinação adequada do resíduo.

Para a política pública, o caso indica que parte relevante dos benefícios, como formalização da cadeia, redução da carga orgânica no reservatório e menor dependência de intermediários, é apropriada por produtores, poder público e sociedade, e não pelo empreendimento. Programas de fomento a arranjos semelhantes em outros polos de tilapicultura deveriam, por isso, apoiar a fase de adesão dos produtores e exigir, desde o projeto, a compatibilidade entre a geração de resíduo da unidade de abate e a capacidade de valorização instalada.

A agenda de continuidade inclui a validação dos preços e da capacidade de absorção dos coprodutos nos canais regionais de nutrição animal e de insumos agrícolas; a pesquisa de disposição à adesão junto aos produtores; a caracterização laboratorial dos coprodutos quanto a composição, perfil microbiológico e contaminantes, necessária ao registro; o dimensionamento e o orçamento das alternativas de destinação do excedente de resíduo; e a replicação da análise em outros polos, de modo a verificar se a assimetria de retornos identificada é propriedade geral de arranjos integrados de valorização de resíduos aquícolas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMORAD, E. G. *et al.* Silagem de peixe em ração artesanal para tilápia-do-nilo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 5, p. 519-525, 2009. DOI: 10.1590/S0100-204X2009000500012.

ADGER, W. N. Vulnerability. **Global Environmental Change**, v. 16, n. 3, p. 268-281, 2006. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006.

BARROSO, R. M. *et al.* **Diagnóstico da cadeia de valor da tilapicultura no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 181 p.

BENITES, C. I.; SOUZA-SOARES, L. A. Farinhas de silagem de resíduo de pescado co-secas com farelo de arroz: uma alternativa viável. **Archivos de Zootecnia**, v. 59, n. 227, p. 447-450, 2010.

BOSCOLO, W. R. *et al.* Farinha de resíduos da filetagem de tilápias na alimentação de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 6, p. 1807-1812, 2005.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF: Presidência da República, 2010.

CHALAMAIAH, M. *et al.* Fish protein hydrolysates: proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications: a review. **Food Chemistry**, v. 135, n. 4, p. 3020-3038, 2012. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.06.100.

EGGER, R. C. *et al.* Emerging fish pathogens *Lactococcus petauri* and *L. garvieae* in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) farmed in Brazil. **Aquaculture**, v. 565, art. 739093, 2023. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2022.739093.

ENKE, D. B. S. *et al.* Utilização de farinha de silagem de pescado em dietas para o jundiá na fase juvenil. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p. 871-877, 2009.

ESPINALES, C. *et al.* Collagen, protein hydrolysates and chitin from by-products of fish and shellfish: an overview. **Heliyon**, v. 9, n. 4, e14937, 2023.

FELTES, M. M. C. *et al.* Alternativas para a agregação de valor aos resíduos da industrialização de peixe. **Revista Brasileira de**

Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, n. 6, p. 669-677, 2010. DOI: 10.1590/S1415-43662010000600014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The state of world fisheries and aquaculture 2022**. Rome: FAO, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

JATOBÁ (Município). Secretaria de Infraestrutura. Departamento de Agricultura, Meio Ambiente e Piscicultura. **Diagnóstico e caracterização da piscicultura no município de Jatobá, PE**. Jatobá: Prefeitura Municipal, 2021.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 127, p. 221-232, 2017. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005.

KUBITZA, F.; CAMPOS, J. L. O aproveitamento dos subprodutos do processamento de pescado. **Panorama da Aquicultura**, v. 16, n. 94, p. 23-29, 2006.

LIMA, L. K. F. de. **Reaproveitamento de resíduos sólidos na cadeia agroindustrial do pescado**. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2013. (Documentos, 1).

LINNENLUECKE, M. K.; GRIFFITHS, A. Beyond adaptation: resilience for business in light of climate change and weather extremes. **Business & Society**, v. 49, n. 3, p. 477-511, 2010. DOI: 10.1177/0007650310368814.

LINNENLUECKE, M. K.; GRIFFITHS, A.; WINN, M. Extreme weather events and the critical importance of anticipatory adaptation and organizational resilience in responding to impacts. **Business Strategy and the Environment**, v. 21, n. 1, p. 17-32, 2012. DOI: 10.1002/bse.708.

MACHADO, T. F.; BRUNO, L. M.; CHICRALA, P. C. M. S.; LIMA, L. K. F. **Unidade de processamento móvel para pescado:** validação microbiológica. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2020. 7 p. (Comunicado Técnico, 264).

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO. **Guia Modelo C.01:** negócios de impacto socioambiental. Brasília, DF: MDIC, 2020.

PEIXE BR. **Anuário Peixe BR da Piscicultura 2024.** São Paulo: Associação Brasileira da Piscicultura, 2024.

PEIXE LIMPO. **Módulo Gemini:** unidade modular de processamento de pescado. Orçamento comercial. [S. l.]: Peixe Limpo MBP, 2025. Documento não publicado. Disponível em: <https://www.peixelimpombp.com.br>. Acesso em: 6 set. 2026.

PINHEIRO, L. M. S. *et al.* Rendimento industrial de filetagem da tilápia tailandesa (*Oreochromis* spp.). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 58, n. 2, p. 257-262, 2006.

SEBRAE. **Panorama da piscicultura no Brasil:** demandas de mercado e desafios estruturais da cadeia. Brasília, DF: Sebrae, 2022.

SIMÕES, M. R. *et al.* Composição físico-química, microbiológica e rendimento do filé de tilápia tailandesa (*Oreochromis niloticus*).

Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 27, n. 3, p. 608-613, 2007. DOI: 10.1590/S0101-20612007000300028.

WEDAWATTA, G.; INGIRIGE, B.; AMARATUNGA, D. Building up resilience of construction sector SMEs and their supply chains to extreme weather events. **International Journal of Strategic Property Management**, v. 14, n. 4, p. 362-375, 2010.

WILLIAMSON, O. E. **The economic institutions of capitalism: firms, markets, relational contracting**. New York: Free Press, 1985.

YIN, R. K. **Case study research and applications: design and methods**. 6. ed. Thousand Oaks: SAGE, 2018.

YUNUS, M.; MOINGEON, B.; LEHMANN-ORTEGA, L. Building social business models: lessons from the Grameen experience. **Long Range Planning**, v. 43, n. 2-3, p. 308-325, 2010. DOI: 10.1016/j.lrp.2009.12.005.

¹ Economista, Mestre em Econômica e Doutor em Política Social. Grupo Engenharia Aplicada e Sustentabilidade (CNPQ/IFES).

² Professor EBTT Instituto Federal do ES.