

IMPACTO ECONÔMICO E AMBIENTAL *EX ANTE* DE BIOFERTILIZANTE FOLIAR COM EXTRATOS DE BIOMASSA DE CIANOBACTÉRIA DA BIODIVERSIDADE BRASILEIRA

EX ANTE ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF A FOLIAR BIOFERTILIZER WITH CYANOBACTERIA BIOMASS EXTRACTS FROM THE BRAZILIAN BIODIVERSITY

Rosana do Carmo Nascimento Guiducci

Embrapa Agroenergia

rosana.guiducci@embrapa.br

Wyviane Carlos Lima Vidal

Embrapa Agroenergia

wyviane.vidal@embrapa.br

Patrícia Rocha Bello Bertin

Embrapa Agroenergia

patricia.bertin@embrapa.br

Grupo de Trabalho (GT): GT4. Questão ambiental, agroecologia e sustentabilidade

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar os impactos econômico e ambiental *ex ante* de um biofertilizante formulado a partir de extrato concentrado de biomassa de cianobactéria, com composição e concentração de fitohormônios conhecidas, acrescido de macro e micronutrientes. Foram levantados dados primários da pesquisa obtidos em campo experimental, dados secundários e entrevista ao pesquisador responsável pelo desenvolvimento do biofertilizante. Para o impacto ambiental, utilizou-se o método de Avaliação de Impactos Ambientais de Inovações Tecnológicas Agroenergéticas - Ambitec-Agroenergia. Experimentos em campos experimentais demonstraram aumento de 600 kg por hectare de soja, quando comparado a um cultivo nas mesmas condições, porém sem o uso do biofertilizante. Este diferencial foi projetado para um nível de adoção da solução tecnológica no campo correspondente a 1% da área de soja no Brasil, na safra 2023/2024. O impacto econômico atribuído à Embrapa foi estimado em R\$ 58.924.263,88 ao ano. Para a indústria, verificou-se ganho com a produção própria do biofertilizante, em substituição ao produto importado, estimado em R\$ 899.836,74 ao ano para este mesmo nível de adoção da solução tecnológica. Conclui-se que a solução tecnológica apresenta impactos importantes, em termos sociais, econômicos e ambientais, que contribuem para maior sustentabilidade da cadeia produtiva da soja no Brasil.

Palavras-chave: bioinsumo, fitohormônios, solução tecnológica, sustentabilidade.

Abstract

The objective of this work was to evaluate the *ex ante* economic and environmental impacts of a biofertilizer formulated from a concentrated extract of cyanobacteria biomass, with known composition and concentration of phytohormones, with added macro and micronutrients. Primary research data obtained in the experimental field, secondary data and an interview with the researcher responsible for the development of the biofertilizer were collected. To evaluate the environmental impact, the Environmental Impact Assessment of Agroenergy Technological Innovations - Ambitec-Agroenergia method was used. Results indicated an increase of 600 kg per hectare of soybeans, when compared to cultivation under the same conditions, but without the use of biofertilizer. This was designed considering a level of adoption of the technological solution corresponding to 1% of the soybean area in Brazil, in the 2023/2024 harvest. The economic impact attributed to Embrapa was estimated at R\$58,924,263.88 per year. For the industry, there is a gain from its own production of biofertilizer, replacing the imported product, estimated at R\$ 899,836.74 per year for this same level of adoption of the technological solution. It is concluded that the technological solution has beneficial potential impacts, in social, economic and environmental terms, in the soybean production chain in Brazil.

Key words: bioinput, phytohormones, technological solution, sustainability.

1. Introdução

O mercado de bioinsumos vem crescendo exponencialmente nos últimos anos no Brasil, como reflexo de uma demanda mundial por uma agricultura mais produtiva, saudável e sustentável (BORSARI, 2024). De acordo com estudo da CropLife Brasil em parceria com a S&P Global, o valor do mercado brasileiro de biodefensivos foi estimado em cerca de R\$ 3,3 bilhões para a safra 2021/2022 (BORSARI et al., 2022). Isso representa um crescimento de 219% em relação ao valor de mercado da safra anterior, estimada em R\$ 1,03 bilhão. O estudo projeta um valor próximo a R\$ 17 bilhões para o setor até 2030, considerando uma taxa de crescimento anual de 23% entre 2022 e 2023.

O agronegócio brasileiro exportou US\$ 13,55 bilhões em setembro de 2023, resultado 1,1% inferior ao registrado no mesmo mês de 2022. Entre os produtos da cadeia da soja, a soja em grãos – principal produto da pauta de exportação brasileira – foi o único item a apresentar alta no valor total exportado na comparação interanual, atingindo a marca de US\$ 3,30 bilhões – resultado 31,8% superior ao observado em setembro de 2022 (FERREIRA & SOUZA JUNIOR, 2023).

As microalgas produzem bioinsumos tais como fitormônios promotores do crescimento de plantas que podem ser benéficos à produtividade agrícola. Os fitormônios são sinalizadores para indução de vários processos fisiológicos necessários ao metabolismo vegetal, incluindo compostos como ácidos abscísicos, auxinas, citocininas, giberelinas, estrigolactonas, brassinosteroides, ácido jasmônico, ácido salicílico e etileno, além de polipeptídeos, aminoácidos, polissacarídeos e sideróforos (TORIBIO et al., 2020) e outros metabólitos secundários (VAISHAMPAYAN et al., 2001).

Os biofertilizantes são indicados para aplicação nos períodos de maior demanda de energia pelas plantas, garantindo um aporte adicional de nutrientes essenciais em fases críticas da cultura, como no período de floração das plantas. A adição de fitohormônios de forma exógena pode favorecer o melhor aproveitamento dos nutrientes, no momento em que a planta estabelece os parâmetros que definirão a produção final de grãos. Em condições adversas de clima, ataque de pragas ou limitação de nutrientes essenciais, esse aporte extra favorece o equilíbrio no desenvolvimento da planta, o que resulta em aumento de produtividade (EMBRAPA, 2023).

O uso de produtos à base de extratos de macroalgas como bioestimulantes de plantas vem crescendo nos últimos anos. No mercado brasileiro, há vários produtos comerciais formulados com extratos importados de macroalgas, principalmente da espécie *Ascophyllum nodosum*, coletadas na costa do Canadá e de países da Europa. No entanto, essas formulações são produzidas a partir de extratos de algas marinhas obtidas de forma extrativista, cuja composição não é conhecida e não há normas do Ministério da Agricultura e Pecuária que regulamentem o uso desses produtos.

Na busca por um extrato substituto com eficiência igual ou superior aos importados, está sendo desenvolvido um biofertilizante a partir de extrato concentrado de biomassa de cianobactéria proveniente da biodiversidade brasileira, para aplicação via foliar em soja. Produzida em condições que permitem controle de qualidade, com composição e concentração de fitohormônios conhecidas, a solução diferencia-se de formulações atualmente disponíveis no mercado, além de ser acrescida de macro e micronutrientes. Dada a relevância do mercado de bioinsumos e a importância da cadeia produtiva de soja para o agronegócio brasileiro, essa solução tecnológica tem potencial de grande aceitação pelo mercado como um substituto aos extratos importados, reduzindo os custos com a importação desses produtos.

No contexto da atividade de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I), ser capaz de antecipar os potenciais impactos ambientais e socioeconômicos de uma tecnologia, processo ou

produto emergente é de extrema importância, pois isso pode ajudar a prevenir investimentos injustificáveis e evitar encargos ambientais. Jayswal et al. (2011) enfatizam que a realização desse tipo de esta avaliação na fase de projeto é benéfica porque uma eventual modificação do processo nessa fase requer menos esforço e recursos do que modernizar o processo após as etapas detalhadas de engenharia e produção.

A Embrapa realiza a avaliação do impacto ambiental de inovações tecnológicas desenvolvidas pelas unidades de pesquisa, para analisar o desempenho e relatar os impactos econômicos, ambientais e sociais de inovações tecnológicas selecionadas, com base em levantamentos de dados em campo junto aos produtores rurais adotantes e outros usuários dessas tecnologias (*ex post*) ou com base em resultados da pesquisa em andamento (*ex ante*) (RODRIGUES, 2015).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os impactos econômico e ambiental *ex ante* da solução tecnológica que consiste em um biofertilizante foliar formulado com extrato concentrado de biomassa de cianobactéria da biodiversidade brasileira, acrescido de macro e micronutrientes.

2. Metodologia

Para a avaliação *ex ante* dos impactos ecológicos e socioeconômicos do biofertilizante foliar, foram realizadas entrevistas com o pesquisador responsável pelo desenvolvimento da solução tecnológica e aplicado o Método de avaliação de Impactos Ambientais de Inovações Tecnológicas Agroenergéticas – Ambitec-Agroenergia (SOUZA et al. 2017).

2.1. Levantamento de dados

Os dados foram levantados por meio de entrevistas ao pesquisador responsável pelo desenvolvimento da solução tecnológica. Por se tratar de uma solução tecnológica em desenvolvimento, com avaliação *ex ante* de impactos baseados em resultados da pesquisa até o momento, não houve levantamento de dados junto a fontes externas, tais como produtores, consumidores, etc.

2.2. Impacto econômico

Foi realizada uma avaliação de impacto econômico *ex ante*, com base nos resultados da pesquisa em campo experimental, buscando identificar o retorno econômico do investimento feito na pesquisa até o momento frente aos ganhos esperados com a solução tecnológica para o produtor, expresso em termos de incremento na produtividade da soja, e para a indústria, que atualmente oferta o produto importado e poderá passar a produzir o biofertilizante formulado com extrato concentrado de cianobactéria, em mistura com macro e micronutrientes, no mercado nacional.

2.3. Impactos ecológicos e socioambientais

Para avaliar os impactos ambientais da tecnologia foi utilizado o Método de avaliação de Impactos Ambientais de Inovações Tecnológicas Agroenergéticas - Ambitec-Agroenergia. O método Ambitec-Agroenergia consiste em módulos integrados de indicadores socioambientais dirigidos ao setor da agroindústria de fins energéticos. O sistema é composto por um conjunto de matrizes de ponderação construídas para permitir a consideração de sete aspectos de contribuição de uma dada inovação tecnológica ou atividade rural para o

desempenho socioambiental na produção energética: eficiência tecnológica e qualidade ambiental, na dimensão de impactos ecológicos e respeito ao consumidor, emprego, renda, saúde e gestão administrativa, na dimensão de impactos socioeconômicos (Figura 1). Por sua vez, cada um desses aspectos é composto por um conjunto de critérios, organizados em matrizes de ponderação automatizadas, nas quais, os indicadores são valorados por coeficientes de alteração, conforme verificação de campo e levantamento de dados junto ao produtor rural adotante da tecnologia e responsável pela atividade produtiva e estabelecimento rural/agroindustrial (SOUZA et al., 2017).

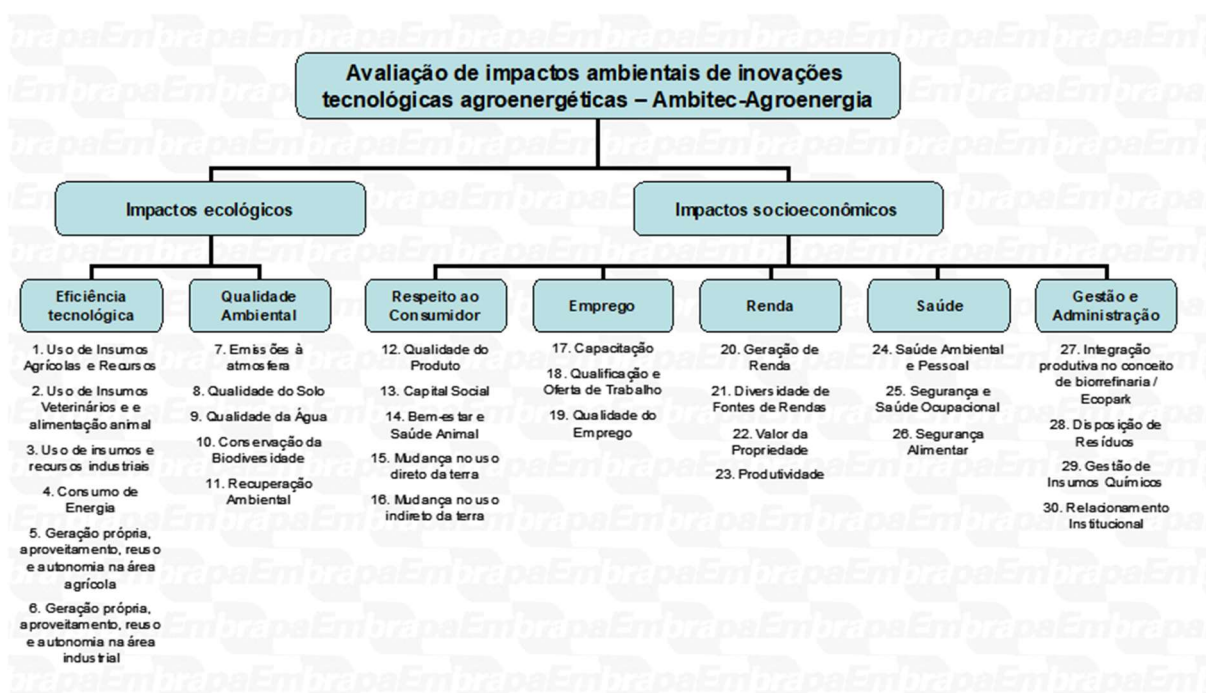


Figura 1. Critérios e indicadores para avaliação de impactos ecológicos e socioambientais do sistema Ambitec-Agroenergia. Fonte: Souza et al. (2017).

3. Resultados e discussão

3.1. Impacto econômico - Incremento de produtividade (ganho do produtor) e redução de custos (ganho da indústria) em cenário de adoção da tecnologia

Na Tabela 1 são apresentadas as estimativas de gastos da Embrapa com pessoal, custeio e capital na geração de P&D. Não houve registro de custos de administração (apenas a taxa de *overhead* da Unidade já incluída no custeio da pesquisa). Não foram considerados custos de transferência de tecnologia nesta análise, pois não houve ações de transferência até o momento.

As despesas indiretas relativas a gastos com pessoal e depreciação de capital foram estimadas considerando cargos, dedicação de cada membro na execução do projeto de P&D, e respectiva utilização da infraestrutura de laboratórios e salas da Unidade.

A pesquisa, que teve início em 2018 totalizou investimento da ordem de R\$2,95 milhões em 6 anos, sendo que no ano de 2021 não houve desembolsos, a pesquisa foi retomada no ano seguinte. Observa-se que o maior dispêndio da pesquisa é com recursos de pessoal que responde por 52,48% do total investido, seguido por custeio, 42,32%. A depreciação do capital (infraestrutura da pesquisa) responde por 5,2% do total investido.

Tabela 1. Estimativa dos custos, em R\$*.

Ano	Custos de Pessoal	Custeio de Pesquisa	Depreciação de Capital	Custos de Administração	Custos de Transferência Tecnológica	Total
2018	388.055,94	486.660,80	38.461,63	0,00	0,00	913.178,37
2019	365.929,18	534.173,15	36.268,57	0,00	0,00	936.370,91
2020	323.699,26	0,00	32.083,01	0,00	0,00	355.782,27
2021	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2022	230.579,67	112.776,25	22.853,59	0,00	0,00	366.209,52
2023	239.215,45	114.500,00	23.709,51	0,00	0,00	377.424,96
Total	1.547.479,51	1.248.110,20	153.376,32	0,00	0,00	2.948.966,03
%	52,48%	42,32%	5,20%	0,00%	0,00%	100,00%

Valores reais, corrigidos pelo INPC.

Conforme informado anteriormente, foi feita uma avaliação de impacto econômico *ex ante*, com base nos resultados da pesquisa em campo experimental, buscando identificar o retorno econômico do investimento feito na pesquisa até o momento frente aos ganhos esperados com a solução tecnológica para o produtor, expresso em termos de incremento de produtividade da soja (Tabela 2), e para a indústria, que atualmente oferta o produto importado e poderá passar a produzir o biofertilizante formulado com extrato concentrado de cianobactéria, em mistura com macro e micronutrientes, no mercado nacional (Tabela 3).

Tabela 2. Benefícios Econômicos por Incremento de Produtividade – Ganho do Produtor.

Ano	Rendim ento <u>sem</u> o uso da solução tec. t/ha	Rendime nto <u>com</u> o uso da solução tec. t/ha	Preço Unitário R\$/t	Custo Adici onal R\$/ha	Ganho Unitário R\$/ha	Partici pação da Embra pa %	Ganho Líquido Embrapa R\$/ha	Área de Adoção (ha)	Benefício Econômico R\$
	(A)	(B)	(C)	(D)	$E = [(B - A) \times C] - D$	(F)	$G = (E \times F)$	(H)	$I = (G \times H)$
Ano 1	3,535	4,135	2.222,48	32,99	1.300,50	10%	130,05	226.545	29.462.131,94
Ano 2	3,535	4,135	2.222,48	32,99	1.300,50	10%	130,05	226.545	29.462.131,94
Ano 3	3,535	4,135	2.222,48	32,99	1.300,50	10%	130,05	226.545	29.462.131,94
Ano 4	3,535	4,135	2.222,48	32,99	1.300,50	10%	130,05	226.545	29.462.131,94
Ano 5	3,535	4,135	2.222,48	32,99	1.300,50	10%	130,05	226.545	29.462.131,94
Ano 6	3,535	4,135	2.222,48	32,99	1.300,50	10%	130,05	453.090	58.924.263,88
Ano 7	3,535	4,135	2.222,48	32,99	1.300,50	10%	130,05	453.090	58.924.263,88
Ano 8	3,535	4,135	2.222,48	32,99	1.300,50	10%	520,20	453.090	58.924.263,88
Ano 9	3,535	4,135	2.222,48	32,99	1.300,50	10%	520,20	453.090	58.924.263,88
Ano 10	3,535	4,135	2.222,48	32,99	1.300,50	10%	520,20	453.090	58.924.263,88
Ano 11	3,535	4,135	2.222,48	32,99	1.300,50	10%	520,20	453.090	58.924.263,88
Ano 12	3,535	4,135	2.222,48	32,99	1.300,50	10%	520,20	453.090	58.924.263,88

Tabela 3. Benefícios Econômicos por Redução de Custos - Ganho da Indústria.

Ano	Custos <u>sem</u> o uso da solução tecnológica R\$/ha	Custos <u>com</u> o uso da solução tecnológica R\$/ha	Economia Obtida R\$/ha	Participação o da Embrapa %	Ganho Líquido Embrapa R\$/L	Área de Adoção (ha)	Benefício Econômico R\$
	(A)	(B)	C=(A-B)	(D)	E=(CxD)	(F)	G=(ExF)
Ano 1	13,97	9,00	4,97	40%	1,99	226.545	449.918,37
Ano 2	13,97	9,00	4,97	40%	1,99	226.545	449.918,37
Ano 3	13,97	9,00	4,97	40%	1,99	226.545	449.918,37
Ano 4	13,97	9,00	4,97	40%	1,99	226.545	449.918,37
Ano 5	13,97	9,00	4,97	40%	1,99	226.545	449.918,37
Ano 6	13,97	9,00	4,97	40%	1,99	453.090	899.836,74
Ano 7	13,97	9,00	4,97	40%	1,99	453.090	899.836,74
Ano 8	13,97	9,00	4,97	40%	1,99	453.090	899.836,74
Ano 9	13,97	9,00	4,97	40%	1,99	453.090	899.836,74
Ano 10	13,97	9,00	4,97	40%	1,99	453.090	899.836,74
Ano 11	13,97	9,00	4,97	40%	1,99	453.090	899.836,74
Ano 12	13,97	9,00	4,97	40%	1,99	453.090	899.836,74

É importante esclarecer que o ganho do produtor mostrado na Tabela 2 refere-se ao aumento de produtividade obtido pelo uso do biofertilizante formulado com extrato concentrado de biomassa de cianobactéria da biodiversidade brasileira (solução tecnológica em desenvolvimento pela Embrapa e empresa parceira) em mistura com fertilizantes foliares. O extrato tem propriedades para potencializar o efeito do fertilizante (WONG et. al, 2015). Para dar uma base científica quanto ao efeito isolado do extrato puro, deverá ser realizada, oportunamente, uma avaliação em campo estabelecendo o ganho devido ao fertilizante e o ganho devido ao extrato puro.

Nas análises que seguem, estabeleceu-se um cenário de adoção da solução tecnológica em 12 anos, sendo que nos cinco primeiros anos o biofertilizante será utilizado em uma área correspondente a 0,5% da área cultivada com soja no Brasil na safra 2023/2024, equivalente a 226.545 hectares. Nos anos seguintes passa a 1% da área cultivada com soja, ou seja, 453.090 hectares.

De acordo com os resultados detalhados na Tabela 2, a previsão de rendimento médio da soja na safra 2023-2024 para o Brasil é de 3,535 t/ha (dados da Conab). O resultado da pesquisa mostrou ganho de produtividade de 600 kg por hectare de soja com o uso do biofertilizante formulado com extrato concentrado de cianobactéria, em mistura com macro e micronutrientes. Com isso, o rendimento médio verificado na safra 2023/2024 passaria de 3,535 t/ha (coluna A - sem uso da solução tecnológica), para 4,135 t/ha com o uso da solução tecnológica (coluna B). Ao preço unitário de R\$2.222,48 a tonelada da soja (coluna C), e descontado o custo adicional de aplicação (R\$7,99/ha) e do biofertilizante (R\$25,00/ha) no valor de R\$ 32,99/ha (coluna D), o ganho por hectare com o uso da solução tecnológica da Embrapa juntamente com o fertilizante foliar é de R\$ 1.300,50 (coluna E). Atribui-se à Embrapa 10% desse benefício, ou seja, R\$ 130,05/ha (coluna F), por ser um projeto Embrapii, no qual 30% dos recursos são oriundos da iniciativa privada, 30% são da Embrapii e o restante é atribuído à Embrapa. Todavia, tendo em vista a atuação conjunta com fertilizantes foliares, faz-se uma atribuição de 10% à Embrapa. Pelo cenário de adoção estabelecido, nos cinco primeiros anos, a solução tecnológica será adotada em uma área de 226.545 hectares de soja (coluna H), gerando um benefício econômico de R\$ 29,46 milhões (coluna I). O benefício econômico atinge

R\$ 58,92 milhões a partir do 6º ano quando o biofertilizante estiver sendo usado em 1% da área de soja no Brasil, ou seja, em 453.090 hectares de soja. Neste sentido é possível verificar o significativo impacto que a solução tecnológica em desenvolvimento poderá alcançar na cadeia produtiva da soja.

Na Tabela 3 são apresentados os benefícios econômicos esperados na indústria. Atualmente, os fornecedores deste bioinsumo no Brasil importam o produto e revendem ao produtor ao preço de R\$ 50,00/L. Sabe-se que o custo de aquisição do produto para a indústria é de R\$ 27,90 por litro (informação da empresa parceira do projeto), o que resulta em uma margem de ganho de R\$22,10 por litro à indústria. Nas condições de produção realizadas na estrutura da Embrapa Agroenergia, cuja escala não é industrial, e, portanto, o custo médio tende a ser mais elevado, o custo do litro do biofertilizante formulado com extrato concentrado de cianobactéria, em mistura com macro e micronutrientes, foi estimado em R\$18,00. Na hipótese de que a indústria manteria a mesma eficiência produtiva obtida pela Embrapa (hipótese conservadora), haveria um ganho adicional na margem da indústria da ordem de R\$ 9,00 por litro de biofertilizante ao substituir o produto importado pela produção própria.

Trazendo esses valores para o cenário de adoção, e considerando que a recomendação de uso é de 0,5 L/ha, tem-se o custo do bioinsumo importado (sem uso da solução tecnológica – coluna A) de R\$13,97/ha (coluna A), o custo com a solução tecnológica da Embrapa de R\$ 9,00/ha (coluna B) e a economia obtida de R\$ 4,97/ha (coluna C). A participação da Embrapa sobre este ganho foi estabelecida em 40% (coluna D), uma vez que o mesmo é resultante da substituição do produto importado por um produto nacional, graças aos esforços de pesquisa da Empresa. Sendo assim, chega-se ao ganho líquido da Embrapa de R\$ 1,99/ha. Com a adoção da solução tecnológica nas áreas de cultivo de soja (coluna F), é possível gerar benefício econômico da ordem de R\$ 449.918,37 nos cinco primeiros anos (coluna G), chegando a R\$ 899.836,74 a partir do 6º ano, com a adoção da solução tecnológica em uma área correspondente a 1% da área total cultivada com soja no Brasil na safra 2023/2024.

Somente no primeiro ano de adoção (ano 1), o benefício total esperado frente ao nível de adoção proposto é da ordem de R\$29,91 milhões, conforme indicado na Tabela 4. Por se tratar de uma solução tecnológica em uso na principal *commodity* do agronegócio brasileiro, os benefícios econômicos adquirem uma escala expressiva, compatível com a importância da soja para a economia brasileira, evidenciando também a importância da incorporação de tecnologia para otimização dos processos produtivos.

Tabela 4. Total dos impactos econômicos.

Tipo de Impacto	Benefício econômico total
Incremento de Produtividade	29.462.131,94
Redução de Custos	449.918,37
Expansão da Produção em Novas Áreas	Não se aplica
Agregação de Valor	Não se aplica
Total dos benefícios econômicos 2023	29.912.050,30

A análise de rentabilidade (Tabela 5) foi realizada para um período de 12 anos de fluxos de caixa, levando em conta o fluxo de benefícios do produtor e da indústria, separadamente. O fluxo de investimento foi considerado no ano 0 e corresponde ao valor investido na pesquisa mostrado na Tabela 1. Os 12 anos seguintes são anos de adoção da solução tecnológica. Os fluxos de receita gerados correspondem aos benefícios econômicos atribuídos à Embrapa na Tabela 2, para ganhos do produtor, e Tabela 3, para ganhos da indústria.

Tabela 5. Análises de rentabilidade – Taxa Interna de Retorno (TIR), relação Benefício/Custo (B/C) e Valor Presente Líquido (VPL) Incremento de produtividade –ganho do produtor e da indústria.

	Taxa Interna de Retorno TIR	Relação Benefício/Custo B/C (16%)	Valor Presente Líquido VPL (16%)
Produtor	999,1%	74,08	R\$ 159.808.391,10
Indústria	17,7%	1,09	R\$ 219.325,11

A análise de rentabilidade mostrou que o investimento em pesquisa é viável economicamente para os ganhos do produtor e também da indústria, na escala de produção estabelecida no cenário de adoção.

No caso dos ganhos do produtor, a taxa interna de retorno é extremamente elevada, 999,1%, muito acima de taxas de juros de referência no mercado usada nesta análise de 16% ao ano. A relação benefício/custo indica que para cada R\$ 1,00 investido na pesquisa, gera-se um benefício econômico de R\$ 74,08. O VPL de R\$ 159,80 milhões confirma a viabilidade econômica do investimento, que remunera todo o montante investido na pesquisa à taxa de 16% ao ano e ao final de 12 anos retorna este valor. Estes indicadores seriam melhorados se adicionasse os ganhos da indústria na análise. Todavia, optou-se por fazer esta avaliação separadamente, tendo em vista que os ganhos do produtor não estão isolados para o efeito de adoção do bioinsumo, como já explicado anteriormente.

Observa-se que os fluxos de benefícios obtidos pela indústria são suficientes para pagar todo o investimento feito na pesquisa nas condições estabelecidas nesta análise. Tendo como referência uma taxa mínima de atratividade (TMA) de 16% a.a., a TIR de 17,7% indica a viabilidade do investimento por ser superior à TMA. A relação benefício/custo de 1,09 (>1) também confirma este resultado. Por fim, tem-se um VPL positivo da ordem de R\$ 219.325,11 indicando que ao final de 12 anos de produção, se recupera todo o capital investido remunerado à taxa de 16% e ainda retorna o valor do VPL.

3.2. Impactos ecológicos e socioambientais do biofertilizante (AMBITEC-Agroenergia)

Na Tabela 6 são apresentados os impactos ecológicos do biofertilizante, no aspecto de eficiência tecnológica.

O Critério “Uso de Insumos Agrícolas e Recursos” foi avaliado com coeficiente de impacto (CI) de 3,75, em razão da expectativa de que o biofertilizante formulado com extrato concentrado de cianobactéria, em mistura com macro e micronutrientes, proporcione ganho de produtividade a cultura. Com isso, há a expectativa de redução do uso de fertilizantes químicos. Com a expectativa de ganho de produtividade à cultura, não haverá a necessidade de aumento da área produzida, contribuindo assim, para o efeito poupa-terra. Espera-se também que o biofertilizante proporcione à planta maior resistência ao estresse hídrico, contribuindo para a redução no consumo de água (Tabela 6).

Com relação ao critério “Uso de Insumos Veterinários e Alimentação Animal”, por se tratar de um biofertilizante, entendeu-se que não há relação entre esse critério e a solução tecnológica em questão.

O critério “Uso de Insumos e Recursos Industriais” foi avaliado com CI -3,25. Isso se deveu ao fato de que para a produção da biomassa da cianobactéria são necessários reagentes

intermediários e consumo significativo de água. Porém, 80% da água de cultivo pode ser reutilizada no próprio sistema de produção e também ser utilizada para a fabricação do produto, atenuando o efeito deste indicador.

Tabela 6. Impactos ecológicos – aspecto eficiência tecnológica.

CrITÉRIOS	Se aplica (Sim/Não)	Coefficiente de impacto (*)
1. Uso de Insumos Agrícolas e Recursos	Sim	3,75
2. Uso de Insumos Veterinários e Alimentação Animal	Não	-
3. Uso de Insumos e Recursos Industriais	Sim	-3,25
4. Consumo de Energia	Sim	2,50
5. Geração Própria, Aproveitamento, Reuso e Autonomia na Área Agrícola	Não	-
6. Geração Própria, Aproveitamento, Reuso e Autonomia na Área Industrial	Sim	9,00
7. Emissões à atmosfera	Não	-
8. Qualidade do Solo	Sim	8,75
9. Qualidade da Água	Sim	-0,20
10. Conservação da Biodiversidade	Não	-
11. Recuperação Ambiental	Sim	1,00

* Avaliado pelo Pesquisador responsável pelo desenvolvimento da solução tecnológica (avaliação *ex ante*).

O critério “Consumo de Energia” foi avaliado com CI de 2,50. Foi considerado que a solução tecnológica em questão promove grande redução no consumo de combustíveis fósseis, pois no processo de cultivo, o CO₂ atmosférico é capturado e incorporado à biomassa da cianobactéria, o que contribui para a redução desse gás de efeito estufa. Além disso, em comparação com o produto importado atualmente disponível no mercado, a solução tecnológica em questão é mais vantajosa, pois para a importação do produto há uma pegada alta de consumo de combustíveis fósseis para o seu transporte. Com a perspectiva de adoção dessa solução tecnológica, a importação da solução tecnológica atualmente disponível no mercado poderá diminuir, o que contribuirá para a redução do consumo de combustíveis fósseis, com impactos econômicos favoráveis na balança comercial do Brasil. Considerou-se moderada redução no consumo de biocombustíveis, pois os combustíveis usados na importação da solução tecnológica têm uma porcentagem de biodiesel. Para a produção do biofertilizante há alto consumo de eletricidade. Com a possibilidade de adoção de um sistema de energia renovável, como um sistema fotovoltaico, não haverá consumo de eletricidade.

Quanto ao critério “Geração Própria, Aproveitamento, Reuso e Autonomia na Área Agrícola” entendeu-se que não há relação entre esse critério e a solução tecnológica em questão.

Foi atribuído coeficiente de impacto de 9,0 ao critério “Geração Própria, Aproveitamento, Reuso e Autonomia na Área Industrial”, pois se considerou que a solução tecnológica tem potencial para contribuir no aumento da recuperação de componentes dos gases de exaustão, caso o empreendedor adote um sistema de aproveitamento do CO₂ da indústria no cultivo da cianobactéria para a produção do biofertilizante. Também foi considerado potencial aumento no reaproveitamento e reuso de água, caso o empreendedor adote o reaproveitamento e reuso de água do cultivo no seu próprio sistema de produção.

Considerou-se que não há relação entre o critério “Emissões à atmosfera” e a solução tecnológica em questão.

O alto coeficiente de impacto de 8,75 obtido no critério “Qualidade do Solo” explica-se em razão de o biofertilizante em questão conter fitohormônios em mistura com macro e

micronutrientes, que promove aumento do porte da planta, gerando mais matéria orgânica para o solo. O aumento de matéria orgânica, por sua vez, promove a proteção do solo, fazendo com que ocorra uma diminuição da perda de nutrientes. O aumento do porte da planta na parte aérea é acompanhado pelo aumento do sistema radicular, agregando mais ao solo e diminuindo tanto a perda de nutrientes quanto os danos de compactação.

O critério “Qualidade da Água” foi avaliado com CI 0,20. Considerou-se aumento moderado no uso da água além da disponibilidade temporária, caso seja usada a água da propriedade ou da fábrica para o cultivo da cianobactéria para a produção do biofertilizante em período seco ou de escassez hídrica, aumentando o impacto nesse indicador.

Quanto ao critério “Conservação da Biodiversidade”, considerou-se que não há relação entre esse critério e a solução tecnológica.

O critério “Recuperação Ambiental” foi avaliado com CI 1,00. Considerou-se que o biofertilizante contribuirá na recuperação de solos degradados e ecossistemas degradados, promovendo aumento da matéria orgânica, aumento de nutrientes no solo e crescimento de raízes e melhoria na microbiota local.

3.3. Impactos socioambientais do biofertilizante (AMBITEC-Agroenergia)

Na Tabela 7 são apresentados os impactos socioambientais do biofertilizante com relação ao aspecto consumidor.

Tabela 7. Impactos socioambientais – aspecto respeito ao consumidor.

Crítérios	Se aplica (Sim/Não)	Coefficiente de impacto (*)
12. Qualidade do produto	Sim	6,25
13. Capital social	Sim	5,00
14. Bem-estar e saúde animal	Não	
15. Mudança no uso direto da terra	Sim	1,00
16. Mudança no uso indireto da terra	Sim	1,00

* Avaliado pelo Pesquisador responsável pelo desenvolvimento da solução tecnológica (avaliação *ex ante*).

O critério “Qualidade do produto” foi avaliado com CI 6,25. Considerou-se moderado aumento no indicador “Disponibilidade de fontes de insumos” e grande aumento no indicador “Idoneidade dos fornecedores de insumos”, uma vez que a solução tecnológica em questão é um biofertilizante com composição de fitohormônios conhecida, associado a macro e micronutrientes, disponibilizando mais uma fonte de insumos.

O critério “Capital social” foi avaliado com CI 5,0, pois a solução tecnológica inclui o desenvolvimento de uma base de conhecimento que deve ser transferida para as partes interessadas numa linguagem acessível.

Por se tratar de um biofertilizante, o critério “Bem-estar e saúde animal” não se aplica neste contexto.

Quanto ao critério “Mudança no uso direto da terra” avaliado com CI 1,00, uma vez que há a expectativa de a solução tecnológica proporcionar ganho de produtividade a cultura, contribuindo para o excedente produtivo. O aumento da produtividade proporciona aumento na fixação de carbono na biomassa da cultura, contribuindo para os estoques de carbono, além de trazer potenciais benefícios a microbiota do solo.

O critério “Mudança no uso indireto da terra” foi avaliado com CI 1,00, pois espera-se que a solução tecnológica proporcione aumento na produtividade, evitando a competição de

área para a produção de alimentos e diminuindo a pressão por deslocamento sobre áreas não agrícolas.

O critério “Capacitação” recebeu nota 2,25, pois será necessário promover capacitações local de curta duração, a nível básico e técnico, para uso da solução tecnológica (Tabela 8).

O critério “Qualificação e oferta de trabalho” recebeu CI 0,17, pois a solução tecnológica demandará a contratação de perfil técnico de nível médio por empresas para o trabalho temporário, para fornecimento de serviço especializado para o uso da solução tecnológica na cultura.

Considerou-se que não há relação entre o critério “Qualidade do emprego” e o biofertilizante.

Tabela 8. Impactos socioambientais – aspecto trabalho/emprego.

Critérios	Se aplica (Sim/Não)	Coefficiente de impacto (*)
17. Capacitação	Sim	2,25
18. Qualificação e oferta de trabalho	Sim	0,17
19. Qualidade do emprego/ocupação	Não	

* Avaliado pelo Pesquisador responsável pelo desenvolvimento da solução tecnológica (avaliação *ex ante*).

Quanto ao aspecto renda, o critério “Geração de Renda” foi avaliado com CI 3,75 pois a solução tecnológica promove a garantia de obtenção e montante, uma vez que há expectativa de aumento de produtividade da cultura. Também se espera que a solução tecnológica proporcione à planta resistência ao estresse hídrico, o que contribui para a estabilidade da renda em situação de eventual risco de crise hídrica (Tabela 9).

O critério “Diversidade de Fontes de Renda” com CI de 4,25, pois o aumento da produtividade da cultura proporcionado pelo biofertilizante favorece o aumento da fonte de renda agropecuária no estabelecimento. Também se entendeu que a solução tecnológica possibilita aumento na diversidade de fonte de renda para os fornecedores de insumos na comercialização da solução tecnológica. Considerou-se que, se a solução tecnológica for disponibilizada para um revendedor, isso irá favorecer oportunidades de trabalho fora do estabelecimento. A solução tecnológica também contribui para aumentar a ramificação empresarial, caso a empresa que a adote queira criar mais um ramo para venda da solução tecnológica.

O critério “Valor de propriedade” foi avaliado com CI 2,25. A perspectiva de aumento na melhoria dos indicadores de qualidade de solo proporcionada pela solução tecnológica, conforme apresentado anteriormente, tem como consequência o aumento na conservação de recursos naturais, o que contribui para o aumento da valorização da propriedade.

O critério “Produtividade” foi avaliado com CI 1,75, pois espera-se que a solução tecnológica proporcione aumento de produção por unidade de área e consequentemente aumento da lucratividade por unidade de área.

Tabela 9. Impactos socioambientais – aspecto renda.

Critérios	Se aplica (Sim/Não)	Coefficiente de impacto (*)
20. Geração de Renda do estabelecimento	Sim	3,75
21. Diversidade de Fontes de Renda	Sim	4,25
22. Valor da propriedade	Sim	2,25
23. Produtividade	Sim	1,75

* Avaliado pelo Pesquisador responsável pelo desenvolvimento da solução tecnológica (avaliação *ex ante*).

Na Tabela 10 são apresentados os impactos socioambientais com relação ao aspecto saúde.

Tabela 10. Impactos socioambientais – aspecto saúde.

Critérios	Se aplica (Sim/Não)	Coefficiente de impacto (*)
24. Saúde ambiental e pessoal	Não	1,75
25. Segurança e saúde ocupacional		
26. Segurança alimentar		1,00

* Avaliado pelo Pesquisador responsável pelo desenvolvimento da solução tecnológica (avaliação *ex ante*).

Considerou-se que a solução tecnológica proporciona melhoria no critério “Saúde ambiental e pessoal”, avaliado com CI 1,75, em razão da captura de CO₂ atmosférico na biomassa da cianobactéria e a redução do uso de combustíveis fósseis, em comparação com a solução tecnológica disponível atualmente no mercado, impactando não apenas a nível local da propriedade, mas também o entorno.

Quanto ao critério “Segurança e saúde ocupacional”, os indicadores “Periculosidade”, “Ruído”, “Vibração” e “Calor/Frio” não se aplicam. Os indicadores “Umidade”, “Agentes químicos” e “Agentes Biológicos” foram considerados inalterados.

A segurança alimentar avaliada com CI 1,00 é explicada pois um dos benefícios do biofertilizante é o aumento da produtividade da cultura. Além disso, o biofertilizante proporcionará a planta o fornecimento ideal de nutrientes, aumentando a produção e melhorando a qualidade do alimento.

Quanto ao critério “Integração produtiva no conceito de biorrefinaria/Ecopark”, considerou-se que não há relação entre o indicador “Flexibilidade do uso de biomassa” e a solução tecnológica. Os demais indicadores foram considerados inalterados (Tabela 11).

O alto CI de 10,00 para o critério “Disposição de resíduos” é explicado pois a água usada no cultivo pode ser reaproveitada na produção e os resíduos de biomassa da cianobactéria, produzidos em baixa quantidade, podem ser destinados para manutenção da estrutura do solo.

O critério “Gestão de insumos químicos” foi considerado inalterado.

O critério “Relacionamento institucional” recebeu CI de 2,50, pois a solução tecnológica vai demandar utilização de assistência técnica e capacitação contínua do técnico.

Tabela 11. Impactos socioambientais – aspecto gestão e administração.

Critérios	Se aplica (Sim/Não)	Coefficiente de impacto (*)
27. Integração produtiva no conceito de biorrefinaria/Ecopark	Não	10,00
28. Disposição de resíduos	Sim	
29. Gestão de insumos químicos	Não	
30. Relacionamento institucional	Sim	2,50

* Avaliado pelo Pesquisador responsável pelo desenvolvimento da solução tecnológica (avaliação *ex ante*).

O índice de impacto ambiental de 1,96 indica que a solução tecnológica apresenta aspectos relevantes para contribuir com a sustentabilidade do processo produtivo da soja no Brasil (Tabela 12). Neste sentido, pode-se destacar o aspecto de geração própria, aproveitamento, reuso e autonomia na área industrial, sobretudo no que diz respeito à

recuperação de componentes dos gases de exaustão e reaproveitamento e reuso da água. A qualidade do solo também foi um aspecto importante na composição do índice de impacto ambiental.

Com relação ao índice de impacto socioeconômico, sendo o índice de impacto econômico avaliado em 1,97 e de impacto social em 2,23 (Tabela 12), considera-se que a solução tecnológica contribui positivamente para melhoria no desempenho econômico e social da atividade à qual ela se integra, no caso desta avaliação, à produção de soja. Neste sentido destaca-se o aspecto relacionado à disposição de resíduos, no que diz respeito ao reaproveitamento e destinação final, seguido do aspecto relativo à qualidade do produto, especialmente contribuindo para melhorar a idoneidade dos fornecedores de insumos em um contexto de respeito ao consumidor.

Tabela 12. Índices parciais de Impacto da solução tecnológica.

Tipo de Impacto	Média Tipo 1
Índice de Impacto Econômico	1,97
Índice de Impacto Social	2,23
Índice de Impacto Ambiental	1,96

4. Considerações finais

Com base nas avaliações de impactos realizadas no presente trabalho, conclui-se que a solução tecnológica em desenvolvimento tem grande potencial econômico e ambiental, além de aspectos sociais relacionados à saúde humana relevantes.

Isso porque o biofertilizante formulado com extrato concentrado de biomassa de espécie de cianobactéria selecionada da biodiversidade brasileira será capaz de promover o melhor aproveitamento dos nutrientes para o melhor desenvolvimento da planta. Em condições adversas de clima, ataque de pragas ou limitação de nutrientes essenciais, esse aporte extra favorece o equilíbrio no desenvolvimento da planta, o que resulta em aumento de produtividade.

Experimentos em campos experimentais demonstraram um aumento de 600 kg por hectare de soja, quando comparado a um cultivo nas mesmas condições, porém sem o uso do biofertilizante. Este diferencial foi projetado para um nível de adoção da solução tecnológica no campo correspondente a 1% da área de soja no Brasil, na safra 2023/2024. O impacto econômico atribuído à Embrapa foi estimado em R\$ 58.924.263,88 ao ano. Para a indústria, há ganho com a produção própria do biofertilizante, em substituição ao produto importado, estimado em R\$ 899.836,74 ao ano para este mesmo nível de adoção da solução tecnológica.

A análise de rentabilidade do investimento em P&D indicou que os fluxos de benefícios econômicos gerados pela solução tecnológica pagam os investimentos realizado em seu desenvolvimento, ou seja, o investimento em P&D mostrou-se viável com TIR de 17,7%, relação benefício custo de R\$1,09 e VPL de R\$ 219.325,11, considerando apenas os ganhos da indústria com a substituição de importação.

Com relação aos impactos socioeconômicos e ambientais, avaliados por meio da metodologia Ambitec-Agroenergia, verificou-se que a solução tecnológica apresenta impactos importantes, em termos sociais, econômicos e ambientais, que contribuem para maior sustentabilidade da cadeia produtiva da soja no Brasil, graças ao aumento da eficiência do uso de fertilizantes pelas plantas.

Os próximos passos no desenvolvimento desta solução tecnológica referem-se à continuidade das avaliações em condições controladas e avaliações de campo nos próximos dois anos, com a aplicação do biofertilizante em propriedades privadas, a fim de medir o efeito em escala de produção de maior relevância, para a entrega do produto acabado e testado. A

avaliação do efeito isolado do extrato puro também é algo a ser realizado oportunamente. Por fim, pode-se avançar no desenvolvimento futuro desta solução tecnológica, no sentido de avaliar se o estímulo fisiológico do biofertilizante induz resistência das plantas a algumas pragas e doenças. Estes testes ainda não foram realizados, mas caso se concretizem, poderão ser objeto de avaliação de impacto futuramente.

5. Referências

- AVILA, A.F.D., RODRIGUES, G.S., VEDOVOTO, G.L. (eds.). **Avaliação dos impactos de tecnologias geradas pela Embrapa: metodologia de referência**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 189 p.
- BORSARI, A. **Bioinsumos: Mercado de R\$ 17 bilhões até 2030**. Artigo de opinião. Vozes do Agro. Globo Rural. Disponível em: <https://globo rural.globo.com/opinia o/vozes-do-agro/noticia/2023/05/bioinsumos-mercado-de-r-17-bilhoes-ate-2030.gh tml>. Acesso em: 22 Fev. 2024.
- BORSARI, A.; DIAS, R. **Biodefensivos. Mercado Brasileiro, Safra 2021/22**. Sumário Executivo. S&P Commodity Insights e CropLife Brasil. 26 p. 2022.
- EMBRAPA. **Novo bioinsumo à base de algas melhora crescimento e defesa das plantas**. Notícias. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/60299918/novo-bioinsumo-a-base-de-algas-melhora-crescimento-e-defesa-das-plantas>. Acesso em: 22 Fev. 2024.
- FERREIRA, D.; SOUZA JUNIOR, J.R. de C. **Agropecuária. Comércio exterior do agronegócio: setembro de 2023**. Carta Conjunta n. 61, nota de conjuntura 4, 4 trimestre de 2023. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. P. 7. 2023.
- JAYSWAL, A.; LI, X.; ZANWAR, A.; LOU, H.H.; HUANG, Y. A sustainability root cause analysis methodology and its application. **Computers & Chemical Engineering** 35(2), pp. 2786-2798, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2011.05.004>
- RODRIGUES, G.S. **Avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária: Ambitec-Agro**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2003. 95 p.
- RODRIGUES, G. S. **Avaliação de impactos socioambientais de tecnologias na Embrapa**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, Documentos 99, 41 p. 2015.
- SOUZA, D. T. de, CARDOSO, A. N., ONOYAMA, M. M., SANTOS, G. S., BRASIL, B. dos S. A. F., CAPDEVILLE, G. de. Avaliação de Impacto Socioeconômico e Ambiental de Inovações Tecnológicas no Contexto de Biorrefinarias: o Sistema AmbitecBioenergia. Documentos. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, v. 23, 2017. 34p.
- TORIBIO, A.J.; SUÁREZ-ESTRESSA, F.; JURADO, M.M.; LÓPEZ, M.J.; LÓPEZ-GONZÁLEZ, J.A.; MORENO, J. Prospection of cyanobacteria producing bioactive substances and their application as potential phytostimulating agents. **Biotechnology Reports**, v. 26, e00449, 2020. DOI: 10.1016/j.btre.2020.e00449.
- VAISHAMPAYAN, A.; SINHA, R.P.; HÄDER, D.-P.; DEY, T.; GUPTA, A.K.; BHAN, U.; RAO, A. L. Cyanobacterial biofertilizers in rice agriculture. **The Botanical Review**, v. 67, n. 4, p. 453-516, 2001. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/4354403>. Acesso em: 22 Fev. 2024.
- WONG, W.S.; TAN, S.N.; GE, L.; CHEN, X.; YONG, J.W.H. The importance of phytohormones and microbes in biofertilizers. 2015. In: Maheshwari, Dinesh K. (ed.). **Bacterial Metabolites in Sustainable Agroecosystem**, p.105-158. Cham: Springer. DOI 10.1007/978-3-319-24654-3_6.