

Avaliação de Impacto Socioeconômico e Ambiental de Inovações Tecnológicas no Contexto de Biorrefinarias: o Sistema Ambitec-Bioenergia



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agroenergia
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 23

Avaliação de Impacto Socioeconômico e Ambiental de Inovações Tecnológicas no Contexto de Biorrefinarias: o Sistema Ambitec-Bioenergia

Daniela Tatiane de Souza
Alexandre Nunes Cardoso
Marcia Mitiko Onoyama Esquiagola
Gilmar Souza Santos
Bruno dos Santos Alves Figueiredo Brasil
Guy de Capdeville

Embrapa Agroenergia

Parque Estação Biológica (PqEB), s/nº.
Ed. Embrapa Agroenergia.
Caixa Postal 40315.
CEP 70770-901, Brasília, DF.
Fone: + 55 (61) 3448-1581
Fax: + 55(61)3448-1589www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê Local de Publicações

Presidente: *Alexandre Alonso Alves*
Secretária-executiva: *Marcia Mitiko Onoyama Esquiagola*
Membros: *André Pereira Leão, Bruno Galvêas Laviola, Emerson Leo Schultz, Luciane Chedid Melo Borges, Maria Iara Pereira Machado Rosana Falcão, Sílvia Belém Gonçalves.*

Supervisão editorial e revisão de texto: *Luciane Chedid Melo Borges*
Normalização bibliográfica: *Maria Iara Pereira Machado*
Editoração eletrônica: *Maria Goreti Braga dos Santos*
Foto da capa: *Steve Jurvetson (Wikimédia)*

1ª edição

Publicação digitalizada (2017)

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Agroenergia

Avaliação de impacto socioeconômico e ambiental de inovações tecnológicas no contexto de biorrefinarias: o Sistema Ambitec-Bioenergia / Daniela Tatiane de Souza ... [et al.]. – Brasília, DF : Embrapa Agroenergia, 2017.

34 p. : il. – (Documentos ; v. 23).

Disponível em: <http://www.embrapa.br/agroenergia/publicacoes>

1. Biorrefinarias - Brasil. 2. Ambitec. I. Souza, Daniela Tatiane. II. Série.

CDD 333.79

Autores

Daniela Tatiane de Souza

Economista, doutora em Engenharia de Produção, analista da Embrapa Gestão Territorial, Campinas, SP.

Alexandre Nunes Cardoso

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.

Marcia Mitiko Onoyama Esquiagola

Engenheira de alimentos, doutora em Engenharia de Produção, analista da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.

Gilmar Souza Santos

Economista, doutor em Engenharia de Produção, pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA.

Bruno dos Santos Alves Figueiredo Brasil

Biólogo, doutor em Ciências Biológicas (Microbiologia), pesquisador da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.

Guy de Capdeville

Agrônomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.

Apresentação

Este trabalho aborda a elaboração de um conjunto de critérios e indicadores para a avaliação de impactos voltados para a cadeia produtiva da bioenergia. Trata-se de uma modificação do Sistema Ambitec-Agro já desenvolvido pela Embrapa. Além de permitir a adoção de critérios consistentes para analisar o impacto das tecnologias desenvolvidas e em desenvolvimento pela Embrapa, esse conjunto de indicadores favorece uma melhor avaliação dos impactos de inovações voltadas à produção de bioenergia em termos ambientais/ecológicos e socioeconômicos.

Guy de Capdeville

Chefe-Geral da Embrapa Agroenergia

Sumário

Avaliação de Impacto Socioeconômico e Ambiental de Inovações Tecnológicas no Contexto de Biorrefinarias: o Sistema Ambitec-Bioenergia	9
Introdução.....	9
Metodologia – o Sistema Ambitec-Bioenergia.....	12
Análise conjunta do impacto ex-ante de sustentabilidade de 10 tecnologias do portfólio da Embrapa Agroenergia.....	24
Considerações Finais.....	30
Referências.....	32

Avaliação de Impacto Socioeconômico e Ambiental de Inovações Tecnológicas no Contexto de Biorrefinarias: o Sistema Ambitec-Bioenergia

Daniela Tatiane de Souza

Alexandre Nunes Cardoso

Marcia Mitiko Onoyama Esquiagola

Gilmar Souza Santos

Bruno dos Santos Alves Figueiredo Brasil

Guy de Capdeville

Introdução

O esgotamento das reservas fósseis no médio e longo prazo tem influenciado a busca por fontes de energia sustentáveis. Meadows et al. (1973) e um estudo dos Estados Unidos (2015) apontam os efeitos negativos que a depleção dos recursos naturais pode ocasionar sobre a economia e o meio ambiente. Desse modo, os países têm procurado adotar padrões de consumo energético baseado em recursos renováveis, muitos deles viabilizando novas fontes de energia proveniente da biomassa.

Nesse cenário, a cadeia produtiva da bioenergia ocupa um papel relevante. O uso dos biocombustíveis, bioeletricidade, biomateriais e produtos químicos renováveis obtidos a partir da biomassa despertam interesse crescente em vários países, por minimizar os impactos ambientais/ecológicos e socioeconômicos em cadeias distintas. Não só os produtos provenientes desse setor possibilitam esses ganhos,

mas muitas tecnologias em desenvolvimento são capazes de promover impactos positivos dinamizadores.

A multifuncionalidade exigida dos processos produtivos agrícolas, seja para produção de alimento, energia, fibras, seja para outras finalidades, requer estudos que envolvam a aplicação de abordagens transversais e considerem os respectivos impactos ambientais, sociais e econômicos.

Este trabalho tem o objetivo de apresentar um ferramental metodológico multicritério, voltado para a avaliação de impactos (ex-ante e ex-post) de inovações tecnológicas bioenergéticas. Sistemas de avaliação de impactos vêm sendo desenvolvidos na Embrapa para analisar a adoção de inovações tecnológicas agropecuárias **Ambitec-Agro** (RODRIGUES et al., 2010) e para a gestão ambiental de atividades rurais **Apoia-NovoRural** (RODRIGUES et al., 2010). A abordagem metodológica apresentada neste trabalho foi formulada e aprimorada tendo como base o sistema **Ambitec-Agro** (RODRIGUES et al., 2003; 2010) no decorrer de 2014 e 2015. Em 2016, foram realizadas análises ex-ante focadas em 10 tecnologias do portfólio de inovações e projetos de pesquisa e desenvolvimento da Embrapa Agroenergia (Brasília, DF), cujos resultados balizam o estudo de aplicabilidade do conjunto de critérios e indicadores. A avaliação ex-ante foi realizada com tecnologias que ainda se encontram em escala laboratorial e, por isso, ainda não foram transferidas para a sociedade ou mercado. Contudo, os mesmos indicadores são adequados para a realização de análises ex-post, a serem realizadas em etapas subsequentes de validação metodológica.

Avaliações de impactos ambientais, sociais e econômicos constituem procedimentos para a previsão, a análise e a mitigação dos efeitos ambientais e socioeconômicos de projetos, planos e políticas de desenvolvimento que resultem em alterações da qualidade dessas dimensões (RODRIGUES, 1998). Os distintos métodos de avaliação de impactos apresentam especificidades, com respectivas vantagens e desvantagens, podendo-se assumir que a sua escolha depende dos objetivos e alcance da avaliação, da interação entre a fonte de impacto e o meio receptor, bem como dos distintos atores sociais envolvidos.

O desenho e a aplicação sistemática de ferramentas de avaliação de impacto em tecnologias agroindustriais têm recebido atenção dos National Institutes of Agricultural Research (NIARs) de países da América Latina, atestada por encontros científicos realizados (PUIGNAU, 1998) e por pesquisas cooperativas sobre o assunto (RODRIGUES et al., 1998). Reconhecendo que avaliações de impactos devam ser realizadas desde a concepção e planejamento até a implementação tecnológica (HAQUE, 1991), um método para a avaliação ex-ante de impacto ambiental de tecnologias agrícolas foi desenvolvido e aplicado a um grande conjunto de projetos de pesquisa nos NIARs (RODRIGUES et al., 1998), com especial referência à experiência da Embrapa (RODRIGUES, 2015). Além da aplicação prática, esse método ressalta a relevância de os pesquisadores considerarem tanto aspectos conceituais quanto metodológicos em suas propostas de investigação.

Seguindo-se à implantação de ferramentas de avaliação de impactos de inovações tecnológicas agropecuárias, avanços metodológicos e abordagens alternativas têm sido propostos em âmbito institucional. Por exemplo, uma importante ampliação de escopo do sistema Ambitec-Agro foi proposta para incluir o conceito de “ciclo de vida” nas avaliações de impactos de inovações tecnológicas agroindustriais (FIGUEIRÊDO et al., 2007; 2008), bem como para levar em consideração a vulnerabilidade dos ambientes nos quais as inovações são adotadas (FIGUEIRÊDO et al., 2010). Avanços metodológicos relacionados com inovações em temas específicos, como biotecnologia e nanotecnologia, foram obtidos (JESUS-HITZSCHKY, 2007) em uma análise de sustentabilidade de sistemas de produção agropecuária (FERREIRA, 2007). Destaca-se também a contabilidade ambiental em múltiplas escalas, com base em síntese emergética (BARROS et al., 2009; RODRIGUES et al., 2002), e a valoração e certificação de serviços ambientais (MEDEIROS et al., 2007).

O presente documento se divide em quatro partes, além da presente Introdução. A segunda parte descreve o método aprimorado pela Embrapa Agroenergia (Brasília, DF) e Embrapa Meio Ambiente (Jaguariúna, SP), denominado Ambitec-Bioenergia. A terceira parte

apresenta a análise conjunta do impacto ex-ante de dez tecnologias em desenvolvimento pela Embrapa Agroenergia e a última seção trata das considerações finais.

Metodologia – o Sistema Ambitec-Bioenergia

O sistema de avaliação de impactos de inovações tecnológicas bioenergéticas (Ambitec-Bioenergia) consiste de módulos integrados com indicadores ambientais (ecológicos) e socioeconômicos voltados à cadeia da bioenergia, a exemplo das biorrefinarias.

Trata-se de um sistema composto por um conjunto de matrizes de ponderação. Em seu total, são sete aspectos considerados na avaliação do desempenho socioambiental das inovações tecnológicas na área de bioenergia, sendo dois temas na dimensão dos impactos ecológicos (Eficiência Tecnológica e Qualidade Ambiental) e cinco outros na dimensão de impactos socioeconômicos (Processo Produtivo, Emprego, Renda, Saúde e Gestão e Administração) (Figura 1).

Cada um desses aspectos é composto por um conjunto de critérios, organizados em matrizes de ponderação automatizadas, nas quais os indicadores são valorados com coeficientes de alteração, conforme levantamento de dados junto aos pesquisadores da Embrapa envolvidos nos projetos de desenvolvimento tecnológico (avaliação ex-ante) e aos produtores adotantes da tecnologia (avaliação ex-post). Neste trabalho, entende-se como avaliação ex-ante aquelas realizadas antes de a tecnologia ser transferida à sociedade e, por avaliação ex-post, aquelas análises feitas após a tecnologia ser transferida e adotada no meio produtivo. Assim, no caso da análise ex-ante, trata-se de uma etapa de planejamento e programação de pesquisa, bem como de preparação para as futuras etapas de validação e transferência.

Nesse sentido, a delimitação do escopo de análise (por exemplo, a ênfase em um único setor, cadeia produtiva ou região de adoção) é fundamental para as avaliações de impactos, já que as alterações

resultantes da adoção de uma determinada tecnologia podem não somente limitar-se a um dado setor, mas apresentar efeitos que se difundem para uma cadeia como um todo ou para uma ampla região.

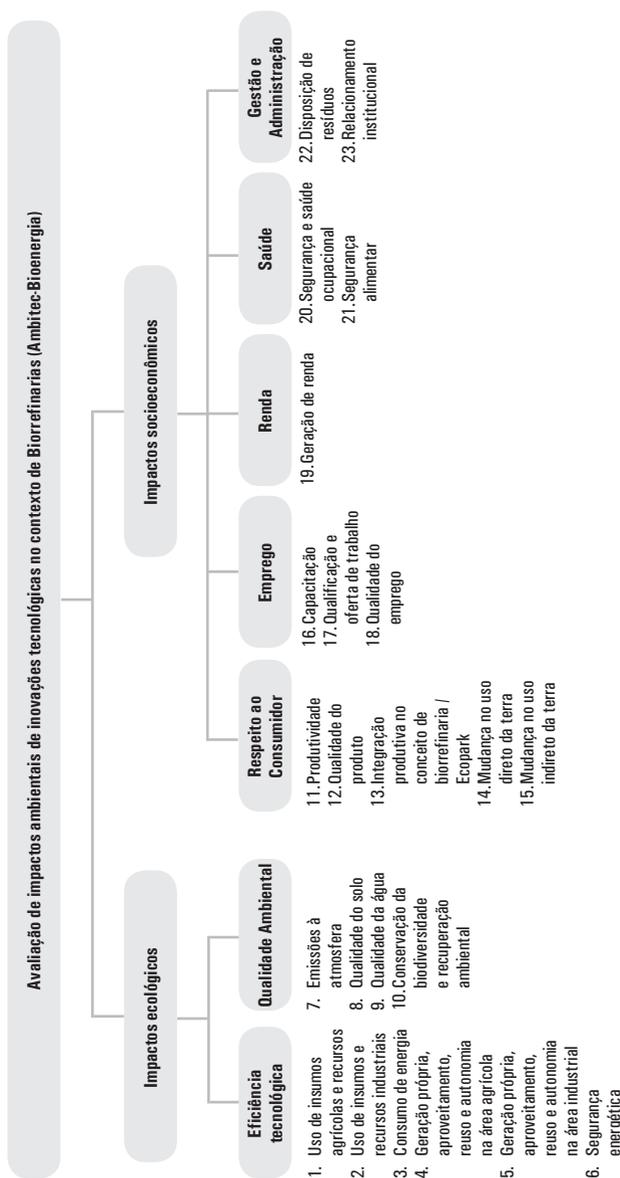


Figura 1. Estrutura do Conjunto de Dimensões, Aspectos e Critérios do Sistema Ambitec-Bioenergia.

A Tabela 1 mostra os coeficientes de alteração propostos para expressar os efeitos esperados em avaliações de impacto com o sistema Ambitec-Bioenergia. Os coeficientes de alteração representam a direção e a magnitude dos efeitos da adoção tecnológica na atividade produtiva, conforme verificação de campo, conhecimento do pesquisador/produtor no contexto específico de manejo, bem como na situação particular do estabelecimento agroindustrial/rural onde ocorre a adoção. As matrizes de ponderação do sistema Ambitec-Bioenergia incluem ainda dois fatores de ponderação, que se referem à importância do indicador na composição dos critérios de impacto e à escala de ocorrência dos efeitos observados em campo.

Tabela 1. Impacto da atividade agroindustrial/rural e coeficientes de alteração.

Impacto da atividade sob as condições de manejo específicas do estabelecimento rural	Coefficiente de alteração do indicador
Grande aumento no indicador (> 25%)	+3
Moderado aumento no indicador (\leq 25%)	+1
Indicador inalterado	0
Moderada diminuição no indicador (\leq 25%)	-1
Grande diminuição no indicador (> 25%)	-3

A ponderação da importância do indicador para a formação do critério de impacto da tecnologia é uma etapa de normalização, devido aos diferentes números de indicadores que podem compor os vários critérios. Os valores de importância dos indicadores, expressos nas matrizes de ponderação, podem ser alterados pelos usuários do sistema para melhor refletir situações específicas de avaliação. Desse modo, pode-se enfatizar (ou desconsiderar) alguns dos indicadores, desde que o total dos valores de importância dos indicadores para um dado critério seja igual à unidade (+1 ou -1, a depender da direção do impacto, se positivo ou negativo).

Por sua vez, a ponderação da escala da ocorrência explicita o espaço no qual ocorre o impacto da tecnologia considerada, podendo ser:

- **Pontual**, quando o impacto da tecnologia se restringe ao campo cultivado, à instalação ou recinto de criação ou à unidade produtiva agroindustrial na qual esteja ocorrendo a alteração no indicador.
- **Local**, quando o impacto se estende para além do pontual, porém confinado aos limites do estabelecimento agroindustrial ou rural.
- **No entorno**, quando o impacto observado extrapola os limites do estabelecimento agroindustrial ou rural, afetando áreas vizinhas.

O fator de ponderação da escala da ocorrência implica a multiplicação dos coeficientes de alteração dos indicadores por valores predeterminados, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Fatores de ponderação relativos à escala da ocorrência dos impactos.

Escala espacial de ocorrência dos impactos sobre os indicadores	Fatores de ponderação
Pontual: campo cultivado ou recinto	1
Local: o estabelecimento rural ou agroindustrial	2
Entorno: além dos limites do estabelecimento	5

A inserção desses coeficientes de alteração dos indicadores diretamente nas matrizes e sequencialmente nas planilhas das dimensões de impactos ecológicos e impactos socioeconômicos resulta na expressão automática do índice de impacto da tecnologia, ponderado pelos fatores de escala da ocorrência e importância dos indicadores. Os resultados finais da avaliação são expressos graficamente na planilha Índices de Impacto. Finalmente, os indicadores são considerados em seu conjunto para composição do Índice de Impacto da Atividade. A composição desse índice envolve nova ponderação, da importância dos critérios e dos pesos relativos aos 23 critérios e que podem ser alterados pelo usuário do sistema.

A Figura 2 ilustra um exemplo de aplicação do sistema Ambitec-Bioenergia.

Que alterações foram observadas nas emissões de poluentes atmosféricos?						
Emissões à Atmosfera		Variáveis de emissões à atmosfera				Averiguação fatores de ponderação
		Gases de efeito estufa	Material particulado / Fumaça	Odores	Ruídos	
Fatores de ponderação k		-0,4	-0,4	-0,1	-0,1	-1
Escala da ocorrência =	Não se aplica					
	Pontual	1				
	Local	2		-1	0	
	Entorno	5				
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)		6	0	0,2	0	6,20

Figura 2. Exemplo de Matriz de Ponderação do Sistema Ambitec-Bioenergia para os Indicadores do Critério de Emissões de Poluentes Atmosféricos.

Critérios e Indicadores para Avaliação de Impactos de Tecnologias na área de Bioenergia

A dimensão relativa aos impactos da atividade rural ou tecnologia bioenergética sobre o ambiente é considerada em duas vertentes. A montante do processo produtivo considera o uso de insumos e recursos, enquanto a jusante considera os efeitos da atividade ou tecnologia sobre a qualidade do ambiente, seja devido à emissão de poluentes, seja quanto à conservação e recuperação de habitats.

A dimensão relativa aos impactos socioeconômicos aborda a contribuição da adoção tecnológica ou atividades agroindustriais/rurais para o desenvolvimento local sustentável e para a melhoria contínua dos processos produtivos e de gestão que interferem diretamente no desempenho socioambiental das atividades produtivas em sentido amplo.

A Tabela 4 ilustra os indicadores e critérios utilizados para a avaliação de impacto, com as respectivas definições.

A aplicação do Sistema Ambitec-Agro no contexto da bioenergia resultou na adequação de alguns dos critérios e indicadores e também inserções e supressão de outros em relação ao sistema original. As mudanças ocorreram nos aspectos “eficiência tecnológica”, “respeito ao consumidor” e “gestão e administração”.

Para o aspecto “eficiência tecnológica”, relacionado aos possíveis impactos ambientais, quando aplicado à cadeia da bioenergia, constatou-se que esta inclui não só a produção de biomassa, mas também os insumos necessários ao processamento e transformação dessa biomassa. Nesse sentido, o consumo de energia envolve não somente as atividades agrícolas, mas também as atividades agroindustriais que acabam por gerar resíduos, os quais vão além dos resíduos agrícolas. Tais resíduos apresentam potencial de cogeração de energia e reuso no campo e nas próprias unidades agroindustriais, assim justificando a inclusão de um critério relativo a tais indicadores.

Em relação ao aspecto “respeito ao consumidor”, no âmbito de possíveis impactos socioeconômicos, alguns critérios e indicadores sofreram adequações. A principal mudança ocorreu em razão da inserção do critério “integração produtiva” no conceito de biorrefinarias/ecopark¹. Esse critério e seus respectivos indicadores permitem avaliar os potenciais impactos da adoção de tecnologias e práticas na integração produtiva, segundo conceitos da simbiose industrial. Para o critério “qualidade do produto”, foi proposta a verificação da influência da adoção de tecnologias ou práticas nas características de qualidade dos produtos bioenergéticos, em adaptação aos conceitos da norma de qualidade NBR ISO/IEC 9126, que inclui indicadores de funcionalidade/ confiabilidade, a usabilidade/eficiência e a manutenibilidade / portabilidade. O critério “segurança energética” foi adicionado considerando indicadores dos possíveis impactos que tecnologias na área de bioenergia podem gerar, alterando a disponibilidade e a diversidade de fontes de energia. O critério “qualidade do produto”, por sua vez, foi adaptado visando incluir a influência da adoção de tecnologias ou práticas de produção bioenergéticas nas características

¹ Integração tanto dos processos produtivos dentro de uma mesma empresa quanto entre várias empresas diferentes, que trocam e partilham entre si serviços e materiais.

de qualidade dos produtos gerados. Critérios relacionados à mudança no uso direto da terra e à mudança no uso indireto da terra, respectivamente LUC e ILUC para as siglas em inglês, foram inseridos considerando a importância que vem sendo conferida a esses temas na atualidade.

No que tange ao aspecto gestão e administração, houve uma readequação do critério relativo a resíduos, de forma a abranger uma classificação em termos de resíduos sólidos e líquidos e a exclusão de um critério de gestão de insumos químicos. Essa exclusão se deu em função da existência de parâmetros bastante operacionais, como calibração de equipamentos que não traria grandes avanços para o ferramental desenvolvido.

Tabela 4. Critérios e indicadores para avaliação de impacto ambiental/ecológico e socioeconômico no Sistema Ambitec-Bioenergia.

DIMENSÃO ECOLÓGICA	DEFINIÇÃO
EFICIÊNCIA TECNOLÓGICA	
Uso de insumos agrícolas e recursos	Este critério engloba os insumos adquiridos para a prática agrícola, como pesticidas (analisados segundo o volume das aplicações, a variedade de ingredientes ativos e a toxicidade dos produtos), fertilizantes químicos e condicionadores de solo, além de recursos naturais incorporados ao processo produtivo, como consumo de água (seja aquela incorporada ao produto ou aquela empregada em processamento) e solo em termos de área cultivada ou ocupada na realização da atividade.
Uso de insumos e recursos industriais	Este critério envolve os insumos adquiridos para a produção industrial, como matéria-prima na forma de biomassa (por exemplo, bagaços, madeira e fibras, óleo); gases (CO ₂ , O ₂ , H ₂ , entre outros); catalisadores enzimáticos e microrganismos; catalisadores químicos, solventes e aditivos e a toxicidade dos insumos considerados. Além disso, considera os recursos naturais incorporados ao processo produtivo, porém na etapa industrial de produção, como consumo de água (seja aquela incorporada ao produto ou aquela empregada em processamento) e solo em termos de área ocupada na realização da atividade.

Continua...

Tabela 4. Continuação.

DIMENSÃO ECOLÓGICA	DEFINIÇÃO
Consumo de energia	O consumo de energia por unidade de produto é avaliado segundo necessidade de utilização de combustíveis fósseis, biocombustíveis, biomassa e eletricidade.
Geração própria, aproveitamento, reuso e autonomia na área agrícola	É possível promover a eficiência produtiva via ações voltadas à cogeração de energia, ao aproveitamento de subprodutos e a formas de manejo dirigidas à substituição racional de insumos de fertilidade e controle de pragas e doenças, assim favorecendo a mitigação dos impactos gerados nos três critérios anteriores.
Geração própria, aproveitamento, reuso e autonomia na área industrial	É possível promover a eficiência produtiva via ações voltadas à cogeração de energia, ao aproveitamento de subprodutos, bem como à recuperação de componentes dos gases de exaustão, aproveitamento de resíduos sólidos e reaproveitamento de água, favorecendo a mitigação dos impactos gerados nos critérios de uso de insumos e recursos.
Segurança energética	A adoção de tecnologias e práticas produtivas dirigidas à geração e aproveitamento bioenergético tendem a alterar a disponibilidade e a diversidade de fontes de energia, além de influir na qualidade das fontes e eficiência do uso. Ao tratar dessas características, os indicadores relativos a esse critério são considerados somente na escala pontual. São eles: a garantia de fornecimento de energia, a quantidade disponível, a diversidade de fontes de energia e a qualidade das fontes.
QUALIDADE AMBIENTAL	
Emissões à atmosfera	Os impactos ambientais das atividades agropecuárias têm ganhado grande importância, a ponto de serem incluídos nos inventários sobre as mudanças do clima planetário. Isso se deve principalmente à contribuição das atividades agropecuárias para o aquecimento global da atmosfera, com a emissão de gases causadores do efeito estufa. Além desse impacto de escala global, as atividades agropecuárias (assim como as agroindustriais) frequentemente causam emissões de poeiras, odores e podem ainda gerar ruídos. Assim, os indicadores para avaliação do critério de impacto ambiental sobre a qualidade da atmosfera referem-se à emissão de gases de efeito estufa, material particulado/fumaça, odores e ruídos.

Continua...

Tabela 4. Continuação.

DIMENSÃO ECOLÓGICA	DEFINIÇÃO
Qualidade do solo	O impacto da adoção tecnológica ou atividade agroindustrial/rural sobre a qualidade do solo pode ser avaliado segundo os efeitos sobre os principais processos causadores de degradação e perda de fertilidade, quais sejam a erosão, a perda de matéria orgânica e de nutrientes, a compactação e a redução da capacidade produtiva por excesso de aplicação de efluentes/resíduos.
Qualidade da água	Os indicadores para avaliação dos impactos da adoção tecnológica ou atividade agroindustrial/rural sobre a qualidade da água envolvem a carga orgânica (emissão de efluentes, esgotos, esterco e outros causadores de aumento na demanda bioquímica de oxigênio), a turbidez, a presença de espumas / óleos / resíduos sólidos, o assoreamento de corpos d'água, e o eventual uso que supere a disponibilidade hídrica local.
Conservação da biodiversidade e Recuperação ambiental	Três indicadores relativos à conservação da biodiversidade são observados, quais sejam: a vegetação nativa, a fauna silvestre e espécies e variedades tradicionais (caboclas). Por outro lado, buscase avaliar a contribuição da atividade agroindustrial/rural para a recuperação de solos degradados (física, química e biologicamente), recomposição de ecossistemas e habitats naturais, além dos requerimentos de uso do solo definidos no Código Florestal, como as áreas de preservação permanente e de reserva legal.
DIMENSÃO SOCIOECONÔMICA	
RESPEITO AO CONSUMIDOR	
Produtividade	O critério produtividade mensura a relação entre produção e lucratividade e os fatores de produção utilizados: trabalho, capital e terra. O indicador refere-se à produtividade do trabalho (produção por trabalhador e lucratividade por trabalhador), produtividade do capital (produção em relação ao total de máquinas/equipamentos e lucratividade em relação ao total de máquinas/equipamentos) e produtividade do fator terra (produção por unidade de área e lucratividade por unidade de área).

Continua...

Tabela 4. Continuação.

DIMENSÃO ECOLÓGICA	DEFINIÇÃO
Qualidade do produto	A qualidade do produto é avaliada em termos dos conteúdos de resíduos químicos ou contaminantes biológicos eventualmente alterados pela forma de manejo empregada na atividade agroindustrial/rural. Adicionalmente, pondera-se a disponibilidade dos insumos empregados, em termos da diversidade de suas fontes, que pode implicar em irregularidades se ocorrerem descontinuidades de abastecimento e a idoneidade dos fornecedores de insumos, que têm forte influência na garantia da qualidade. Propõe-se ainda a verificação da influência da adoção de tecnologias ou práticas de produção bioenergéticas nas características de qualidade dos produtos, em adaptação aos conceitos da norma de qualidade NBR ISO/IEC 9126, que inclui a funcionalidade/ confiabilidade, a usabilidade/eficiência e a manutenibilidade/ portabilidade. Relativamente à escala de ocorrência, indica-se somente a pontual.
Integração produtiva no conceito de Biorrefinarias/ Ecopark	Este critério avalia o impacto da adoção de tecnologias e práticas de produção de bioenergia na integração produtiva, segundo conceitos da ecologia industrial, que incluem indicadores de ampliação da flexibilidade do uso da biomassa, a diversidade de produtos gerados, a diversidade de processos de transformação, o nível de integração tecnológica e a integração de processos produtivos entre empreendimentos parceiros. Indica-se somente a escala pontual, em referência à 'integração' que naturalmente envolve alcances espaciais por iniciativa do empreendimento.
Mudança no uso direto da terra	Consideram-se os efeitos das mudanças diretas no uso da terra, que, além de impactos potencialmente negativos anteriormente verificados na análise dos critérios ecológicos (como desmatamentos e impactos sobre a biodiversidade), podem melhorar o aproveitamento de recursos e favorecer a produção, em consequência da prevenção de incêndios, da geração de excedente produtivo, do aumento do estoque de carbono e ampliação da biodiversidade produtiva.
Mudança no uso indireto da terra	Os impactos indiretos de mudanças no uso da terra envolvem a competição com a produção de alimentos, a pressão de deslocamento sobre áreas não agrícolas, a competição pela propriedade da terra e a interferência sobre a posse e usos pelas comunidades locais.

Continua...

Tabela 4. Continuação.

DIMENSÃO ECOLÓGICA	DEFINIÇÃO
EMPREGO	
Capacitação	O critério de capacitação abrange três tipos de treinamentos passíveis de serem atendidos pelos residentes do estabelecimento, quais sejam o treinamento local de curta duração, especialização e educação formal. Adicionalmente, o critério pondera o nível em que se dá o treinamento, seja básico, técnico ou superior. Por direcionar-se à verificação da influência direta da atividade ou inovação tecnológica sobre as oportunidades de capacitação, o critério se restringe à escala pontual.
Qualificação e oferta de trabalho	Este critério pondera a qualificação exigida para o trabalho proporcionado pela atividade agroindustrial / rural, como braçal, braçal especializado, técnico médio, e técnico de nível superior. Ademais, verifica-se a condição do trabalhador segundo o tipo de recrutamento demandado, como de regime de contratação temporário ou permanente, podendo-se considerar que há uma escala de favorecimento crescente, em termos de impacto social dessas formas de inserção dos trabalhadores. Como a adoção tecnológica pode engendrar a realização de trabalhos desde propriamente a área cultivada, as áreas de criação e agroindústrias até trabalhos gerais no estabelecimento, todas as escalas de ocorrência podem estar associadas a este critério.
Qualidade do emprego	O critério qualidade do emprego se refere a todos os trabalhadores do estabelecimento diretamente dedicados à atividade. O emprego é qualificado segundo atendimento às condições básicas como idade mínima, jornada máxima de trabalho, formalidade e auxílios e benefícios previstos pelas leis trabalhistas. Como os empregos considerados são somente aqueles influenciados pela atividade ou inovação tecnológica, a escala de ocorrência é pontual.

Continua...

Tabela 4. Continuação.

DIMENSÃO ECOLÓGICA	DEFINIÇÃO
RENDA	
Geração de renda	Este critério considera as condições de obtenção e distribuição da renda do empreendimento, quais sejam a segurança, estabilidade, montante, diversidade de fontes e distribuição, avaliados segundo diferencial advindo da adoção tecnológica ou implementação da atividade produtiva em estudo. O indicador segurança refere-se à garantia de obtenção da renda esperada. A estabilidade refere-se à distribuição temporal ou sazonal da renda. O montante refere-se à variação no total da renda auferida pelo empreendimento. A diversidade de fontes aponta eventual ampliação ou retração da linha de produtos ou alternativas de geração de renda, enquanto a distribuição refere-se à repartição da renda em salários pagos e benefícios, entre os colaboradores. Como a renda aqui referida corresponde àquela decorrente da implementação da atividade produtiva ou adoção da inovação tecnológica analisada, a ocorrência do critério é dirigida à escala pontual.
SAÚDE	
Segurança e saúde ocupacional	O critério segurança e saúde ocupacional retrata a exposição de trabalhadores a riscos e fatores de insalubridade devido aos trabalhos dedicados à atividade. A periculosidade e os fatores de insalubridade são aqueles normalmente definidos na legislação trabalhista, considerando-se toda exposição como um efeito potencialmente negativo.
Segurança alimentar	O critério segurança alimentar envolve os efeitos da adoção tecnológica ou atividade produtiva agroindustrial/rural para garantia do acesso a alimentação de qualidade, seja para aqueles envolvidos no processo produtivo (empregados e familiares), bem como para a população em geral, representada pelos consumidores. Os indicadores são a garantia da produção e a quantidade de alimento, que representam segurança de acesso diário (regularidade da oferta) ao alimento em quantidade adequada (suficiência da oferta), além da qualidade nutricional do alimento. Quanto à escala de ocorrência, propõe-se consideração de influência pontual quando os volumes de produção se restringem à segurança de trabalhadores e suas famílias, influência local quando esses volumes alcancem os mercados locais e influência no entorno quando os volumes de produção alcancem os mercados regionais.

Continua...

Tabela 4. Continuação.

DIMENSÃO ECOLÓGICA	DEFINIÇÃO
GESTÃO E ADMINISTRAÇÃO	
Disposição de resíduos	O critério disposição de resíduos avalia as medidas de reciclagem e destinação dos resíduos produzidos na realização da atividade. Tanto resíduos líquidos quanto sólidos são considerados, verificando-se iniciativas de coleta seletiva e medidas de tratamento e disposição adequadas.
Relacionamento institucional	O critério de relacionamento institucional trata da ocorrência de indicadores da capacidade institucional do empreendimento. Este critério aborda atributos de acesso a assistência técnica, associativismo e filiação tecnológica, além de assessoria legal e vistoria, mormente ligados a licenciamentos, autorizações e certidões trabalhistas e fundiárias.

Análise conjunta do impacto ex-ante de sustentabilidade de 10 tecnologias do portfólio da Embrapa Agroenergia

A presente análise de desempenho ambiental e socioeconômico foi organizada com base em estudos de caso de 10 tecnologias descritas na Tabela 5. As avaliações de impacto ex-ante ocorreram entre janeiro e dezembro de 2016, no âmbito do portfólio de projetos da Embrapa Agroenergia. Os procedimentos de análise dos indicadores nas planilhas do sistema Ambitec-Bioenergia fundamentaram-se no conhecimento empírico e nos dados obtidos em ensaios de laboratório e no conhecimento da literatura específica relacionada à tecnologia em desenvolvimento. Ademais, a análise baseou-se na experiência prática dos membros da equipe de especialistas da Embrapa Agroenergia, em conjunto com o pesquisador responsável pelos respectivos projetos. Após a etapa de desenvolvimento das tecnologias e possível transferência a parceiros, novas análises serão realizadas para comparar a evolução dos indicadores levantados.

Tabela 5. Caracterização das 10 tecnologias selecionadas para avaliação de impacto ambiental e socioeconômico.

Caso	Descrição
Caso 1	Microalgas com alto teor de proteínas e carboidratos fermentescíveis produzidas em efluentes agroindustriais.
Caso 2	Sequências gênicas relacionadas a estresses abióticos, produtividade de biomassa e concentração de sacarose em cana-de-açúcar.
Caso 3	Levedura modificada geneticamente para fermentação de açúcares C5.
Caso 4	Processo de destoxificação da torta de algodão por fermentação em estado sólido.
Caso 5	Coquetéis enzimáticos e leveduras para a produção de etanol celulósico a partir de cana-de-açúcar.
Caso 6	Cana de açúcar geneticamente modificada tolerante à seca
Caso 7	Cepa transgênica de cianobactéria produtora de enzimas para uso industrial.
Caso 8	Metodologia para determinação da qualidade de biodiesel.
Caso 9	Aditivos para sacarificação de biomassa lignocelulósica baseados em enzimas acessórias.
Caso 10	Produção de químicos de valor agregado por meio da fermentação da glicerina.

A Figura 3 apresenta a média dos indicadores de impacto (Tabela 4) para as 10 tecnologias analisadas. Apesar das grandes diferenças entre as tecnologias, dados os contextos diversos de desenvolvimento e peculiaridades da base de recursos disponíveis, dos diferentes históricos técnico-administrativos, das variadas escalas de produção e direcionamentos de mercado, de modo global, os desempenhos observados foram positivos.

Os índices de desempenho socioeconômico, como produtividade, qualidade do produto e integração produtiva apresentaram amplitudes superiores aos índices de desempenho ambiental, grandemente por influência dos ganhos de produtividade e da integração produtiva e ganhos na geração de renda (Figura 3). Em geral, o impacto médio da dimensão ambiental foi representado por um índice médio = 0,58 em escala multicritério ± 15 , ao passo que a dimensão socioeconômica apresentou índice médio = 1,52 em escala multicritério ± 15 .

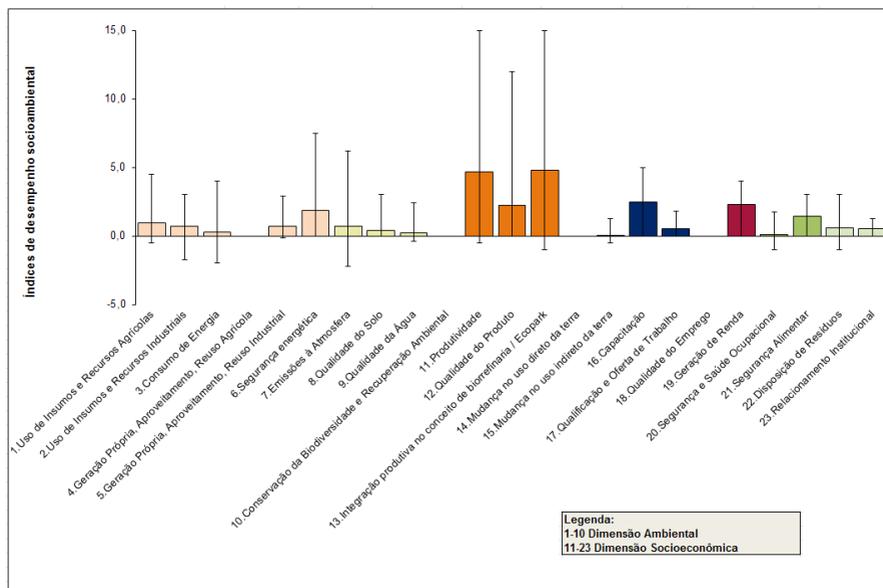


Figura 3. Índices de desempenho ambiental e socioeconômico das 10 tecnologias em conjunto, segundo avaliação *ex-ante* com o proposto método Ambitec-Bioenergia.

Um detalhamento dos critérios e indicadores explicativos desses índices de desempenho e as particularidades tecnológicas das tecnologias analisadas permitem interpretar as atribuições dadas às diferentes dimensões de impacto.

A dimensão ambiental apresenta os impactos das 10 tecnologias sobre o meio ambiente, considerando as vertentes “eficiência tecnológica” e “qualidade ambiental”. A primeira vertente está direcionada à economia de insumos, recursos e energia e ao aproveitamento de resíduos e efluentes. A segunda vertente considera os efeitos das tecnologias relacionados à emissão de poluentes, à qualidade do solo e da água, à conservação da biodiversidade e à recuperação ambiental.

Diferentes níveis de impactos esperados foram observados para as 10 tecnologias componentes da análise. A redução do uso de insumos e

recursos agrícolas (índice médio 0,95 em escala multicritério ± 15) foi atribuída, notadamente, aos Casos 2 e 6 que trabalham com estresses abióticos em plantas. O indicador de uso de insumos e recursos industriais também se mostrou positivo (índice médio = 0,68) em função dos Casos 3, 5 e 7 para redução de matéria-prima no processo, do Caso 1 para redução do consumo de gases e dos Casos 1, 4 e 10 para redução de toxicidade de insumos.

Em relação ao consumo de energia (índice médio = 0,30), a redução do uso de combustíveis fósseis e de eletricidade é em função de duas tecnologias (Casos 6 e 10). Observa-se um pequeno aumento no consumo de combustíveis e eletricidade em três tecnologias analisadas (Casos 1, 4 e 9).

Com relação à geração própria, aproveitamento, reuso e autonomia na área agrícola, o efeito das 10 tecnologias foi considerado inalterado. Por outro lado, na área industrial as tecnologias que possibilitam a geração de energia a partir dos resíduos do processo (Caso 1) e de sistema eólico acoplado ao processo de produção (Caso 4), o aproveitamento de resíduos (Casos 1, 2, 3, 4, 9 e 10), a recuperação de componentes dos gases de exaustão (Casos 1 e 7) e o aproveitamento térmico (Caso 2) contribuíram para impacto positivo no critério (índice médio = 0,69).

A segurança energética apresentou o maior índice médio (= 1,88) no aspecto eficiência tecnológica, em função de que 6 tecnologias têm como foco a geração de biocombustíveis (Casos 1, 2, 3, 4, 5 e 9), destacando o Caso 3, que apresentou o maior impacto positivo em relação à garantia de fornecimento e à quantidade disponível.

No que tange ao aspecto qualidade ambiental, o impacto na redução de emissões à atmosfera foi constatado nos Casos 1, 3, 6, 7 e 10 por causa da substituição de combustíveis e químicos de origem fóssil por soluções tecnológicas sustentáveis (índice médio de 0,72). É relevante ressaltar que o Caso 1 apresentou um impacto bastante positivo em

relação às emissões à atmosfera (índice médio = 6,2), notadamente pela redução dos gases de efeito estufa.

Em relação à qualidade do solo (índice médio = 0,4), duas tecnologias apresentam impacto relevante, pois possibilitam a redução da perda de nutrientes (Caso 6) e menor redução da capacidade produtiva por efluentes/ resíduos (Caso 1). As demais tecnologias não interferem nesse indicador.

O impacto das 10 tecnologias sobre a qualidade da água se apresenta bastante reduzido (índice médio = 0,24), uma vez que 3 tecnologias (Casos 1, 4 e 10) interferem nesse critério de forma menos intensa. Convém destacar que o Caso 1 possibilita o uso de efluentes industriais no processo de produção de microalgas, reduzindo, assim, a carga orgânica e a turbidez desses efluentes industriais. Sobre a conservação da biodiversidade e recuperação ambiental, o impacto das tecnologias foi nulo, indicando que não há mudanças em termos de habitats naturais, devido à expansão das áreas de fronteira agrícola ou homogeneização da genética de plantas e animais de criação.

A dimensão socioeconômica avalia sob a ótica social e econômica 13 critérios de caracterização de impactos, incluindo aspectos relativos à produtividade, emprego, renda, saúde e segurança alimentar. Os maiores índices foram observados para a integração produtiva no conceito da biorrefinaria, com índice médio de 4,80 e produtividade, com índice médio de 4,68. Contudo, esses critérios apresentaram igualmente desvios padrão elevados. O desvio padrão de 4,82 da produtividade foi altamente influenciado pelo coeficiente de impacto socioeconômico do Caso 3 e do Caso 2. Os Casos 1 e 4 apresentaram elevados coeficientes de impacto no critério de biorrefinaria, por conta de suas características de integração produtiva em tecnologias de biomassa.

O critério de biorrefinaria revela que os casos avaliados têm um foco maior em tecnologias agroindustriais relacionadas à integração

de processos. Isso também explica os menores índices que foram observados na mudança nos usos direto e indireto da terra, os quais podem apresentar maior sensibilidade para as tecnologias agrícolas. Já o índice da produtividade está fortemente associado à lucratividade por trabalhador/máquinas e equipamentos e lucratividade por unidade de área da tecnologia do Caso 3.

Com relação ao critério capacitação, nota-se que o índice médio de 2,50 (desvio padrão = 1,38) reflete grandemente a existência de oportunidades para a realização de cursos de curta duração e cursos de especialização nas tecnologias analisadas. Em especial no Caso 5, o impacto socioeconômico em termos de capacitação foi o maior dentre os demais, com oportunidades que se estendem para a capacitação em nível superior.

O índice obtido para o critério geração de renda foi de 2,30 com desvio padrão relativamente baixo (1,70). Os efeitos mais expressivos estão relacionados ao Caso 4, devido ao impacto positivo sobre o montante da renda, ou seja, à variação total da renda que pode ser auferida. Contudo, nos Casos 1, 2, 5 e 7 o impacto da geração de renda estaria atribuído a causas diversas, como a garantia de obtenção da renda esperada e a diversidade de fontes, possibilitando formas alternativas de ganhos.

Chama a atenção o fato de os critérios de uso direto e indireto da terra apresentarem um impacto pouco significativo sobre o conjunto das 10 tecnologias, com índices médios respectivamente 0,00 e 0,05. Entende-se que essas tecnologias não acarretariam mudanças em termos da biodiversidade, estoque de carbono ou desmatamentos, o que sinalizaria transformações no uso direto da terra. Por outro lado, o impacto reduzido em termos de uso indireto da terra se deve à não competição com a propriedade da terra e à inexistência de pressão de deslocamento sobre áreas não agrícolas. Somente no Caso 7, auferiu-se uma redução na competição de alimentos (-0,05), explicada pelo fato de a tecnologia proporcionar a diminuição do uso da área de terra total.

Similarmente, a qualidade do emprego apresentou um índice médio igual a zero para os 10 casos avaliados, uma vez que o critério está bastante associado a benefícios e exigências trabalhistas.

Considerações Finais

O uso do Sistema Ambitec-Bioenergia pretende dar subsídio para o uso de critérios e indicadores de impacto de inovações tecnológicas adotadas na realização de atividades bioenergéticas, apoiando os pesquisadores na gestão dos processos de pesquisa, desenvolvimento e transferência tecnológica agropecuária, bem como orientando os produtores na adoção das inovações tecnológicas.

O sistema de indicadores Ambitec-Bioenergia compõe-se de duas dimensões de impactos de inovações tecnológicas agropecuárias, considerando sete aspectos de caracterização dos impactos expressos por 23 critérios e 123 indicadores. Cada indicador é avaliado no momento de levantamento de dados ou vistoria de campo realizada em conjunto com o produtor e o pesquisador, a fim de obter os coeficientes de alteração dos indicadores, tendo em vista a influência direta da adoção tecnológica e atividade produtiva. Posteriormente, esses coeficientes de alteração são ponderados segundo a escala da ocorrência e a importância do indicador para formação dos critérios de impacto. Por fim, esses resultados são ponderados pela importância dos critérios para compor os índices parciais e índice geral de impacto da inovação tecnológica.

Segundo os procedimentos de avaliação de impactos, concluiu-se que o conjunto de tecnologias analisadas apresenta mérito para a futura transferência e adoção. É salutar o impacto positivo das tecnologias analisadas em termos de segurança energética e do uso de insumos e recursos agrícolas e industriais dentro da dimensão ambiental. Trata-se de tecnologias que permitem alterar a disponibilidade de fontes de energia, além de influir na quantidade de insumos no campo e na indústria. Ao mesmo tempo, os casos analisados apontam impactos

socioeconômicos positivos em termos dos critérios de biorrefinarias e produtividade, ressaltando que a integração produtiva e a flexibilidade da biomassa podem contribuir para ganhos significativos sobre a cadeia da bioenergia como um todo.

Referências

BARROS, I. de; BLAZY, J. M.; RODRIGUES, G. S.; TOURNEBIZE, R.; CINNA, J. P. Energy evaluation and economic performance of banana cropping systems in Guadeloupe (French West Indies). **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 129, n. 4, p. 437-449, 2009.

ESTADOS UNIDOS. Department of Energy. Energy Information Administration. **Annual Energy Outlook 2015: with projections to 2040**. Washington, DC, 2015. Disponível em: <<https://www.eia.gov/outlooks/archive/aeo15/>>. Acesso em: 03 ago. 2015.

FERREIRA, C. M. **Sustentabilidade de sistemas de produção de grãos: caso do arroz de terras altas**. 2007. 318 f. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Brasília, DF.

FIGUEIREDO, M. C. B. de; MOTA, F. S. B.; RODRIGUES, G. S.; CALDEIRA-PIRES, A.; ROSA, M. de F.; VIEIRA, V. de P. P. B. Conceptual framework for considering life cycle and watershed vulnerability analysis in the environmental performance evaluation of agro-industrial innovations (Ambitec-Life Cycle). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LCA IN THE AGRI-FOOD SECTOR, 6., 2008. **Book of Abstracts**. Zurich, Suíça: Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, 2008. p. 36.

FIGUEIREDO, M. C. B. de; RODRIGUES, G. S.; CALDEIRA-PIRES, A.; ROSA, M. de F.; ARAGAO, F. A. S. de; VIEIRA, V. de P. P. B.; MOTA, F. S. B. Environmental performance evaluation of agro-industrial innovations - part 2: methodological approach for performing vulnerability analysis of watersheds. **Journal of Cleaner Production**, Oxon, v. 18, n. 14, p. 1376-1385, 2010.

FIGUEIREDO, M. C. B. de; MOTA, S.; RODRIGUES, G. S.; PIRES, A. C.; ROSA, M. de F. Metodologia de avaliação dos impactos ambientais de inovações tecnológicas agroindustriais, com base no ciclo de vida. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL CICLO DE VIDA - CILCA 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Análise de Ciclo de Vida, 2007. 5p.

HAQUE, M. M. Sustainable development and environment: a challenge to technology choice decision making. **Project Appraisal**, Surrey, v. 6, n. 3, p. 149-157, 1991.

JESUS-HITZSCHKY, K. R. E. de. Impact assessment system for technological innovation: INOVA-tec System. **Journal of Technology Management & Innovation**, Santiago, v. 2, n. 2, p. 67-82, 2007.

MEADOWS, D. H.; MEADOWS, D. L.; RANDERS, J.; BEHRENS III, W. W. **Limites do crescimento**. São Paulo: Editora Perspectiva AS, 1973.

MEDEIROS, C. B.; RODRIGUES, I. A.; BUSCHINELLI, C. C. de A.; RODRIGUES, G. S. **Avaliação de serviços ambientais gerados por unidades de produção familiar participantes do programa Proambiente no estado do Pará**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2007. 74 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 68).

RODRIGUES, G. S. **Avaliação de impactos ambientais em projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico agropecuário**: fundamentos, princípios e introdução à metodologia. Jaguariúna: EMBRAPA-CNPMA, 1998. 66 p. (EMBRAPA-CNPMA. Documentos, 14).

RODRIGUES, G. S. **Avaliação de impactos socioambientais de tecnologias na Embrapa**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2015. 41 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 99).

RODRIGUES, G. S.; BROWN, M. T.; ODUM, H. T. Sameframe: sustainability assessment methodology framework. Separata de: BIENNIAL INTERNATIONAL WORKSHOP AVANCES IN ENERGY STUDIES, 3., 2002, Porto Venere. **Reconsidering the importance of energy**. Porto Venere: SGEditoriali Padova, 2002. p. 605-613.

RODRIGUES, G. S.; BUSCHINELLI, C. C. de A.; AVILA, A. F. D. An environmental impact assessment system for agricultural research and development II: institutional learning experience at Embrapa. **Journal of Technology Management & Innovation**, v. 5, n. 4, p. 38-56, 2010.

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C. An environmental impact assessment system for agricultural R&D. **Environmental Impact Assessment Review**, New York, v. 23, n. 2, p. 219-244, 2003.

RODRIGUES, G. S.; RODRIGUES, I. A.; BUSCHINELLI, C. C. de A.; BARROS, I. de Integrated farm sustainability assessment for the environmental management of rural activities. **Environmental Impact Assessment Review**, New York, v. 30, n. 4, p. 229-239, 2010.

Embrapa

Agroenergia

MINISTÉRIO DA
**AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO**



CGPE 13978