



Associação Brasileira de
Análise do Ciclo de Vida



CILCA 2007

Conferência Internacional Ciclo de Vida
São Paulo - Brasil

Metodologia de avaliação dos impactos ambientais de inovações tecnológicas agroindustriais, com base no ciclo de vida

Maria Cláa Brito de Figueirêdo*, Suetônio Mota, **Geraldo Stachetti Rodrigues**, Armando Caldeira-Pires, e Morsyleide de Freitas Rosa

EMBRAPA, clea@cnpat.embrapa.br; UFC, suetonio@ufc.br; EMBRAPA, stachetti@cnpma.embrapa.br; UNB, armandop@unb.br; EMBRAPA, morsy@cnpat.embrapa.br

* Rua Dra. Sara Mesquita 2270, Pici, CEP 60511-110, Fortaleza, Ce

Sumário: O paradigma do desenvolvimento sustentável, para ser aplicável, requer o desenvolvimento e a adoção de tecnologias comprometidas com o bem-estar socioeconômico e com a conservação ambiental. Nesse contexto, torna-se importante a utilização de instrumentos que avaliem a contribuição de uma tecnologia para a sustentabilidade, com a avaliação dos seus impactos ambientais. Este trabalho tem como objetivo propor um sistema de avaliação de impactos de inovações agroindustriais, baseado no conceito de ciclo de vida. O sistema avalia o impacto de uma inovação agroindustrial em comparação a outra tecnologia preexistente, ao longo das etapas de produção, consumo e pós-consumo, considerando-se a vulnerabilidade ambiental dos locais onde as unidades produtivas, de consumo e descarte estão inseridas.

Abstract: The concept of sustainable development, to be applicable, requires the development and adoption of technologies that contribute straightforwardly toward socioeconomic well-being and environmental conservation. Aiming at this objective, the use of tools to evaluate the contribution of a technology to sustainability, through the assessment of its environmental impacts, is recommended. This work aims to propose a system for environmental impact assessment of agro-industrial technological innovations, based on life cycle thinking. The system evaluates the impact of a new technology compared with a preexisting one, in a production, consumption and post-consumption chain, considering the environmental vulnerability of the regions where production, consumption and discharge units take place.

Introdução

Compreende-se como inovação tecnológica novos ou aprimorados produtos e processos. Um novo produto possui características tecnológicas ou usos diferentes de outros produzidos anteriormente. A inovação tecnológica de processo está associada à adoção de métodos de produção novos ou melhorados que geram novos produtos ou melhoram a eficiência de produção de produtos existentes. Esse conceito é utilizado pela Financiadora de Estudo e Projetos (FINEP) e se baseia nos padrões do Manual de Oslo para inovação (OECD, 1997).

Inovações tecnológicas sustentáveis são aquelas que contribuem para o desenvolvimento socioeconômico e para a conservação ambiental. Segundo Kemp, Arundel & Smith apud Horbach (2005), inovações sustentáveis evitam ou reduzem danos ambientais, ao mesmo tempo em que possuem maior utilidade para a sociedade que tecnologias anteriores. A avaliação dessa sustentabilidade requer a utilização de indicadores de impacto ambiental. A necessidade de medir a sustentabilidade de inovações tecnológicas em geral, e aquelas agroindustriais em particular, resultou na elaboração de sistemas de avaliação de impactos concebidos para auxiliar a etapa de P&D a ponderar sobre as questões ambientais no processo de desenvolvimento de novas tecnologias. Os Sistemas de Avaliação de Impactos Ambientais em Projetos de Desenvolvimento Tecnológicos Agropecuário e o Sistema de Avaliação de Impacto

Ambiental da Inovação Tecnológica - AMBITEC (Rodrigues et al, 2000 e 2003), desenvolvidos e amplamente utilizados pela EMBRAPA, são referências nacionais na avaliação do impacto de tecnologias agroindustriais. Esses sistemas têm como escopo de análise o local aonde as inovações são utilizadas.

A avaliação do ciclo de vida (ACV), por conter uma visão sistêmica das questões ambientais, possibilita uma ampliação do escopo de avaliação dos impactos oriundos de inovações tecnológicas. A ACV vem sendo utilizada para análise das questões ecológicas relacionadas às diversas etapas de produção, consumo e destino final de produtos ou serviços industriais e agrícolas. As inovações tecnológicas, sejam de processo ou de produto, são utilizadas nas etapas de produção, uso e descarte desses produtos, sendo escolhidas determinadas tecnologias de produção para o estudo do ciclo de vida de um produto. Assim, o foco da análise é usualmente o produto e não uma tecnologia que contribuiu para sua produção.

Esse trabalho tem como objetivo propor um sistema de avaliação de impactos de tecnologias agroindustriais baseado no conceito de ciclo de vida. Para tanto, será seguido o planejamento proposto nas normas ISO 14040 e 14041 para realização de inventário e avaliação de impactos.

Metodologia

Segundo a norma ISO 14040, a avaliação do ciclo de vida do produto é um método que busca acessar os

aspectos e impactos ambientais de produtos através da: compilação de um inventário de entradas e saídas de um sistema de produto; avaliação dos impactos ambientais potenciais associados com as entradas e saídas; interpretação dos resultados da análise em relação aos objetivos do estudo (ABNT, 2001). Uma avaliação completa inclui o ciclo de vida inteiro do produto, compreendendo a extração e processamento de matéria-prima, manufatura, transporte, distribuição, uso, reuso, manutenção, reciclagem e disposição final.

Para condução de uma ACV, a norma ISO 14041 estabelece o objetivo e o escopo do estudo como aspectos que devem ser contemplados para um eficaz planejamento da avaliação. O objetivo de uma avaliação deve estabelecer a aplicação pretendida, as razões para conduzir o estudo e o público alvo. A definição do escopo deve considerar: a função ou serviço desempenhado pelo produto, quantificada pela unidade funcional; as fronteiras do sistema, apontando-se os estágios do ciclo de vida e seus processos elementares que serão incluídos no estudo, assim como os aspectos e impactos ambientais que serão foco do estudo; o estabelecimento dos requisitos de qualidade dos dados relacionados a cobertura temporal, geográfica e tecnológica dos processos elementares em estudo e a metodologia de avaliação de impacto e interpretação dos dados (ABNT, 2004). A seguir serão definidos o objetivo e o escopo do sistema de avaliação proposto nesse trabalho, considerando essas questões presentes na ISO 14041.

Resultados e discussão

Objetivo do sistema

Na avaliação de impactos ambientais de uma tecnologia que considera o conceito de ciclo de vida, o foco deve ser o processo de inovação tecnológica que contempla as etapas de reconhecimento das oportunidades de melhorias, concepção de novos produtos ou processos, desenvolvimento da pesquisa científica, implementação da inovação em laboratório e difusão da mesma para a sociedade (Horbach, 2005). Embora em todas essas etapas ocorram impactos ambientais, a difusão é usualmente a etapa de maior geração de impacto porque é quando se inicia e se intensifica o uso da inovação (Rebitzer et al, 2002), tendo sido escolhida como o objeto dessa avaliação.

Inovações são desenvolvidas com vistas a agregar valor ao agronegócio, tomando como base tecnologias existentes. Essa agregação de valor muitas vezes considera apenas aspectos econômicos, sendo as questões socioambientais pouco observadas. Assim, numa avaliação de progresso em direção ao desenvolvimento sustentável, é importante avaliar a redução do dano ambiental de uma inovação em relação a tecnologias preexistentes que desempenham a mesma função ou serviço numa cadeia produtiva.

Essa avaliação deve ser realizada pelo pesquisador durante o desenvolvimento da tecnologia, antes da sua difusão, servindo-lhe como um instrumento de análise e melhoria do desempenho ambiental da inovação.

A partir dessas considerações, propõe-se a estruturação de um sistema cujo objetivo é avaliar o impacto de uma inovação agroindustrial em comparação a outra tecnologia preexistente, durante a fase de desenvolvimento da primeira. Esse sistema deve ser passível de utilização por pesquisadores não especialistas em questões ambientais.

Escopo da avaliação

Para que a análise comparativa possa efetuar-se, deverão ser escolhidas tecnologias que desempenhem funções semelhantes, da mesma forma que é feita na ACV comparativa de produtos. A função de uma tecnologia pode ser explicitada a partir da indagação do seu objetivo no agronegócio. Usualmente, tecnologias agroindustriais buscam aumentar a produção agrícola de um determinado produto, conservar ou recuperar recursos naturais, aumentar a vida de prateleira de alimentos, gerar novos insumos agroindustriais, desenvolver cultivares, aumentar o teor nutritivo de alimentos e/ou reduzir os riscos de contaminação de alimentos. Tecnologias que possuem o mesmo objetivo podem ser comparadas com a definição de uma unidade funcional que quantifica uma atividade (ex.: massa produzida, área conservada / recuperada, massa de alimento conservada etc.) no tempo. Uma máquina processadora de casca de coco verde, por exemplo, que tem como função produzir substrato agrícola e fibras, pode ser comparada com outras tecnologias que também produzem substrato, como a tecnologia de processamento do coco seco e a de produção do xaxim.

Na difusão de uma inovação, ela será utilizada numa propriedade (fazenda, agroindústria, comércio) pertencente a uma cadeia produtiva agroindustrial (caju, flores, filmes comestíveis, substrato agrícola, fertilizante etc.), podendo alterar diversas etapas a montante e/ou a jusante do processo produtivo, gerando impactos ambientais ao longo da cadeia que precisam ser considerados. Exemplificando, um novo cultivar irá requerer sementes, insumos e práticas agrícolas diferenciadas, assim como processos diferenciados para processamento ou conservação do produto agrícola.

A Figura 1 apresenta uma cadeia agroindustrial geral com etapas de produção, consumo e pós-consumo. A cadeia de uma inovação de produto é facilmente identificada pela observação das etapas de produção do produto. Uma inovação de processo pode atuar em uma cadeia específica (ex.: extração mecanizada de água de coco) ou em várias (micropropagação de plantas). Nesse último caso, deve-se escolher a cadeia de um produto na qual a inovação é mais amplamente utilizada.

Propõe-se avaliar os impactos ambientais de uma inovação, considerando as etapas mais acessíveis ao pesquisador, sendo elas: produção da matéria-prima

utilizada pela inovação, processamento da inovação (onde um produto é produzido ou aonde um processo é utilizado), consumo e descarte do produto. A inovação e a tecnologia existente escolhida para comparação deverão ser avaliadas em cada uma dessas etapas para quantificação de seus impactos. Tomando como exemplo a tecnologia de produção de substrato agrícola a partir do coco verde, as etapas de avaliação de impacto são:

consumo de água de coco verde, processamento da casca, consumo do substrato na produção de flores e descarte do substrato. A tecnologia de produção de substrato a partir da samambaiçu, que servirá de padrão para comparação, será avaliada nas seguintes etapas: extração da samambaiçu, produção do substrato, consumo na produção de flores e descarte do substrato.

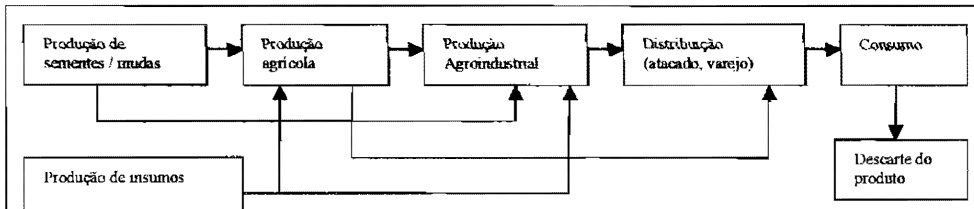


Figura 1 – Modelo geral de cadeia produtiva agroindustrial. Adaptada de Zylbersztajn (1994).

Duas situações poderão ocorrer na comparação de tecnologias: ambas atuando numa mesma cadeia produtiva ou em cadeias diferentes. A primeira situação permite suprimir os processos comuns às duas tecnologias, reduzindo-se o escopo da análise. Na segunda situação, a análise será completa para cada elo das cadeias produtivas envolvidas, devendo-se avaliar cada uma das etapas definidas como integrantes do estudo.

Para definição dos aspectos ambientais a serem levantados, deve-se avaliar os impactos considerados relevantes para a agroindústria, já levantados por diversos estudos, podendo-se citar a MMA (2000), BNB

(1999), Rodrigues et al (1998, 2003) e Figuerêdo et al (2005). A Tabela 1 aponta os principais aspectos e impactos ambientais relativos às atividades agroindustriais, assim como a indicação de avaliação dos mesmos em estudos de ACV.

Além desses impactos, também precisam ser considerados, em cada etapa da avaliação, os impactos relacionados às contaminações física, química e biológica do produto agroindustrial, ao comprometimento da saúde e segurança do trabalhador, à produtividade e à rentabilidade, essenciais a adoção de inovações no mercado.

Tabela 1 – Questões ambientais na agricultura

Parâmetro	Fatores de pressão (aspectos)	Impactos ambientais potenciais	Impactos avaliados na ACV*
Fauna e Flora	Desmatamento Uso intensivo de agrotóxicos Queimadas Exploração de espécies sem manejo	Perda da biodiversidade	
Solo	Mecanização agrícola Exposição prolongada do solo as intempéries do clima Uso intensivo de agrotóxicos e fertilizantes Disposição inadequada de resíduos sólidos Irrigação indevida (água salobra e excesso de água)	Compactação Erosão Contaminação do solo (metais pesados) Contaminação do solo (resíduos de agrotóxicos) Acidificação do solo Salinização do solo	- - (Efeitos toxicológicos) -
Água	Consumo de água Lançamento de efluentes Geração de resíduos sólidos para os corpos d'água Uso intensivo de agrotóxicos e fertilizantes Irrigação indevida	Escassez de água Eutrofização Contaminação da água (metais pesados) Contaminação da água (resíduo de agrotóxico) Salinização da água	- -
Ar	Emissão de poluentes (CO, CO ₂ , CH ₄ , NO _x , brometo de metila, SO ₂ , material particulado, NH ₃ , volatilização de agrotóxicos) Ruído	Mudança Climática Destruição da camada de ozônio Dano à saúde humana	(ruído)

* Fonte: Brentrup et al (2004), Pennington et al (2004), Sonnemann et al (2004) e Caldeira-Pires et al (2005)

Os impactos ambientais provocados por uma inovação terão ainda significância atrelada às características

ambientais de uma determinada região. Exemplificando, uma tecnologia que consome grandes volumes de água

terá um maior impacto em região com maior escassez de água. A consideração dessas diferenças regionais requer a ponderação da vulnerabilidade regional na avaliação dos impactos ambientais de uma tecnologia, nas análises realizadas nos diferentes locais que abrigam as atividades produtivas em uma cadeia.

A avaliação de impactos ambientais *ex-ante* proposta busca realizar uma análise pontual, durante a fase de desenvolvimento de uma tecnologia, num espaço de tempo necessário à produção de uma unidade funcional preestabelecida. Entretanto, essa análise deve ser baseada no inventário de aspectos ambientais referentes a um ciclo de produção agrícola e industrial, relacionados ao consumo de matéria-prima e insumos e à carga das emissões. As informações referentes à inovação deverão ser baseadas no monitoramento dos parâmetros, devendo-se utilizar valores médios observados. Os dados referentes à tecnologia escolhida para comparação deverão se basear nas informações coletadas em visitas realizadas às unidades de produção.

Para as etapas a jusante e a montante da etapa em que a inovação será implantada, devem ser escolhidos para avaliação processos que utilizam as tecnologias mais difundidas, definidas de acordo com o conhecimento do pesquisador e da equipe de apoio à difusão de inovações. A metodologia de agregação de aspectos ambientais inventariados da ACV baseia-se na classificação e na caracterização desses aspectos, seguindo diferentes metodologias que se encontram amplamente validadas para um conjunto de impactos relacionados principalmente à poluição do ar, aos efeitos toxicológicos ao ser humano e à escassez de recursos bióticos e abióticos (Pennington, 2004; Sonneman et al; 2004; Xavier & Caldeira-Pires, 2004). Entretanto, metodologias de caracterização para impactos relacionados a modificações do solo e desertificação ainda se encontram em desenvolvimento ou avaliação. Outro aspecto a considerar é que as metodologias de caracterização de impactos de caráter local, como eutrofização e acidificação, utilizam fatores desenvolvidos para a Europa e outros países, não tendo sido ainda adaptados à realidade brasileira, com suas diferentes regiões. A avaliação de aspectos socioeconômicos de uma inovação, relativos à produtividade e à rentabilidade também não integram a metodologia de avaliação de impactos da ACV. Devido a essas considerações, propõe-se ponderar cada aspecto inventariado pela vulnerabilidade ambiental de uma região e realizar uma avaliação do percentual de alteração de cada aspecto de uma inovação em relação ao mesmo aspecto da tecnologia escolhida para comparação, classificando-se essa alteração em classes de impacto (grande aumento, moderado aumento, sem variação, moderada diminuição e grande diminuição), de acordo com Rodrigues et al (2003). Após essa normalização, os aspectos são agrupados em grandes categorias ambientais - solo, água, ar, recursos bióticos - utilizando-se a análise multicritério (Malczewski, 1999), avaliando-se a

contribuição da inovação para a conservação dessas categorias.

Conclusões

A avaliação dos impactos ambientais relativos a uma inovação tecnológica agroindustrial é um passo essencial rumo ao desenvolvimento sustentável do agronegócio. O conceito de ciclo de vida permite expandir essa análise para além do local onde a inovação é adotada, abrangendo toda uma cadeia produtiva, de consumo e pós-consumo modificada por uma tecnologia. Esse escopo permite identificar aspectos e impactos de forma mais ampla, auxiliando o pesquisador na tomada de decisão quanto a definição dos insumos e funcionamento da inovação que pretende desenvolver.

Devido à metodologia de avaliação de impactos na ACV, no que se refere às questões agrícolas, a consideração das especificidades regionais brasileiras e a consideração de aspectos socioeconômicos ainda estar em desenvolvimento, propõe-se utilizar a análise multicritério de avaliação, numa análise comparativa de tecnologias agroindustriais.

Referências

1. ABNT. Norma Brasileira ISO 14040, 2001.
2. ABNT. Norma Brasileira ISO 14041, 2004.
3. A. Caldeira-Pires, M. C. Souza-Paula e R. C. Villas Bôas. *Avaliação do Ciclo de Vida: A ISO 14040 na América Latina*, Abipti, 2005.
4. BNB. *Manual de impactos ambientais*. BNB, 1999.
5. D. W. Pennington et al. Life Cycle Assessment Part 2: Current impact assessment practice. *Environment International*, 2004, 30, 721-739.
6. F. Brentrup, J. Kusters, H. Kuhlmann e J. Lammel. Environmental impact assessment of agricultural production systems using life cycle assessment methodology. *Europ J. Agronomy* 2004, 20.
7. G. Sonneman; F. Castells; M. Schuhmacher. *Integrated life-cycle and risk assessment for industrial processes*, Lewis Publishers, 2004.
8. G. S. Rodrigues. *Avaliação de Impactos Ambientais em Projetos de Pesquisa*, Embrapa Meio Ambiente, 1998.
9. J. H. V. Xavier; A. Caldeira-Pires. Uso Potencial da metodologia de análise de ciclo de vida (ACV) para a caracterização de impactos ambientais na agricultura, *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 21, 2, 311-341.
10. G. S. Rodrigues; C. C. Buschinelli; L. J. M. Irias; M. A. V. Ligo. *Avaliação de impactos ambientais em projetos de pesquisa II*, Embrapa Meio Ambiente, 2000.
11. G. S. Rodrigues; C. Campanhola; P. C. Kitamura. *Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária: AMBITEC-AGRO*, Documento 34, Embrapa Meio Ambiente, 2003.
12. J. Horbach. *Indicator Systems for Sustainable Innovation*, Physica-Verlag, 2005.

13. J. Malczewski. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, John Wiley & Sons, 1999.
14. M. C. B. Figueirêdo et al, Questões ambientais na agricultura in *Manual de Produção Integrada de Caju*,
15. V. H. Oliveira e V. S. O. Costa, Ed.; Embrapa, 2005.
- MMA. Agricultura Sustentável. MMA/IBAMA/Museu Emílio Goeldi, 2000.
16. OECD. Oslo Manual, OECD, 1997
17. T. Rebitzer et al. Life Cycle Assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications, *Environment International*, 2004 , 30, 701-720.