

# Aplicabilidade do método Análise do Ciclo de Vida (ACV) na avaliação dos impactos ambientais da agricultura<sup>1</sup>

Airton Spies<sup>2</sup>, Malcolm Wegener<sup>3</sup>, S. Chamala<sup>4</sup>, Bob Beeton<sup>5</sup>

2 The University of Queensland, Epagri/CNPq, NRSM, St Lucia, Qld 4072, Austrália  
e-mail: [s803514@student.uq.edu.au](mailto:s803514@student.uq.edu.au) Fone: 00xx61 7 33657407 Fax: +61733659016

3 The University of Queensland, NRSM, St Lucia Campus, Qld 4072, Austrália  
[malcolm.wegener@mailbox.uq.edu.au](mailto:malcolm.wegener@mailbox.uq.edu.au) Fone: 00xx61733652939 Fax: +61733659016

4The University of Queensland, NRSM, St Lucia Campus, Qld 4072, Austrália  
[schamala@uqg.uq.edu.au](mailto:schamala@uqg.uq.edu.au) Fone: 00xx61733652159 Fax: +61733659016

5 The University of Queensland, NRSM, Gatton Campus, Qld 4343, Austrália  
[rbeeton@uqg.uq.edu.au](mailto:rbeeton@uqg.uq.edu.au) Fone: 00xx61733659014 Fax +61754601324

## Abstract

This paper discusses the applicability of the Life Cycle Assessment approach (LCA) to assess and quantify the environmental impacts of agricultural production systems. It presents a practical application of the method for the pig and poultry industries in Santa Catarina, Brazil. LCA involves compilation and evaluation of the inputs, outputs and the potential environmental impact of a product system throughout its life cycle and is considered an important step in the ISO 14000 certification process. Despite being predominantly used in the industrial sector in Europe, USA, Australia and Japan, the literature describes recent examples of the use of LCA in agricultural production systems. The results of the LCA of the pig and poultry industries reveal the *environmental hot spots* grouped into three end point level damage categories: (a) human health; (b) ecosystem quality; and (c) energy resources. The overall impact of pig production for these three end point categories is 49% higher than poultry, under current production and waste management systems used in the region. This paper concludes that the LCA approach is applicable in the assessment of environmental impacts of agricultural production, although some important impact categories, particularly those that deal with amenity values and are hard to quantify, are not included in the conventional LCA analysis. Also, LCA is applicable for comparing the environmental performance of conventional and alternative production systems (e.g. organic farming), as long as sufficient data for both systems are available.

---

<sup>1</sup> Artigo apresentado no **V Simpósio IESA/SBAP**, Florianópolis, Brasil – 20 a 23 de maio de 2002. **Sessão 1**, tema “Avanços conceituais e metodológicas na concepção de agroecossistemas”.

## **Resumo**

Neste artigo apresenta-se o método “Análise do Ciclo de Vida” (ACV), ou do inglês “*Life Cycle Assessment*” (LCA), como uma abordagem para quantificar e avaliar o impacto ambiental da produção agrícola. O artigo apresenta os resultados de um estudo de ACV da suinocultura e avicultura de Santa Catarina, Brasil. A ACV é um sistema de contabilização dos custos imputados ao meio ambiente por um produto ou serviço ao longo de toda a sua vida. O método quantifica o uso de recursos naturais e o fluxo de materiais e energia desde a produção, transporte e utilização até a destinação final dos resíduos. Apesar de ser predominantemente aplicada no setor industrial na Europa, EUA, Austrália e Japão, recentes usos da ACV no setor agrícola foram descritos na literatura.

A abordagem de ACV consiste de quatro passos. No primeiro passo, define-se o objetivo e o escopo da análise. No passo seguinte faz-se um inventário de todos os recursos (elementos da natureza, balanço de massa e energia) utilizados e as emissões de resíduos. O terceiro passo trata da classificação e análise do impacto do ciclo de vida (AICV) onde os dados do inventário são analisados e agregados de forma a obter-se um índice chamado “eco-indicador”. O último passo da ACV trata da avaliação, interpretação e comparação dos resultados e da identificação dos pontos críticos do processo produtivo.

Os resultados do eco-indicador obtidos para a suinocultura e avicultura revelam quantitativamente os impactos ambientais de “final de linha” (*end point*) que foram agrupados em três categorias: (a) danos à saúde humana, (b) qualidade do ecossistema e (c) depredação dos recursos naturais. São caracterizados pela eutroficação e acidificação, danos aos recursos naturais (água, solo e ar), consumo de recursos não renováveis (combustíveis), danos à camada de ozônio, perda de biodiversidade e ecotoxicidade. O impacto geral dos suínos nos sistemas de produção e manejo de dejetos atualmente empregados é 49% superior aos da avicultura. Embora a ACV da suinocultura e avicultura neste estudo tenha apenas o caráter de ilustrar o uso do método, permite concluir que a ACV é aplicável para a avaliação dos impactos ambientais da produção agrícola, mas com limitações. Conclui ainda que a ACV permite comparar o desempenho ambiental de sistemas produtivos orgânicos com os sistemas convencionais, quando os dados de ambos os sistemas estiverem disponíveis.

## 1 Introdução

Diversos estudos recentes identificaram uma preocupação cada vez maior dos consumidores com as externalidades negativas causadas pelos produtos e serviços que eles consomem. Um produto já não é mais visto apenas pela sua natureza e forma física, mas também pela função que desempenha. Essa conscientização crescente e a conseqüente demanda por “produtos limpos” ou “ambientalmente corretos” está sendo impulsionada em grande parte pela necessidade de assegurar a sustentabilidade dos processos produtivos, mas principalmente a saúde do planeta como um todo (Chandak, 2001). Os modelos de produção agrícola mais difundidos no mundo nas últimas 4 décadas, priorizaram a eficiência técnica e econômica, onde a produtividade física foi aumentada de forma expressiva, com o objetivo de suprir a demanda do mercado e a maximização de lucros.

O desenvolvimento da suinocultura e avicultura de Santa Catarina (SC) ocorre dentro desse mesmo paradigma. As recentes transformações foram no sentido de concentrar a produção em um menor número de produtores e em menor área geográfica para obter ganhos de escala e eficiência logística. Esse modelo, entretanto, está se mostrando insustentável sob aspectos ambientais, quando o volume de dejetos produzidos supera a capacidade de assimilação do ambiente local (Epagri & Embrapa/Cnpisa, 2000). A produção de suínos e aves contribui para a produção de gases causadores do efeito estufa, principalmente metano, além de outros como o  $N_2O$  e óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ). O excesso de nutrientes no solo causa contaminação da água de superfície e do subsolo. A eutroficação e a acidificação do solo e da água são importantes impactos ambientais que causam danos à biodiversidade e desequilíbrio (Cees, 2001). Algumas melhorias básicas visando diminuir o impacto ambiental da suinocultura e da avicultura já vêm sendo implementadas em SC. Entretanto, uma pergunta frequente que se coloca para as empresas e produtores é: *como estes operadores poderiam melhorar ainda mais sua performance ambiental e como os resultados das melhorias poderiam ser medidos e documentados?*

Um número crescente de ferramentas e abordagens têm sido propostas para se avaliar o desempenho ambiental de produtos e serviços e a sustentabilidade do

desenvolvimento, principalmente para comparar sistemas de produção orgânicos e convencionais (Nicoletti et al., 2001). Como nem todos os impactos ambientais da produção de suínos e aves são gerados no nível da propriedade rural, a aplicação Análise do Ciclo de Vida (ACV) foi escolhida para esse estudo, pois permite captar também os impactos do ciclo de vida que estão a montante e a jusante da propriedade, como a produção de insumos, transporte e energia.

## **2. O que é Análise do Ciclo de Vida (ACV)?**

ACV é sobretudo uma visão de futuro, que permite avaliar escolhas e definir mudanças, tendo uma abordagem preventiva em vez de prescritiva (Hamilton et al., 2000). Diversas definições para a ACV são encontradas na literatura, com diferentes ênfases como por exemplo, SETAC (1991), Weidema (1997) e Grant (2001). Para a ISO 14040, ACV é “uma compilação e avaliação das entradas e saídas e os potenciais impactos ambientais de um sistema/produto ao longo de seu ciclo de vida” (ISO, 1998). Essa definição porém, não indica as razões para o uso de ACV. Grant (2001 p.2) oferece uma definição que foca mais o processo, incluindo as razões pelas quais esses estudos são feitos, ao definir ACV como “análise dos fluxos ambientais através de um produto, com o objetivo de otimizar o desempenho ambiental desse produto ou serviço ao longo de seu ciclo de vida”. Já para Weidema (1997) é fundamentalmente um processo de escolha, ao afirmar que “ACV tem o propósito de avaliar os potenciais impactos ambientais da substituição de produtos” ou seja, a opção de um produto em substituição à outro. Independente da ênfase, o que é central para ACV é que esta “considera todos os materiais e energia utilizados no ciclo de vida, incluindo a depredação de recursos naturais e emissões para o ar, água e solo” (Gilbert et al., 2001 p.3).

No Brasil, o Grupo de Prevenção da Poluição da USP (GP2) define ACV como sendo “uma técnica da gestão ambiental que consiste em avaliar o desempenho ambiental de um produto ao longo de todo o seu ciclo de vida, ou seja, desde a extração dos recursos naturais (materiais e energéticos) até a disposição final, passando por todos os estágios de transformação industrial, distribuição e uso” (GP2, 2002). ACV é sobretudo a medição dos efeitos de mudanças introduzidas pela tecnosfera (ou antroposfera) sobre a ecosfera.

Uma representação esquemática de ACV é apresentado na Figura 1. Essa abordagem contempla tanto os fluxos de entrada (origem) como de saída (destino) de todos os produtos e resíduos.

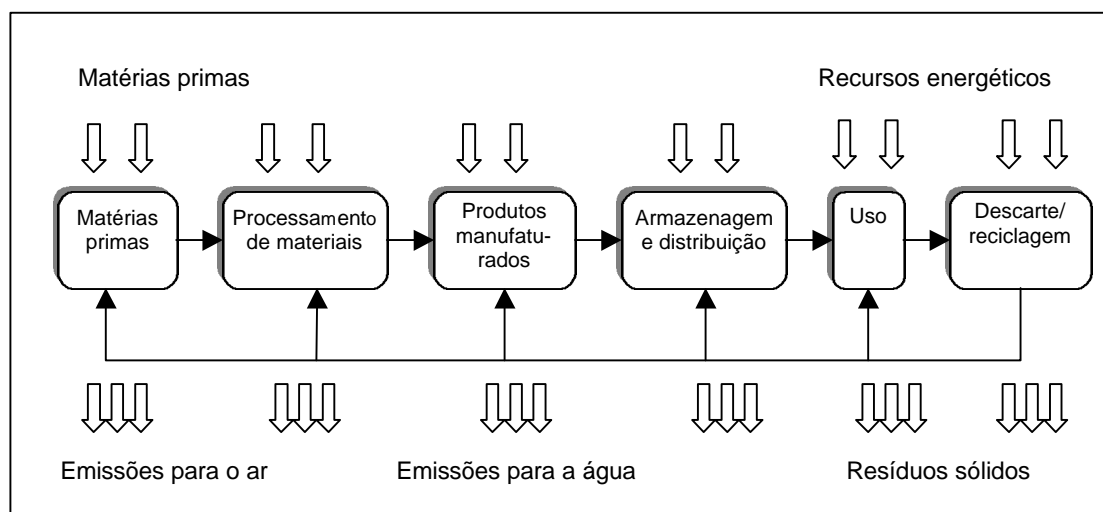


Figura 1 – Representação esquemática da ACV Fonte: Adaptado Grant (2001).

Na Figura 2 apresenta-se de forma concisa o ciclo de vida de um livro. Em geral um estudo de ACV pode contemplar todas as etapas do ciclo vida, sendo chamado de “do berço à cova” (*from cradle to grave*) ou “do berço ao portão” (*from cradle to gate*), quando se limita até determinada fase.

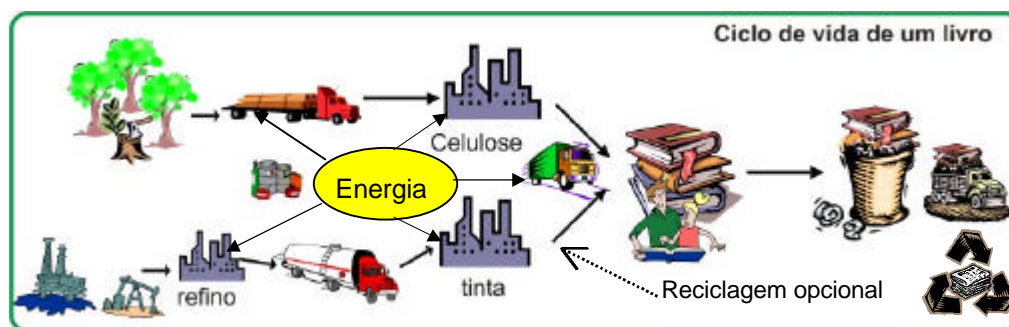


Figura 2 – Representação esquemática do ciclo de vida de um livro Fonte: Adaptado de GP2 (2002).

## 2.1 O desenvolvimento da ACV

Até 1980, diversas análises do fluxo de energia delimitaram as bases para o desenvolvimento da ACV. Segundo Grant (2001) já em 1966 a Companhia Coca Cola fez estudos para avaliar aspectos de energia relacionados à produção e uso de latas. Em 1972 na Alemanha ocorreram estudos sobre polímeros biodegradáveis e também foram conduzidos estudos sobre embalagens plásticas. Em 1979 foi publicado o Manual de Análise de Energia Industrial, que trouxe dados sobre vários tipos e processos de energia. De 1980 a 1992 os

estudos evoluíram da análise para a avaliação, mas aproximadamente 50% dos estudos de ACV se referiam a embalagens, com destaque para a Suíça. Entre 1992 e 1997, as normas e padrões ganharam força e o método passou a se popularizar, com a necessidade e o desejo de incorporar mais aspectos ambientais nos padrões. Documentos importantes sobre normas e padrões que surgiram nesse período, de acordo com Grant (2001) foram:

- O guia do CML (1992) (*Centre of Environmental Science*)
- US EPA (1993) (*A agência de proteção ambiental dos EUA*)
- Normas e padrões da Noruega (1995)
- Relatórios de workshops e grupos de trabalho da SETAC<sup>2</sup>
- A série ISO<sup>3</sup> 14040
- UNEP<sup>4</sup> – (LCA o que é e como aplicá-la)

A partir de 1997, algumas companhias passaram a integrar a ACV em seus sistemas de gestão e a ACV também passou a ser a base para programas de certificação ambiental (selos ambientais). Atualmente estão sendo desenvolvidas ferramentas específicas para ACV nas áreas de construção, design de produtos, eletrônica, manejo de resíduos e lixo, e engenharia de ACV. Nos EUA, a ênfase tem sido o uso da ACV em projetos de grande porte. O Japão está conduzindo um projeto para uniformizar procedimentos em ACV (*standards*) e formar um banco de dados (Grant, 2001). Entretanto Dinamarca, Holanda, Itália e Suécia são os países onde a utilização de ACV na agricultura tem sido mais freqüente.

No Brasil, a ACV está na sua “infância” e a literatura relata poucos exemplos de aplicação prática. O GP2 da USP desenvolve um projeto que tem por objetivo “o desenvolvimento de um banco de dados para apoio à execução de estudos de ACV, adequados às condições brasileiras” (GP2, 2002 p.3.). O GP2 busca preencher uma lacuna importante que é obter dados para a matriz energética brasileira baseada em energia hidroelétrica, já que os dados disponíveis nos bancos de dados internacionais são baseados em energia majoritariamente proveniente do uso de carvão. Além disso, de acordo com Anderis (2002,

---

<sup>2</sup> SETAC® - Society of Environmental Toxicology and Chemistry

<sup>3</sup> As principais ISO da série 14000 que tratam de LCA são: (a) ISO 14040 = LCA - Principles and framework (1998); (b) ISO 14041 = LCA - Goal and scope definition; (c) ISO 14042 = LCA – Life cycle impact assessment (2000) e (d) ISO 14043 = Life cycle interpretation (2000).

<sup>4</sup> UNEP = United Nations Environment Programme

comunic. pessoal), existe em Campinas um grupo trabalhando com ACV no setor de embalagens. Outros estudos brasileiros de ACV incluem a análise de produção de palmito, fábrica de superfosfato simples e triplo, indústria cervejeira e indústria automobilística.

## **2.2 Pontos fortes e fracos da ACV**

Os pontos fortes da ACV destacados são seu foco na unidade de produção, que é a razão de ser da organização e estabelece uma interface com o consumidor e o público. Outro ponto forte é o fato de alocar “responsabilidade” e uma relação de causa e efeito, contemplando todo o sistema, permitindo ainda considerar as alocações econômicas. Por fim, a ACV permite medir o efeito das mudanças provocadas pelas intervenções. Outro ponto de destaque da ACV é sua visão holística, permitindo a visualização das inúmeras unidades de forma sistêmica. Entretanto, para ser uma ferramenta prática, essa visão sistêmica exige simplificações e delimitações nos termos conceituais i.e., definição dos tipos de impactos, delimitação regional e temporal (GP2, 2002).

Os pontos fracos e limitações da ACV são sua complexidade e grande demanda de dados e tempo, o que as vezes torna os estudos proibitivamente caros (Hamilton et al., 2000). Muitas vezes questões são levantadas quanto à definição espacial e temporal do estudo, sendo inapropriado para avaliação de risco e sensibilidade ao ambiente local. Além disso o método ainda não considera aspectos estéticos e paisagísticos, devido à dificuldade de mensuração.

## **2.3 Passos do processo de ACV**

Os estudos de ACV consistem de 4 passos fundamentais:

- Definição do objetivo e do escopo (que inclui a definição da unidade funcional UF e das fronteiras do estudo)
- Inventário do ciclo de vida (ICV)
- Avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV)
- Interpretação

Uma representação do esquema geral da ACV é apresentada na Figura 3. A interpretação ocorre ao longo de todo o processo. A AICV, de acordo com Grant (2001) tem alguns elementos compulsórios e outros facultativos. Entre os

compulsórios estão: (a) seleção das categorias de impacto; (b) alocação dos resultados do inventário (classificação); e (c) cálculo de indicadores de impactos por categoria (avaliação e caracterização). Os elementos opcionais são: (a) normalização; (b) agrupamento; (c) ponderação; e (d) análise da qualidade dos dados.

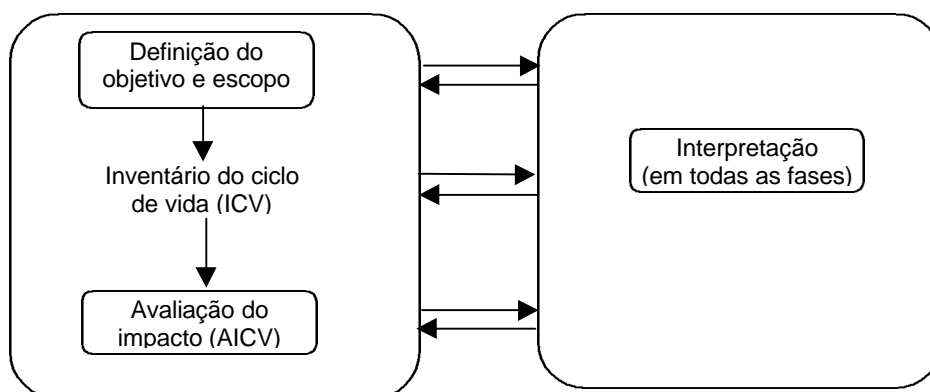


Figura 3: Esquema geral da ACV Fonte: Brentrup (2001 p.222)

### 2.3.1 Definição do objetivo e do escopo da ACV

Nessa fase ocorre a descrição do produto e a definição de: (a) seu escopo (definindo as fronteiras do estudo e quais processos farão parte da análise); (b) o nível de confiabilidade requerida; (c) os passos para o julgamento. Isso significa, em outras palavras, definir o que vai ser feito e como se pretende fazê-lo. Deve-se estabelecer as razões para realizar o estudo e para quem. Também é preciso definir-se uma Unidade Funcional (FU), que é a medida para qual todos os dados vão ser quantificados (e.g. 1000 litros de leite entregues na indústria). No caso de o sistema produzir mais de um produto, será necessário estabelecer-se os critérios de alocação dos impactos para cada produto ou subproduto.

### 2.3.2 Inventário do ciclo de vida (ICV)

Nesse estágio é feita uma descrição sistemática de todos os processos envolvidos no ciclo de vida do produto ou serviço e a coleta de dados de cada um. Ocorre também o cálculo da tabela de inventário com todas as matérias primas, depredação de recursos naturais e as estimativas de emissão de resíduos.

### 2.3.3 Análise do impacto ambiental (AICV)

AICV refere-se à classificação e alocação de todas as emissões e a depredação de recursos naturais aos seus respectivos impactos ambientais. Como passos

opcionais, pode ser calculado também um escore único *por efeito* e a chamada “normalização”, que é o escore do efeito de acordo com a sua magnitude. Um único índice global do impacto ambiental do produto também pode ser calculado.

#### **2.3.4 Interpretação**

Nessa fase ocorre a identificação das questões mais relevantes que causam impacto ambiental (*hot spots*), a avaliação do próprio estudo quanto à qualidade dos dados, análise de sensibilidade e checagem de consistências. Finalmente, através de relatório, são feitas as conclusões e recomendações para melhorar o desempenho ambiental.

### **3 Aplicação prática – suinocultura e avicultura de Santa Catarina**

#### **3.1 Objetivo e escopo dessa ACV são:**

1. Identificar, quantificar e comparar os maiores impactos ambientais (*hot spots*) nos sistemas típicos de produção de suínos e aves em SC.
2. Testar a hipótese de que no sistema de produção e tratamento de dejetos atualmente predominante em SC, a suinocultura tem maior impacto ambiental que a avicultura.

#### **3.2 Descrição dos sistemas analisados**

Os sistemas analisados refletem os mais típicos processos de produção de suínos e aves em SC. Para suínos, analisou-se o sistema de ciclo completo, com produtividade de 20 terminados/porca/ano, conversão alimentar (CA) de 3,18 kg de ração para 1 Kg de peso vivo. Para frangos, um aviário de 1200 m<sup>2</sup> foi escolhido produzindo 7 lotes/ano, com CA de 1,88 : 1. No caso da avicultura, assumiu-se que o sistema seja totalmente integrado com a agroindústria, sendo que esta fornece todos os insumos como ração, pintos, medicamentos e assistência técnica. Para suínos, considerou-se um cenário em que 60% da ração é fornecida pela integradora e 40% é produzido a propriedade, com milho cultivado na granja, e farelo de soja e premix comprados de fábricas.

#### **3.3 Fronteiras do sistema e delimitações**

As fronteiras do sistema para esse estudo incluem: (a) os processos a montante da produção na granja, como a produção dos insumos usados para produzir o

milho, soja, farelo, premix e medicamentos, seu processamento e transporte em todos os estágios; (b) os processos de produção de suínos e aves na granja; e (c) o transporte de suínos e aves vivas até o abatedouro. O estudo não inclui o abate e o processamento de carnes, nem sua distribuição. Os componentes mais importantes do sistema estão apresentados na Figura 4. Os processos da área sombreada estão incluídos nessa ACV.

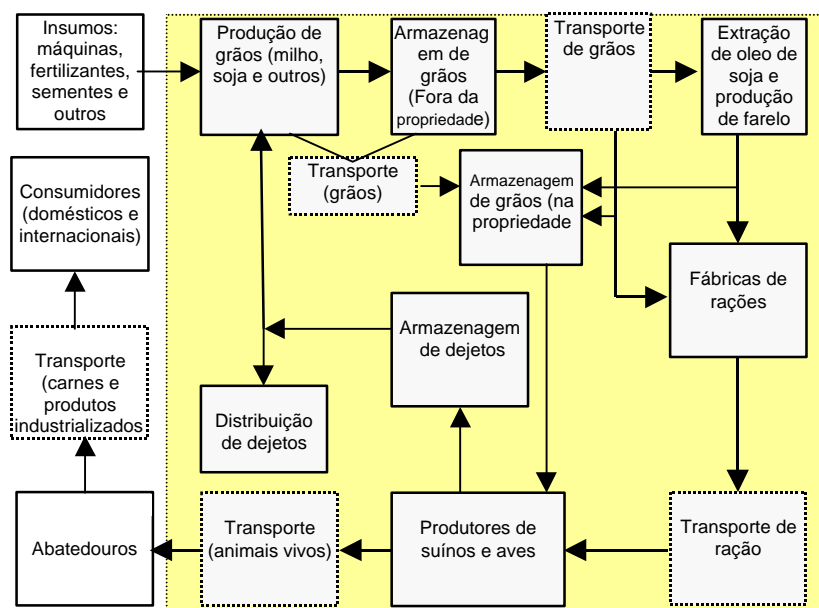


Figura 4 - Principais componentes do sistema de produção de suínos e aves de SC e as fronteiras da ACV.

### 3.4 Unidade Funcional (UF)

Tanto para suínos como para aves, a UF para esse estudo foi definida como sendo “a produção de uma tonelada de peso vivo (suínos ou aves) entregue no abatedouro”. A justificativa para a seleção dessa UF está fundamentada no fato de que os suínos e aves são transportados vivos até o abatedouro e uma tonelada permite escala suficiente para medir os vários aspectos dos impactos ambientais associados aos processos que integram a cadeia produtiva.

### 3.5 Modelo de avaliação do impacto ambiental

Existem vários métodos de avaliação do impacto ambiental que foram publicados e disponibilizados através da literatura e de softwares, como o SimaPro e GaBi (e.g. BUWAL, 1998; Goedkoop, 1995; Goedkoop et al., 1999). Para este estudo utilizamos o *Eco-indicator 95* para o cálculo dos impactos por categoria, combinado com o *Eco-indicator 99* para agrupar os impactos no nível de final de linha (*end point impacts*).

### 3.5.1 Seleção das categorias de impacto

Ainda existe muito debate entre os praticantes de ACV sobre os melhores métodos para estabelecer as categorias de impacto. Um conjunto básico, com seus respectivos escopos espaciais foi sugerido por Ude de Haes (1996), citado em (Olsen et al., 2001). As categorias de impacto selecionadas para este estudo estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Categorias de impacto para a ACV de suínos e aves de SC

<b>Categoria de impacto</b>	<b>Unidade</b>	<b>Maiores contribuintes</b>	<b>Natureza do dano (e.g.)</b>
Efeito estufa	kg CO <sub>2</sub> equiv.	CO <sub>2</sub> eq, N <sub>2</sub> O, metano	Mudanças climáticas
Camada de ozônio	Kg CFC11	CFCs**, Hallon, HCFC	Mudanças climáticas, problemas de saúde
Acidificação	kg SO <sub>2</sub>	kg SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub>	SOx, NOx, HCl, NH <sub>4</sub>
Eutroficação	kg PO <sub>4</sub> equiv.	NOx, PO <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Crescimento algas tóxicas, danos ao ecossistema
Metais pesados	Kg Pb	Metais, Mn, Pb, Ni, Sb, Mo, Hg	Problemas de saúde e danos ao ecossistema
Carcinogênicos	KgB(a)P*	Metais, Cr, Ni	Câncer
Pesticidas	Kg i.ativo	Agrotóxicos para milho e soja e outros grãos	Ecotoxicidade
Recursos energéticos	MJ LHV	Hidroelétrica, carvão, óleo, urânio, etc.	Esgotamento de recursos energéticos não renováveis
Resíduos sólidos	kg	Todos os resíduos sólidos, DBO <sub>5</sub> *** /DQO****	Perda de biodiversidade em fluxos de água

\* B(a)P Benzo-pyrene; \*\* Cloro flúor carbonos; \*\*\* Demanda biológica de oxigênio;

\*\*\*\* Demanda química de oxigênio

Há outras categorias de impacto como uso de solo, odores ofensivos, moscas e borrachudos que não são analisadas satisfatoriamente na metodologia de ACV. Numa pesquisa realizada em 2001 em SC esses impactos entretanto, foram considerados entre os importantes pelas comunidades diretamente afetadas pela produção de suínos e aves (Spies et al., 2002). Segundo a Epagri e a Embrapa/CNPSA (2000), preocupações semelhantes foram identificadas por outra pesquisa realizada na bacia do Rio Fragosos no município de Concórdia.

### 3.5.2 Caracterização

Os resultados do inventário foram agrupados de acordo com as diferentes categorias de impacto da Tabela 1 para proporcionar um melhor entendimento do nível de contribuição de cada substância para cada categoria de impacto. A Tabela 2 apresenta os fatores de caracterização utilizados nesse estudo e são similares aos sugeridos por Cederberg (1998) e Grant et al. (1999). As emissões são classificadas em gasosas, líquidas e sólidas, para o ar, água e solo.

Tabela 2 – Fatores de caracterização para a ACV de suínos e aves de SC

Categoria impacto	Unidade	Substância	Fator
Resíduos sólidos	kg	Lixo industrial	1
		Esterco (animal)	1
		Resíduo (lixo) mineral	1
Uso de água	klitro	Água	1
Eutroficação	kg PO <sub>4</sub> equiv.	Fosfatos (PO <sub>4</sub> ) (ar e água)	1
		P ou P-tot (ar e água)	3.06
		Amônia (NH <sub>3</sub> ) (água)	0.33
		Nitratos (HNO <sub>3</sub> ) (ar e água)	0.1
		Kjeldahl-N	0.42
		N-tot (água)	0.42
		NH <sub>4</sub> (água)	0.33
		DBO (kg) (água)	0.11
		DQO (kg) (água)	0.022
Recursos energéticos	MJ LHV	Água de barragens	0.01
		Energia de hidroelétricas	1
		Carvão 29.3 MJ/Kg (kg)	29.3
		Petróleo cru (kg)	41.0
		Gas natural (kg)	30.3
		Energia de lenha (MJ)	1.0
		Metano (Kg)	35.9
Efeito estufa	kg CO <sub>2</sub> equiv.	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	1*
		Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	270
		Metano (CH <sub>4</sub> )	21*
Acidificação	kg SO <sub>2</sub>	Óxidos de enxofre (SO <sub>x</sub> ) (SO <sub>2</sub> )	1
		Dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> )	1
		Óxido nitrogênio (NO <sub>x</sub> eq.NO <sub>2</sub> )	0.7
		Cloreto de hidrogênio (HCl)	0.88
		Fluoreto de hidrogênio (HF)	1.6
		Amônia (NH <sub>4</sub> ) (kg)	1.88
Pesticidas	kg substância ativa	Atrazine, Glyphosato, Simazine	1
		Outros pesticidas	1

\* Isso significa que o metano contribui 21 vezes mais que o CO<sub>2</sub> para o efeito estufa.

### 3. Resultados e discussão

Os resultados de classificação e caracterização dos impactos para a produção de suínos estão apresentados na Figura 5 e na Tabela 3. Similarmente a classificação e caracterização dos impactos da produção de aves estão apresentados na Figura 6 e na Tabela 4. Nos gráficos, todos os efeitos estão ajustados para a escala 100%. Os dados negativos são originados pelos benefícios ambientais resultantes do uso do esterco de suínos e aves na agricultura. Isso reduz a necessidade de produção de fertilizantes químicos e os impactos conseqüentes desse processo.

Os componentes agrícolas (produção de milho e soja) não estão apresentados em detalhes, mas suas ACVs foram calculadas para integrar a ACV da produção de suínos e aves, (ração) nas fronteiras delimitadas no item 3.3. (veja Figura 7).

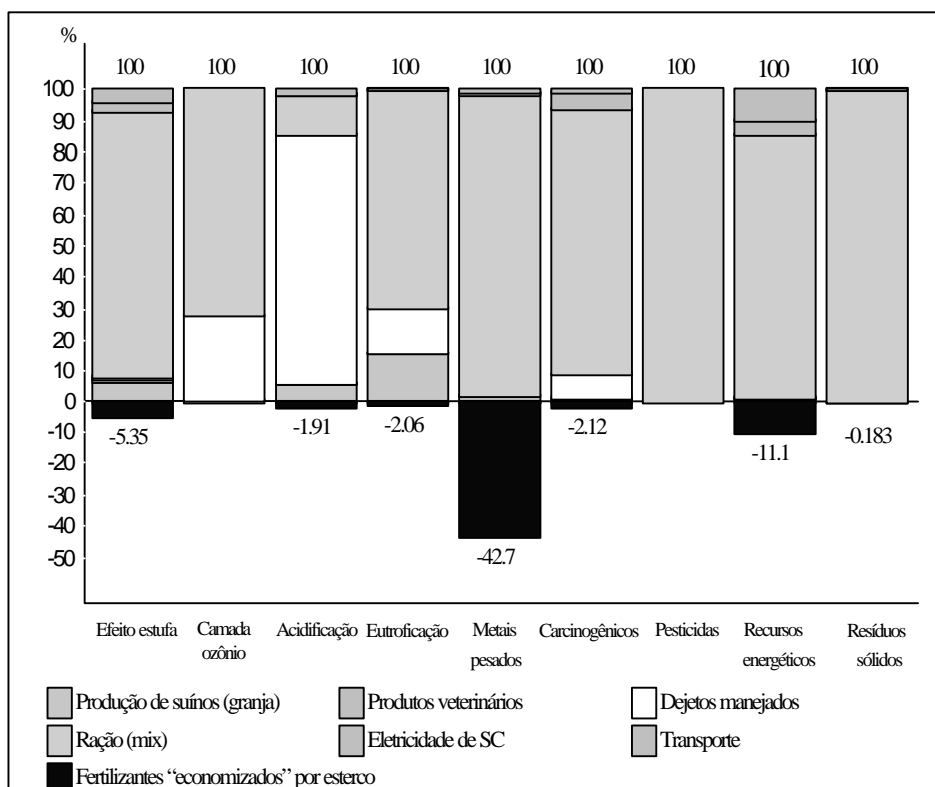


Figura 5 - Análise de 1 tonelada de peso vivo de suínos em SC; Método de caracterização impactos: *Eco-indicator 95 / Europe e*

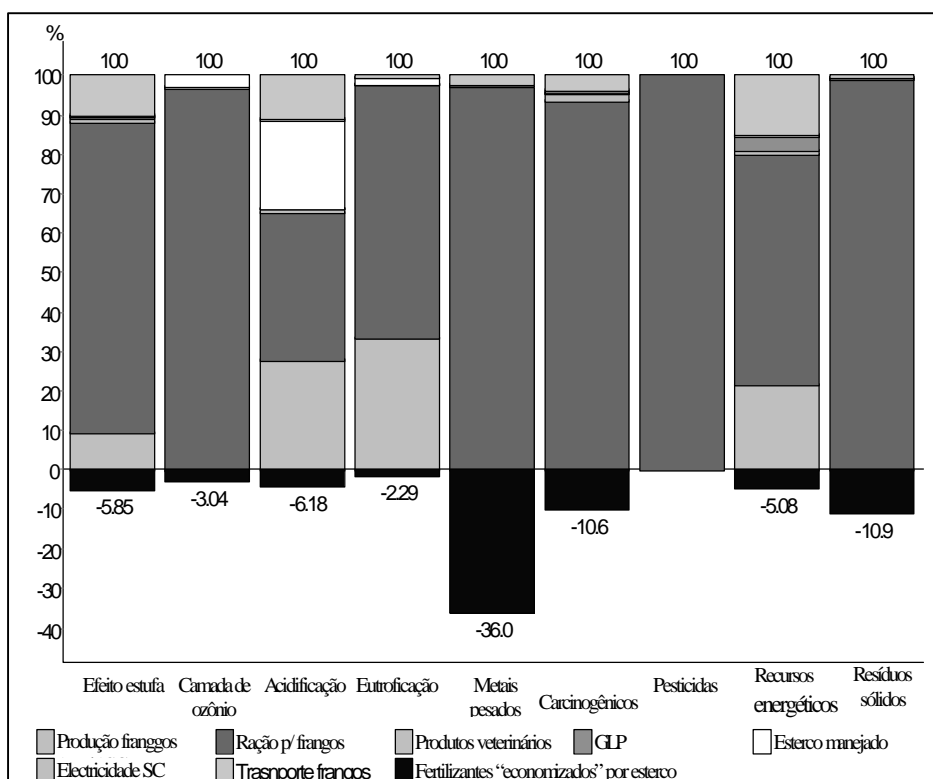


Figura 6 - Análise de 1 tonelada de peso vivo de frangos em SC; Método de caracterização impactos: *Eco-indicator 95 / Europe e*

Uma análise muito útil em ACV é a modelagem em forma de árvore, que permite a representação dos impactos com indicação de cada processo e sua respectiva contribuição percentual ou absoluta para o impacto total. A Figura 7 (gerada com o programa Simapro5) apresenta o modelo parcial para produção de suínos em SC. Note que nem todos os procesos estão expandidos até seu último nível.

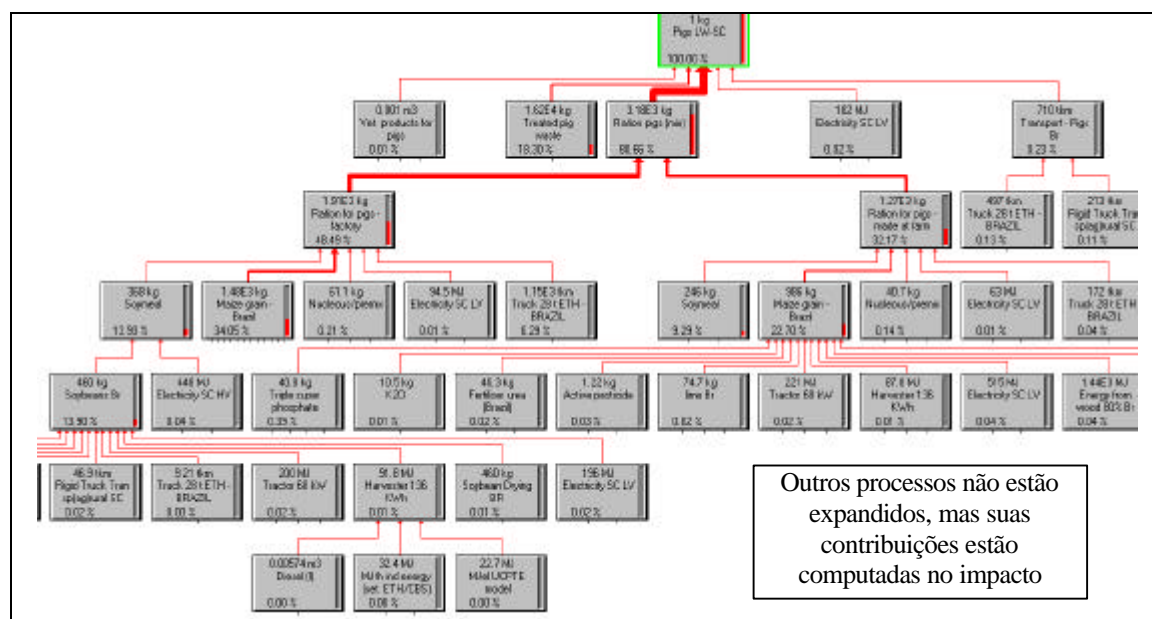


Figura 7 – Representação parcial do modelo para produção de suínos em SC, com respectivos % de origem dos impactos. Método: *Eco-indicator 95-Europe e*.

A Figura 8 apresenta a comparação dos impactos por categoria, para suínos e aves em SC. O impacto da produção de aves é inferior ao de suínos em todas as categorias, com exceção de pesticidas e esgotamento de recursos energéticos. Isso se deve em grande parte pela melhor conversão alimentar das aves e pelo fato de estas terem dejetos secos e em menor volume. Nas duas categorias em que o impacto da avicultura supera o da suinocultura (pesticidas e energia), a causa é o maior percentual de farelo de soja na ração de frangos. Para a produção de soja, maior quantidade de pesticidas é utilizada se comparada ao milho e na produção do farelo de soja, grande quantidade de energia é utilizada.

Os resultados das Tabelas 3 e 4 revelam que para produzir uma tonelada de peso vivo de suínos, entregue no abatedouro, 3360 Kg de CO<sub>2</sub> equivalente são produzidos. Para a mesma tonelada de frangos o montante é de 2270 Kg de CO<sub>2</sub>. Da mesma forma, os dados revelam os totais para as outras categorias de impacto como eutroficação, acidificação, metais pesados e carcinogênicos.

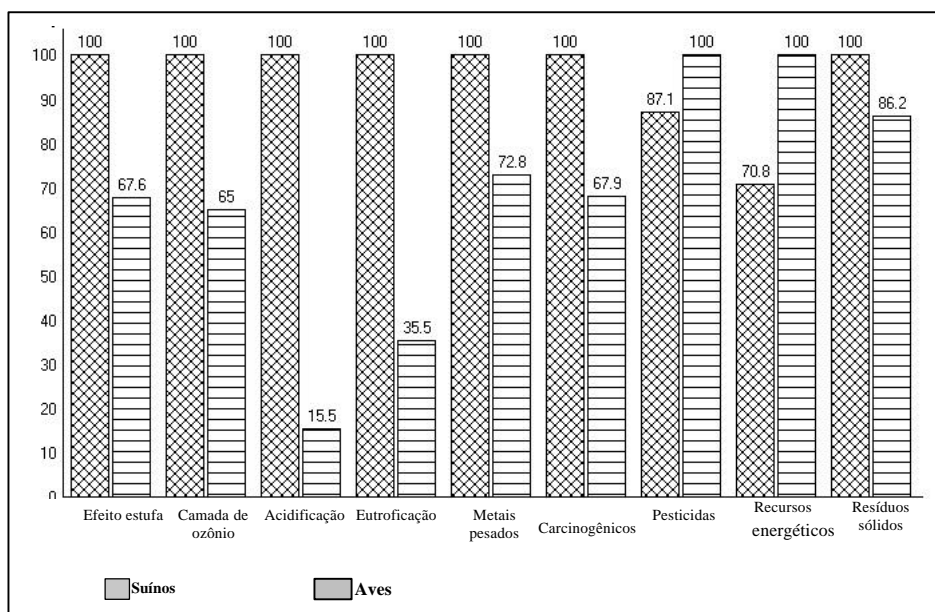


Figura 8 - Comparação de 1 tonelada de peso vivo de suínos e frangos em SC; Método de caracterização impactos: *Eco-indicator 95 / Europe e*

Tabela 3: Caracterização por categoria de impacto. Análise da produção de 1 tonelada de peso vivo de suínos em SC, entregue no abatedouro. Método de caracterização impactos: *Eco-indicator 95 / Europe e*

Categoria de impacto	Unidade (equivalente)	Produção de suínos	Produtos veterinários e limpeza	Dejetos tratados	Ração p/ suínos (mix)	Energia elétrica SC	Transporte	Fertilizantes economizados	Total
Efeito estufa	kg CO <sub>2</sub> eq.	72.8	20.0	44.7	3.260	19.3	137	-190	3.360
Camada de ozônio	Kg CFC11	x	3.04E-6	0.000156	0.000418	x	x	x	0.000577
Acidificação	kg SO <sub>2</sub>	4.76	0.335	130	19.6	0.115	1.95	-3	154
Eutroficação	kg PO <sub>4</sub> eq.	18.9	0.0295	65.4	310	0.0106	0.314	-8.11	386
Metais pesados	Kg Pb	x	4.04E-5	0.000399	0.0167	1.48E-5	0.000198	-0.00743	0.00996
Carcinogênicos	Kg B(a)P	x	2.75E-7	1.02E-6	1.18E-5	1.2E-7	1.62E-7	-2.85E-7	1.31E-5
Pesticidas	kg a.i.	x	x	x	1.71	x	x	x	1.71
Recursos energéticos	MJ LHV	x	289	3.6	1.5E4	141	1.85E3	-1.91E3	1.54E4
Resíduos sólidos	kg	x	0.0382	x	28.7	4.08E-5	0.0665	-0.0527	28.8

A Figura 9 compara os impactos da suinocultura e avicultura de SC no nível de “final-de-linha”. A maior diferença ocorre no aspecto da saúde humana (653 eco-pontos<sup>5</sup> dos suínos contra 282 de aves). No aspecto qualidade do ecossistema, também as aves têm menor impacto que os suínos. Apenas no impacto relacionado à depredação de recursos naturais e energéticos as aves tiveram resultado pior (24,7 eco-pontos contra 17,8 dos suínos).

<sup>5</sup> O valor do eco-indicador é expresso em pontos de eco-indicador (Pt). O valor absoluto (Pt) tem apenas o sentido de comparação. Para uma lista de valores Pt ver Goedkoop (1995).

Tabela 4: Caracterização por categoria de impacto. Análise da produção de 1 tonelada de peso vivo de frango em SC, entregue no abatedouro.

Método de caracterização impactos: *Eco-indicator 95 / Europe e*

Categoria de impacto	Unidade (equivalente)	Produção de aves	Ração p/ aves	Produtos veterinários e limpeza	Dejetos tratados	LPG para aquecimento	Energia elétrica SC	Transporte	Fertilizantes economizados	Total
Efeito estufa	kg CO <sub>2</sub> eq.	7.08	2.090	27.7	1.24	12.2	10.5	267	-141	2.270
Camada de ozônio	Kg CFC11	x	0.000375	1.88E-6	9.75E-6	x	x	x	-1.17E-5	0.000375
Acidificação	kg SO <sub>2</sub>	0.0545	13.1	0.208	8.11	0.0386	0.0623	3.94	-1.57	23.9
Eutroficação	kg PO <sub>4</sub> eq.	1.37	134	0.0183	4.07	0.00445	0.00578	0.642	-3.22	137
Metais pesados	Kg Pb	x	0.011	2.51E-5	2.49E-5	6.05E-6	8.05E-6	0.000244	-0.00407	0.00725
Carcinogênicos	Kg B(a)P	x	9.33E-6	1.71E-7	6.36E-8	1.66E-9	6.55E-8	3.52E-7	-1.05E-6	8.93E-6
Pesticidas	kg a.i.	x	1.96	x	x	x	x	x	x	1.96
Recursos energéticos	MJ LHV	5.02E3	1.33E4	179	0.224	855	76.7	3.48E3	-1.16E3	2.17E4
Resíduos sólidos	kg	x	27.6	0.0237	x	0.0713	2.22E-5	0.119	-3.03	24.8

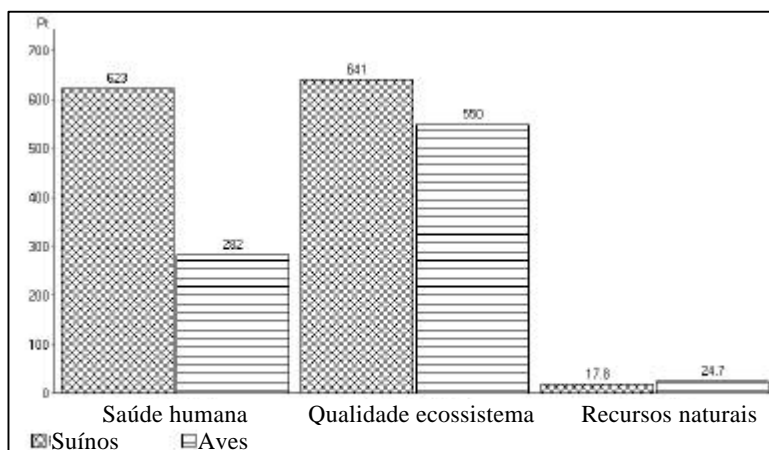


Figura 9 - Comparação de impactos de 1 ton de suínos com 1 ton de frangos  
Método de caracterização: *Eco-indicator 99(H) / Europa EI 99 H/A – ponderação.*

A Figura 10 mostra os impactos ambientais acumulados para suínos e aves, (1280 e 857 eco-pontos respectivamente), indicando que a suinocultura tem um impacto negativo 49% superior aos da avicultura, no método *Eco-indicator 99*.

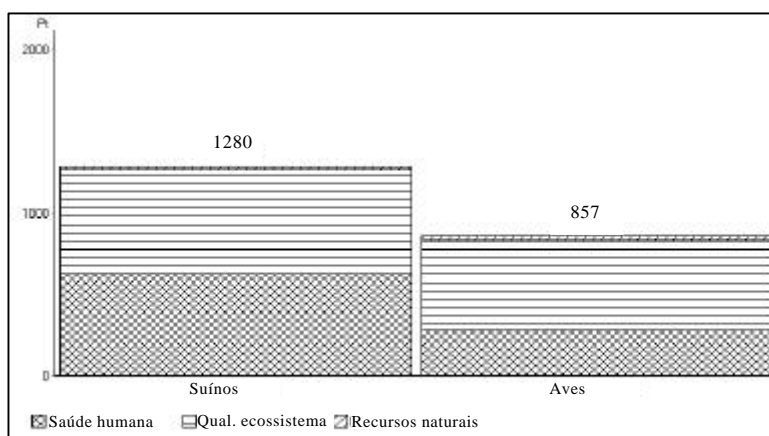


Figura 10 - Comparação de impactos de 1 ton de suínos com 1 t de frangos  
Método de caracterização: *Eco-indicator 99(H) / Europa EI 99 H/A – escore único*

#### 4. Conclusões e recomendações

A partir desse estudo de aplicação da ACV na agricultura (suinocultura e avicultura de SC) podemos concluir que:

- A ACV é um método aplicável para análise de impactos ambientais da agricultura. Apesar de não mostrá-los em separado, as ACVs do milho e da soja foram conduzidas como processos integrantes de produção de suínos e aves. Sobretudo, a ACV permite comparar sistemas e produtos alternativos, como produção orgânica *versus* produção convencional.
- Com os métodos de produção e manejo de dejetos de suínos e aves analisados (que são típicos da região), a produção de suínos tem um impacto ambiental 49% superior ao de aves pelo método *Eco-indicator 99*.
- Os maiores impactos identificados e medidos na ACV estão relacionados à produção e transporte de ração, incluídos nesta, os impactos da produção de ingredientes como o milho e farelo de soja.
- A ACV aplicada neste estudo não captou diversos aspectos importantes do impacto ambiental, tais como borrachudos, moscas, odores ofensivos, perdas de solo e mudanças na paisagem e lazer.
- Os resultados obtidos neste estudo não foram submetidos à controle de sensibilidade, controle de abrangência e controle de coerência, portanto devem ser interpretados com ressalvas e em associação com o contexto dos sistemas de produção e manejo de dejetos descritos.

Com base no estudo, faz-se as seguintes recomendações:

- Como a maioria dos dados disponíveis nos bancos de dados e softwares de ACV são de origem européia ou norte-americana, é importante que no Brasil sejam formados grupos de trabalho que possam construir e disponibilizar bancos de dados para ACV adequados à realidade do país.
- Para usar o método, é recomendável que se amplie a massa crítica de ACV no Brasil, especialmente no setor agrícola, associando-se esses grupos com as redes internacionais para trocar conhecimentos e dados.

#### Agradecimento:

Os autores agradecem o apoio do CNPq (provedor da bolsa de doutorado no exterior da qual esse estudo é parte), à UQ e à Epagri. Também agradecem ao Cnpsa da Embrapa e às diversas empresas e pessoas que forneceram seus dados para esse estudo.

## 5 Referências

- Anderis, G. (2002). LCA/ACV. São Paulo: Comunicação pessoal.
- Brenttrup, F., Küsters, J., Kuhlmann, H., & Lammel, J. (2001). Application of Life Cycle Assessment methodology to agricultural production: an example of sugar beet production with different forms of nitrogen fertilisers. *European Journal of Agronomy*, 14, 221-233.
- BUWAL (Ed.). (1998). *Environmental Series N. 250. Life Cycle Inventories for packagings* ( Vol. I and II). Bern: SAEFL.
- Cederberg, C. (1998). *Life cycle assessment of milk production - A comparison of conventional and organic farming*. Gothenburg: SIK, The Swedish Institute of Food and Biotechnology
- Cees, E. v. t. K. (2001). *Environmental technology in pig and poultry production*. Institute fo Agricultural and Environmental Engineering - IMAG. Disponível: [www.ktbl.de/umwelt/recht/chile/klooster.pdf](http://www.ktbl.de/umwelt/recht/chile/klooster.pdf). Acessado em [2001, 12.12.01].
- Chandak, S. P. (2001). *Cleaner production - The strategy to enhance industrial competitiveness*. UNEP, Paris. Acessado em: [2002, 01.03].
- Disponível: <http://www.uneptie.org/pc/cp/reportspdf/sabudhabi2001PDF.pdf>
- EPAGRI, & EMBRAPA CNPSA. (2000). *Inventário das terras e diagnóstico socio-econômico e ambiental sub-bacia hidrográfica Lajeado dos Fragosos, Concórdia SC* (relatório de pesquisa em CD). Florianópolis: SDA/Epagri and Embrapa CNPSA.128
- Gilbert, D. L., Jones, D. G., & Barton, R. T. (2001). Life Cycle Approaches in Ecological Sustainable Asset Management, *Paper for presentation at the May 2000 meeting*. Brisbane: Queensland Life Cycle Network.
- Goedkoop, M. (1995). *NOH report 9523. The Eco-Indicator 95. Final Report*. Amersfoort: Pré Consultants
- Goedkoop, M., Effting, S., & Collignon, M. (1999). *The Eco-indicator 99: A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, Manual for Designers*. Amersfoort: PRé-Consultants B.V.
- GP2. (2002). *Análise do Ciclo de Vida - ACV*. Grupo de Prevenção da Poluição, Escola Politécnica - USP. Disponível: <http://www.gp2poli.hpg.ig.com.br/gp2-acv.htm#con> Acessado em: [2002, 05.03].
- Grant, T. (2001). *Life Cycle Assessment - short course*. Surfers Paradise, Gold Coast: Centre for Design at RMIT University.
- Grant, T., James, K., Dimova, C., Sonneveld, K., Tabor, A., & Lundie, S. (1999). *Stage 1 report for life-cycle assessment of packing waste management in Victoria*. Melbourne, Australia: EcoRecycle
- Hamilton, A., Wegener, M., Dart, P., & Silvey, B. (2000). *Life Cicle Assessment of Milk Production Systems in South Queensland*. Paper presented at the Annual Conference of the Australian Agricultural and Resource Economics Society, AARES, Sydney,

- ISO - International Standard Organisation. (1998). *AS/NZ ISO Standard 14040. Environmental management - life-cycle assessment - principles and framework*. Sydney: Standards Australia.
- Nicoletti, G. M., Notarnicola, B., & Tassielli, G. (2001). *Comparison of conventional and organic wine*. Paper presented at the International Conference on LCA in Foods, Gothenburg, Sweden, 48-52.
- Olsen, S. I., Christensen, F. M., Hauschild, M., Pedersen, F., Larsen, H. f., & Torslov, J. (2001). Life cycle impact assessment and risk assessment of chemicals - a methodological comparison. *Environmental Impact Assessment Review*, 21(January), 385-404.
- SETAC. (1991). *A Technical Framework for Life-Cycle Impact Assessment*. Washington, DC: SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry).
- Soares, S. R. (ano não disponível). *Análise do Ciclo de Vida*. UFSC, Engenharia Sanitária, ENS 5125 - Gestão Ambiental. Disponível: <http://www.ens.ufsc.br/~soares/Aula11e12.pdf> Acessado em:[2002, 13.03]
- Spies, A., Wegener, M., Chamala, S., & Beeton, R. (2002). *Sustainability of the pig and poultry industries in Santa Catarina, Brazil: Challenges for socio-economic researchers, extension professionals and operators*. Paper presented at the The 46th Annual Conference of the Australian Agricultural and Resource Economics Society, AARES, Canberra, Abstracts and CDRom.
- Weidema, B. P. (1997). *Environmental Assessment of Products - A textbook on life cycle assessment*. Helsinki: The Finish Association of Graduate Engineers TEK.