



**HAL**  
open science

## Comparative analysis of procedures for the estimation of uncertainties in LCA: clay brick case study

Fernanda Belezario Silva, Olga Satomi Yoshida, Rachel Horta Arduin, Lais D Vinhal, Claudia Echevenga Teixeira, Luciana A Oliveira

### ► To cite this version:

Fernanda Belezario Silva, Olga Satomi Yoshida, Rachel Horta Arduin, Lais D Vinhal, Claudia Echevenga Teixeira, et al.. Comparative analysis of procedures for the estimation of uncertainties in LCA: clay brick case study. *Revista Latino Americana em Avaliação do Ciclo de Vida*, 2017, 1, pp.63-77. hal-01947648

**HAL Id: hal-01947648**

**<https://hal.science/hal-01947648>**

Submitted on 21 Dec 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



### **Science Arts & Métiers (SAM)**

is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers ParisTech researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <https://sam.ensam.eu>  
Handle ID: <http://hdl.handle.net/10985/14156>

#### **To cite this version :**

Fernanda Belezario SILVA, Olga Satomi YOSHIDA, Rachel HORTA ARDUIN, Lais D VINHAL, Cladia Echevenga TEIXEIRA, Luciana A OLIVEIRA - Comparative analysis of procedures for the estimation of uncertainties in LCA: clay brick case study - Revista Latino Americana em Avaliação do Ciclo de Vida n°1, p.63-77 - 2017

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository

Administrator : [archiveouverte@ensam.eu](mailto:archiveouverte@ensam.eu)



# Análise comparativa de procedimentos para a estimativa de incertezas em ACV: um estudo baseado na produção de blocos cerâmicos de alvenaria

Fernanda Belizario Silva<sup>1</sup>  
Olga Satomi Yoshida<sup>1</sup>  
Rachel Horta Arduin<sup>2</sup>  
Laís David Vinhal<sup>3</sup>  
Cláudia Echevengúá Teixeira<sup>1</sup>  
Luciana Alves de Oliveira<sup>1</sup>

## Resumo

*O presente trabalho tem como objetivo discutir a estimativa de incertezas em ACV, utilizando três procedimentos de cálculo a partir de dados de inventários da produção de blocos cerâmicos de uma fábrica localizada no Estado de São Paulo (berço ao portão). O primeiro procedimento para a estimativa de incertezas consistiu na atribuição de modelos probabilísticos e seus parâmetros aos valores obtidos na fábrica. As distribuições de probabilidade foram selecionadas dentre as disponíveis no Simapro (versão 8.1.1.16). O segundo procedimento consistiu na aplicação das diretrizes do Ecoinvent versão 3.1 relativas a incertezas, adotando-se valores padronizados de incerteza básica e incertezas adicionais da matriz Pedigree, com distribuição lognormal. O terceiro procedimento consistiu em uma mescla dos procedimentos prévios: adotou-se o primeiro procedimento para o cálculo da incerteza básica e a matriz Pedigree para a atribuição da incerteza adicional. Os ICVs foram inseridos com suas respectivas incertezas no Simapro e foram feitas simulações de Monte Carlo com parâmetros equivalentes para as três situações. Realizaram-se também análises de variância (ANOVA) para verificar a distribuição das incertezas entre o processo principal e os processos a montante. Observou-se que os procedimentos 1 e 2 são passíveis de adoção em estudos de ACV, a depender da disponibilidade de recursos e do nível de detalhamento do estudo em questão, sendo que o primeiro procedimento, que envolve o cálculo direto das incertezas associadas, tem potencial de agregar maior confiabilidade ao estudo de*

---

1 Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - [fbsilva@ipt.br](mailto:fbsilva@ipt.br)

2 Arts et Métiers ParisTech, I2M, UMR 5295

3 Universidade Federal de São Carlos – Programa de Pós Graduação em Estruturas e Construção Civil

*ACV, enquanto o segundo requer menor esforço para a estimativa de incertezas. Ambas as abordagens melhoram a qualidade do resultado final a ser comunicado em relação à divulgação de um valor determinístico único.*

***Palavras-chave: Incertezas. Matriz Pedigree. Inventário de Ciclo de Vida. Blocos Cerâmicos.***

## **Introdução**

A elaboração de estudos de avaliação do ciclo de vida (ACV) requer cuidados em relação à qualidade e à representatividade dos dados. Assim, além de garantir que os fluxos declarados nos inventários sejam compatíveis com o sistema de produto considerado, é também importante declarar sua incerteza. A estimativa de incertezas fornece informações fundamentais para a tomada de decisão baseada em ACV, pois permite julgar a significância das diferenças em comparações entre produtos, na busca de opções para melhoria de processo ou para a atribuição de selos verdes (HUIJGBREGTS et al., 2001).

De acordo com Lloyd e Ries (2007), existem três categorias de incerteza em estudos de ACV: parâmetros, cenário e modelo. A incerteza de parâmetro envolve as quantidades das entradas e saídas dos processos, bem como características tecnológicas. A incerteza de cenário envolve escolhas relativas à unidade funcional, horizontes de tempo, procedimentos de alocação, entre outros. A incerteza de modelo inclui os modelos matemáticos e fatores de caracterização para cálculo dos indicadores na fase de avaliação de impacto de ciclo de vida (AICV).

De acordo com o ILCD *Handbook* (EUROPEAN COMMISSION, 2010), tanto as incertezas de parâmetro como as de modelo são de natureza estocástica e, portanto, podem ser representadas por parâmetros estatísticos, tais quais: a média, uma medida da variação em torno da média e o tipo de distribuição assumido pelos dados. A incerteza de cenário, por sua vez, compreende

um número limitado de escolhas possíveis, que devem ser avaliadas separadamente por meio da análise de sensibilidade.

Em relação às incertezas de parâmetro, Weidema e Wesnaes (1996) propõem uma subdivisão em duas outras fontes: a incerteza básica, presente em todos os dados e relacionada a erros de medida e a flutuações normais da variável; e a incerteza adicional, devido ao uso de dados de qualidade inferior à ótima – por exemplo, o uso de uma amostra com representatividade estatística inferior à necessária. A incerteza básica pode ser calculada a partir da série de dados disponível ou, quando da ausência de uma série de dados, estimada com base em opinião de especialistas. A incerteza adicional é mais difícil de ser estimada por meio de cálculos e, por isso, os autores propõem sua avaliação por meio de indicadores de qualidade dos dados, os quais são convertidos em parâmetros estatísticos através da matriz de Pedigree (WEIDEMA; WESNAES, 1996).

A base de dadosecoinvent adota a última abordagem para a incerteza de parâmetros, utilizando valores padronizados de incerteza básica e incerteza adicional estimada pela matriz de Pedigree, por meio de indicadores de qualidade dos dados, para os seguintes critérios de avaliação: confiabilidade, abrangência, correlação temporal, correlação geográfica e correlação tecnológica adicional. Valores de variância padronizados para a incerteza adicional, propostos por especialistas, são associados a esses indicadores de qualidade dos dados, considerando a distribuição lognormal (WEIDEMA et al., 2013). De acordo com Gregory, Montalbo e Kirchain (2013), esta metodologia é a mais amplamente utilizada em estudos de ACV.

Entretanto, apesar do seu amplo uso, a adoção da metodologia proposta pela baseecoinvent para a estimativa de incertezas deve ser avaliada caso a caso. Conforme Huijbregts et al. (2001), a relevância da análise de incertezas pode ser questionada, se não houver justificativa empírica dos fatores e intervalos de incerteza aplicados aos dados de inventário. Weidema e Wesnaes (1996), quando da proposição da matriz de Pedigree, apontam a necessidade de desenvolver diferentes “matrizes de incertezas padrão”, para representar

adequadamente os diferentes tipos de dados, interações ambientais e tipos de indústria. Em estudo mais recente, Ciroth et al. (2013) analisam o embasamento empírico para os fatores de incerteza da matriz de Pedigree e concluem que, em determinados casos, pode ser necessária uma reavaliação desses fatores – por exemplo, os padrões de emissões atmosféricas de transportes marinhos se alteraram menos ao longo do tempo do que os padrões de transportes terrestres, o que requereria fatores de incerteza diferentes para a categoria “correlação temporal”.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo discutir diferentes procedimentos para a estimativa de incertezas dos parâmetros de inventário, contemplando: 1) o cálculo de parâmetros estatísticos diretamente a partir dos dados primários; 2) a aplicação da metodologia proposta pela baseecoinvent 3) um procedimento misto, baseado na primeira abordagem para o cálculo da incerteza básica e na matriz Pedigree para a atribuição da incerteza adicional. Como estudo, adotou-se a elaboração do inventário de ciclo de vida da produção de blocos cerâmicos de uma fábrica no Estado de São Paulo, do berço ao portão da fábrica, que integra o escopo de um projeto de pesquisa mais amplo, que tem como objetivo estabelecer um método para avaliação do desempenho ambiental de produtos de construção com base em ACV.

## **Metodologia**

O sistema de produto consiste na produção de 1 kg de bloco cerâmico estrutural, do berço ao portão da fábrica. Para a construção do inventário do ciclo de vida, adotou-se um inventário de referência do Ecoinvent versão 3.1 (*brick production*) e fez-se sua adaptação para as condições brasileiras, com base no método descrito em Castro et al. (2015) e em Silva et al. (2015), utilizando-se o *software* Simapro (versão 8.1.1.16). Os dados da produção do bloco cerâmico foram obtidos em uma fábrica no Estado de São Paulo, a partir

de controles referentes a três meses de produção (03/2015 a 05/2015). Além disso, algumas entradas do processo foram alteradas, por exemplo, a adoção da matriz energética brasileira.

A estimativa de incertezas teve como objetivo expressar as variações que ocorrem no âmbito da fábrica, devido a desvios inerentes aos processos de produção, medição, entre outros; bem como abarcar os erros decorrentes da extrapolação de dados de três meses para representar um período de 12 meses, que seria o período mínimo de coleta de dados recomendado para a Declaração Ambiental de Produto conforme a DIN EN 15804 (DIN, 2014). Logo, não se buscou extrapolar os dados obtidos na fábrica para representar, por exemplo, a produção de bloco cerâmico em determinada região geográfica, ou de uma tecnologia específica, pois essas generalizações exigiriam procedimentos diferentes para estimativa de incertezas.

De posse do ICV adaptado, foram conduzidos três procedimentos para a estimativa de incertezas referentes aos fluxos que ocorrem na fábrica de bloco cerâmico (processo principal) – não foram feitas alterações nas incertezas dos processos a montante disponíveis na base de dadosecoinvent. Esses procedimentos são descritos a seguir.

### ***Procedimento 1- Estimativa de incertezas baseada nos dados primários***

Este procedimento consistiu em adotar distribuições de probabilidade, entre normal, uniforme e lognormal, e estimar os respectivos parâmetros estatísticos com base nas informações sobre os fluxos de entrada e saída obtidas na visita à fábrica. A correlação das entradas e saídas à unidade declarada (1 kg de bloco cerâmico) foi feita a partir da razão da soma das quantidades mensais da entrada/saída pela soma da produção mensal (em kg), dado que o critério adotado de alocação foi por massa. As fontes de incertezas afetam tanto os quantitativos das entradas e saídas (fluxos) como os dados

de produção. Para cada item do inventário, consideraram-se duas fontes de erro: (i) os erros inerentes aos processos na fábrica, e (ii), os erros advindos da extrapolação de dados de poucos meses para representar o período de um ano. Utilizando a lei de propagação de incertezas, tem-se que a incerteza padrão quadrática da razão destas somas pode ser desagregada como (eq. 1):

$$u^2 = \frac{u_{\text{inerente\_fluxo}}^2 + u_{\text{inerente\_produção}}^2}{u_{\text{inerente}}^2} + \frac{u_{\text{extrapolação\_fluxo}}^2 + u_{\text{extrapolação\_produção}}^2}{u_{\text{extrapolação}}^2} \quad (\text{eq. 1})$$

As incertezas padrão associadas aos quantitativos devido aos erros inerentes foram estimadas a partir dos dados mensais das entradas/saídas da seguinte forma (eq. 2):

$$u_{\text{inerente\_fluxo}} \approx \frac{\frac{\text{desvio padrão\_fluxo}}{\sqrt{n^*}}}{\text{média\_fluxo}} = \frac{\frac{\text{desvio padrão\_fluxo}}{\sqrt{\frac{n}{12} \times 30}}}{\text{média\_fluxo}} \quad (\text{eq. 2})$$

As incertezas associadas aos fluxos devidas aos erros decorrentes da extrapolação dos  $n$  meses para 12 meses foram estimadas por (eq. 3):

$$u_{\text{extrapolação\_fluxo}} \approx \left(1 - \frac{n}{12}\right) \times \frac{\text{Semi Amplitude\_fluxo} / \sqrt{12}}{\text{média}} \quad (\text{eq. 3})$$

Onde  $n$  é o número de meses com dados, média, desvio padrão e semi-amplitude são calculados com base nos  $n$  meses com dados. As incertezas padrão associadas às produções,  $u_{\text{(inerente\_produção)}}$  e  $u_{\text{(extrapolação\_produção)}}$ , foram estimadas da mesma forma a partir de dados mensais de produção.

A estimativa da incerteza padrão  $u$  da razão das somas foi normalizada pela média; portanto, é a estimativa do coeficiente de variação (C.V.) da distribuição de probabilidades escolhida para representar a incerteza dos fluxos de um dado item do inventário. Desta forma (eq. 4):



$$u = \sqrt{u_{\text{inerente}}^2 + u_{\text{extrapolação}}^2} \quad (\text{eq. 4})$$

### ***Procedimento 2 – Estimativa de incertezas baseada no método da base ecoinvent***

Neste caso, adotou-se o procedimento padrão da base ecoinvent, com as incertezas básicas tabeladas e atribuindo-se as notas da matriz de Pedigree, com distribuição lognormal, conforme descrito em Weidema et al. (2013), em função da qualidade dos dados primários e secundários obtidos para o sistema de produto em questão.

### ***Procedimento 3 – Estimativa de incerteza básica baseada nos dados primários e incerteza adicional baseada no método da base ecoinvent***

Adotou-se como incerteza básica (segundo nomenclatura da base ecoinvent) a denominada “incerteza inerente”,  $u_{\text{inerente}}$ , do primeiro procedimento, uma vez que o parâmetro “completeness” (abrangência) do Pedigree já contempla a extrapolação de dados de um período curto. Adotaram-se as mesmas notas da matriz de Pedigree atribuídas no segundo procedimento, além também da distribuição lognormal.

### ***Cálculo da incerteza total e análise comparativa***

Os ICVs foram inseridos no Simapro e foi conduzida a análise de incertezas pelo método de Monte Carlo para as três situações, com 1.000 iterações. O indicador de impacto ambiental selecionado para o cálculo foi o potencial de aquecimento global (em kg CO<sub>2</sub>,eq), pelo método do IPCC 2013, com 100 anos de horizonte.

Além disso, para cada um dos procedimentos de estimativa de incertezas, foi conduzida uma análise de variância (ANOVA), de modo a identificar,

em termos percentuais, a parcela da incerteza proveniente dos processos a montante e a parcela atribuída às variações ocorridas no processo principal. Realizou-se ainda uma Anova para identificar quais entradas/saídas do inventário mais contribuem para a incerteza final. Para ambas as análises, fez-se necessário calcular a incerteza de cada processo a montante, utilizando-se também neste caso o método de Monte Carlo por meio do Simapro com 1.000 iterações.

## Resultados

A tabela 1 apresenta os parâmetros de incerteza obtidos nos três procedimentos de cálculo, representados pelos coeficientes de variação da distribuição de probabilidade. São apresentadas também as notas da matriz Pedigree atribuídas aos itens do inventário. As incertezas totais  $u$ ,  $u_{iner}$  e  $u_{ext}$  do primeiro procedimento também estão listadas na tabela 1.

**Tabela 1: Parâmetros de incerteza calculados conforme os três procedimentos**

Itens de inventário	Procedimento 1			Procedimento 2		Procedimento 3 **	Notas Pedigree	
	Distribuição	Componentes da incerteza		Incerteza total C.V.	Incerteza básica C.V.	Incerteza total C.V.		Incerteza total C.V.
		$u_{iner}$	$u_{ext}$					
ENTRADAS								
Water, well, in ground, BR*	Normal	3,7%	2,9%	4,7%	2,4%	3,4%	4,2%	(1,3,1,1,1)
EUR-flat pallet production	Normal	3,5%	2,6%	4,3%	2,4%	4,3%	4,8%	(2,3,1,1,1)
Market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3*	Uniforme	3,7%	2,9%	4,7%	35,7%	36,3%	6,3%	(3,3,1,1,1)

**(Continua)**

**Tabela 1 (conclusão)**

Market for polyethylene, high density, granulate	Normal	3,4%	2,6%	4,3%	2,4%	4,8%	5,4%	(2,3,1,1,2)
Clay pit operation	Normal	3,4%	2,6%	4,3%	2,4%	4,3%	4,8%	(2,3,1,1,1)
Market for steel, low-alloyed, hot rolled*	Lognormal	3,7%	2,9%	4,7%	1,5%	31,2%	31,4%	(5,5,5,5,1)
Wood chips production, softwood, at sawmill	Normal	3,5%	2,6%	4,3%	2,4%	4,3%	4,8%	(2,3,1,1,1)
Market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3*	Uniforme	3,7%	2,9%	4,7%	35,7%	37,1%	10,1%	(4,3,1,1,1)
Market for lubricating oil	Lognormal	3,8%	2,9%	4,8%	2,4%	4,8%	5,7%	(2,3,1,1,2)
Refractory production, fireclay, packed*	Normal	3,7%	2,9%	4,7%	2,9%	10,0%	10,1%	(4,3,1,1,1)
Market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3*	Normal	3,7%	2,9%	4,7%	35,7%	37,1%	10,1%	(4,3,1,1,1)
Diesel, burned in building machine	Normal	3,0%	2,4%	3,8%	2,0%	10,0%	10,2%	(2,3,1,1,3)
Market for electricity, medium voltage {BR}	Normal	2,6%	2,2%	3,4%	2,4%	4,3%	4,2%	(2,3,1,1,1)
SAÍDAS								
Water - emission to air	Uniforme	3,7%	2,9%	4,7%	20,5%	20,8%	6,0%	(2,3,1,1,1)
Carbon dioxide, biogenic - emission to air	Normal	3,5%	2,6%	4,3%	2,9%	10,0%	10,0%	(4,3,1,1,1)
Water - emission to air	Uniforme	3,7%	2,9%	4,7%	20,5%	21,2%	6,5%	(3,3,1,1,1)

\* itens de inventário para os quais se obtiveram apenas dados pontuais

\*\* incerteza básica do procedimento 3 =  $u_{iner}$  do procedimento 1

No procedimento 1, as distribuições de probabilidade foram selecionadas com base na experiência dos autores, pois a série de dados não permitiu traçar as curvas de distribuição de probabilidade. Para a maioria dos itens, adotou-se distribuição normal. Para os transportes terrestres a pequenas distâncias (transporte do pallet e da serragem), adotou-se distribuição uniforme, pois se entende que os trajetos estão sujeitos a maior variação. Para os itens que não foram alterados do ICV original do Ecoinvent, adotou-se a distribuição lognormal.

Em relação às notas do Pedigree, os parâmetros de correlação geográfica, temporal e tecnológica tiveram notas 1, devido ao levantamento direto de dados na fábrica em data recente, exceto para os dados extrapolados da base ecoinvent. Para o parâmetro de abrangência foi atribuída nota 3, pois o período de obtenção dos dados foi menor do que o recomendado em norma. Para o parâmetro de confiabilidade, as notas variaram conforme a qualidade do dado.

Observa-se na tabela 1 que as incertezas totais dos fluxos calculadas de acordo com os três procedimentos resultaram em valores próximos, na faixa de 4 a 5%, exceto para: (i) os itens de transporte, que apresentam incerteza básica alta tabelada na base ecoinvent (35,7%) e que tiveram notas desfavoráveis de confiabilidade do Pedigree atribuídas nos itens em que não se obteve o endereço do fornecedor; (ii) o aço, cujo consumo foi adotado idêntico ao inventário de referência da base ecoinvent e, por isso, penalizado com notas 5 no Pedigree; (iii) o diesel, porque se adotou um módulo de combustão do diesel disponível na base; (iv) as emissões de água, que possuem incertezas básicas altas (20,5%) atribuídas pela base ecoinvent. Sendo assim, mesmo com o conservadorismo dos autores no procedimento 1, as incertezas atribuídas resultaram menores do que as demais.

A tabela 2 apresenta os resultados finais de incerteza para os três procedimentos, em termos de coeficiente de variação, resultantes da simulação de Monte Carlo, para o indicador de potencial de aquecimento global calculado pelo modelo do IPCC. São apresentados também os resultados da ANOVA, com

as parcelas de incerteza atribuídas aos processos a montante e ao processo principal, referentes ao mesmo indicador de impacto.

***Tabela 2: Resultados das simulações de Monte Carlo e distribuição da incerteza entre o processo principal e processos a montante (ANOVA), para o indicador de impacto de potencial de aquecimento global***

	Procedimento 1	Procedimento 2	Procedimento 3
Coefficiente de variação (%)	10,8%	11,4%	11,2%
Parcela da incerteza atribuída aos processos a montante	97%	85%	90%
Parcela da incerteza atribuída aos processos da fábrica	3%	15%	10%

A partir da análise dos coeficientes de variação finais, observa-se que o procedimento 1 resultou na menor incerteza (10,8%), seguida pelo procedimento 3 (11,2%) e procedimento 2 (11,4%), embora todos os valores estejam relativamente próximos. Analisando-se os resultados da ANOVA, verifica-se que, pelo procedimento 1, 97% da incerteza final tem origem nas incertezas dos processos a montante; pelo procedimento 2, na qual uma incerteza maior às entradas de fábrica é atribuída pela utilização da matriz Pedigree, 85% da incerteza final tem origem nas incertezas dos processos a montante, e, finalmente, pelo procedimento 3, 90 % da incerteza final tem origem nos processos a montante.

A tabela 3 apresenta os resultados da ANOVA para análise da participação de cada item de inventário (entrada ou saída) na incerteza final, considerando a variação nas quantidades daquele item no processo principal e a incerteza que cada item carrega do seu processo a montante. Os itens que não contribuíam significativamente para o indicador de potencial de aquecimento global não foram incluídos nesta tabela.

**Tabela 3: Participação dos itens de inventário no indicador de impacto ambiental (CO<sub>2</sub>equivalente) e distribuição de incerteza entre os itens de inventário (ANOVA)**

Item de inventário	% no resultado de AICV (kg CO <sub>2</sub> ,eq)	CV processo montante	Procedimento 1		Procedimento 2		Procedimento 3	
			CV processo principal	% incerteza final	CV processo principal	% incerteza final	CV processo principal	% incerteza final
EUR-flat pallet production	1%	18%	4%	0%	4%	0%	5%	0%
Market for polyethylene, high density, granulate	6%	1%	4%	0%	5%	0%	5%	0%
Clay pit operation	11%	23%	4%	7%	4%	7%	5%	7%
Wood chips production, softwood, at sawmill	11%	30%	4%	13%	4%	11%	5%	12%
Market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3* (wood chips)	6%	6%	5%	0%	37%	6%	10%	1%
Refractory production, fireclay, packed*	5%	15%	5%	1%	10%	1%	10%	1%
Diesel, burned in building machine	23%	20%	4%	26%	10%	28%	10%	29%
Market for electricity, medium voltage {BR}	35%	19%	3%	53%	4%	47%	4%	50%

Observa-se que o uso de energia elétrica responde por 35% do potencial de impacto de aquecimento global do sistema de produto, incluindo os respectivos processos a montante (ex.: geração de energia, transmissão, transformação, etc.). Entretanto, este item sozinho responde por aproximadamente 50% da incerteza final, principalmente devido às incertezas declaradas nos processos

a montante (19%). Em seguida, tem-se o uso de óleo diesel, que responde por 23% do potencial de aquecimento global e aproximadamente 27% da incerteza do processo, novamente em função da alta incerteza a montante (20%).

Verifica-se ainda que a participação de cada item de inventário na incerteza final, considerando-se a incerteza do processo a montante combinada com a incerteza do processo principal, é semelhante nos três procedimentos de estimativa de incerteza, exceto no caso da operação de transporte do pó de serra, que tem participação maior na 2ª abordagem, uma vez que a incerteza básica constante da base ecoinvent para este tipo de operação é alta (vide tabela 1).

## **Conclusão**

A estimativa de incertezas a partir dos dados primários de produção (procedimento 1) apresenta ganhos, pois reduz a participação da incerteza do processo principal na incerteza total do sistema de produto, se comparado ao procedimento adotado pela base de dados ecoinvent. Além disso, a adoção desse procedimento requer uma compreensão mais detalhada dos dados e, dessa forma, possibilita o desenvolvimento de certa sensibilidade acerca dos valores de incerteza obtidos. Entretanto, observou-se que os processos relacionados às matérias-primas e insumos utilizados na produção do bloco cerâmico contribuem com a maior parte da incerteza final desse sistema de produto, pois a incerteza declarada pela base de dados para estes itens é alta. Nestes casos, os ganhos da estimativa de incertezas pelo procedimento 1 são limitados e podem não justificar esse nível de detalhamento.

Assim, para avaliar a viabilidade de fazer a estimativa de incertezas a partir dos dados primários, sugerem-se duas alternativas. A primeira, mais simples, é realizar uma análise de sensibilidade, variando-se os parâmetros que mais contribuem para o resultado final de impacto ambiental e verificando-se as

alterações tanto no resultado do indicador quanto na sua incerteza associada, conforme recomendado por Huijbregts et al. (2001). A segunda, mais complexa, consiste em estimar as incertezas conforme o método proposto pela base de dados ecoinvent (procedimento 2) e realizar uma Anova dos resultados obtidos. Dependendo da contribuição do processo principal para a incerteza final, uma abordagem mais detalhada pode se justificar, devendo-se também considerar os objetivos e a disponibilidade de recursos para o estudo de ACV em questão.

Além disso, a realização da ANOVA para identificar a contribuição de cada entrada/saída do ICV na incerteza final pode auxiliar na compreensão das fontes de incerteza do estudo e, eventualmente, direcionar esforços, seja na redução de incertezas do processo principal, seja em intervenções nos processos a montante.

Para a validação do primeiro procedimento, serão necessários estudos adicionais, contemplando sistemas de produto com características diferentes do explorado neste trabalho.

## **Agradecimentos**

À Fundação de Apoio ao IPT (Fipt), pelo financiamento da pesquisa.

## **Referências**

CASTRO, Alessandra. L. et al. Análise da viabilidade técnica da adaptação de dados internacionais de inventário de ciclo de vida para o contexto brasileiro: um estudo de caso do concreto para paredes moldadas no local. In: Anais do 57º Congresso Brasileiro do Concreto. Bonito, 2010.

CIROTH, Andreas. et al. Empirically based uncertainty factors for the pedigree matrix in ecoinvent. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 2016, vol. 21, nº 9, p. 1338-1348.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN EN 15804: Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products. Berlim, 2014.



EUROPEAN COMMISSION .ILCD Handbook: General guide for life cycle assessment – Detailed Guidance [online]. 2010, p 377-380 [acessado em 02 de abril de 2015]. Disponível em: <<http://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAILED-GUIDANCE-12March2010-ISBN-fin-v1.0-EN.pdf>>

GREGORY, Jeremy. R., MONTALBO, Trisha. M. e KIRCHAIN. Randolph. E. Analyzing uncertainty in a comparative life cycle assessment of hand drying systems. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 2013, vol. 18, n° 8, p. 1605-1617.

HUIJBREGTS, Mark. A. J. et al. Framework for modeling data uncertainty in life cycle inventories. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 2001, vol. 6, n° 3, p. 127-132.

LLOYD, Shannon. M. e RIES, Robert. Characterizing, propagating and analyzing uncertainty in life-cycle assessment: a survey of quantitative approaches. *Journal of Industrial Ecology*, 2007, vol. 11, n° 1, p. 161-179.

SILVA, Fernanda. B. et al. Development of a method for adapting international LCI data for Brazilian building products. In: *Proceedings of the Sixth International Conference on Life Cycle Assessment*, Lima, 2015.

WEIDEMA, Bo. P. e WESNAES, Marianne. S. Data quality management for life cycle inventories – an example of using data quality indicators. *Journal of Cleaner Production*, 1996, vol. 4, n° 3-4, p. 167-174.

WEIDEMA, Bo. P. et al. Overview and methodology: Data quality guideline for the Ecoinvent database version 3 [online]. 2013 [acessado em 17 de outubro de 2016]. Disponível em: <[https://www.ecoinvent.org/files/dataqualityguideline\\_ecoinvent\\_3\\_20130506.pdf](https://www.ecoinvent.org/files/dataqualityguideline_ecoinvent_3_20130506.pdf)>