

**VI-036 - ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) APLICADA À INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL - ESTUDO DE CASO****Luiz Fernando Cybis⁽¹⁾**

Professor, orientador, pesquisador e consultor do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da UFRGS. Doutor em Engenharia Sanitária e Ambiental pela The University of Leeds, Inglaterra.

Carlos Vicente John dos Santos

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS). Engenheiro do Departamento de Limpeza Urbana da Prefeitura Municipal de Porto Alegre (DMLU/PMPA). Chefe do Setor de Projetos da Divisão de Apoio Operacional (SEPRO/DAO/DMLU).

FOTOGRAFIA
NÃO
DISPONÍVEL

Endereço⁽¹⁾: Av. Bento Gonçalves, 9500 - Caixa Postal 15029 - Porto Alegre - RS - CEP: 91501-970 - Brasil
- Tel: (51) 316-6592 - Fax: (51)-319-1157 - e-mail: lfcybis@vortex.ufrgs.br

RESUMO

A poluição gerada no planeta torna-se maior a cada dia. A exploração exagerada dos recursos naturais reduziram em grande quantidade as reservas de materiais e de água potável. Dentro deste quadro pode-se observar que a indústria da construção civil tem sua grande parcela de responsabilidade. Este fato gerou um aumento da consciência de preservação ambiental que traz em seu bojo uma importante ferramenta para a prevenção da poluição, a análise do ciclo de vida (ACV). A ACV vem ganhando força dentre as ferramentas utilizadas na prevenção da poluição, embora a sua aplicação ainda esteja um pouco restrita a produtos mais simples. Este estudo de caso teve como ponto de partida o monitoramento de uma construção de um condomínio horizontal formado por oito unidades autônomas de habitação unifamiliar, constituindo ao todo uma área de 2.104 m². A princípio mediu-se as espessuras das juntas e as dimensões dos tijolos desta obra, o traço e o tempo gasto para a mistura da argamassa na obra adotada. Realizada essa coleta inicial de dados, partiu-se para a busca de dados relativos ao fluxo a jusante (o descarte da calça no aterro de inertes) e a montante (a fabricação do cimento, a extração da areia, a manufatura dos tijolos e a produção e abastecimento de água potável) do canteiro de obras. Além destes também foram considerados os transportes rodoviário e fluvial. Como resultados, verificou-se que os poluentes gerados neste estudo de caso estão ligados a seis impactos ambientais, sendo eles a chuva ácida, a toxicidade ao ser humano, o aumento dos níveis de nutrientes, o efeito estufa, a produção de ozônio a baixas altitudes e a redução das reservas energéticas.

PALAVRAS-CHAVE: Análise do Ciclo de Vida, Construção Civil, Meio Ambiente, Desperdício, Poluição.

INTRODUÇÃO

A degradação causada pelo homem ao meio ambiente tornou-se uma grande preocupação mundial. O ser humano interfere na vida do planeta, interagindo em tudo o que se refere a água, ar e solo. A poluição gerada no planeta torna-se maior a cada dia. Preocupado com este fato, o ser humano busca alternativas de preservar o meio ambiente desenvolvendo novas ferramentas.

A análise do ciclo de vida (ACV) é uma das ferramentas utilizadas com destaque na prevenção da poluição. Para a sua utilização deve-se observar uma seqüência de etapas pré-definidas. O primeiro passo para a aplicação desta ferramenta é a boa definição da abrangência do trabalho. Definido o quão abrangente deverá ser o estudo parte-se para a aplicação da análise do ciclo de vida propriamente dita. Esta análise é composta de três etapas básicas, análise de inventários, análise de impactos e análise de melhorias (Heijungs *et al.*, 1996).



Este artigo relata a aplicação da técnica de Análise de Ciclo de vida às alvenarias portantes de um condomínio horizontal de casas individuais localizado no município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Buscando-se definir a abrangência deste trabalho observou-se a montante a extração e/ou fabricação das matérias-primas, e a jusante o descarte do material no aterro de inertes do Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU) em Porto Alegre.

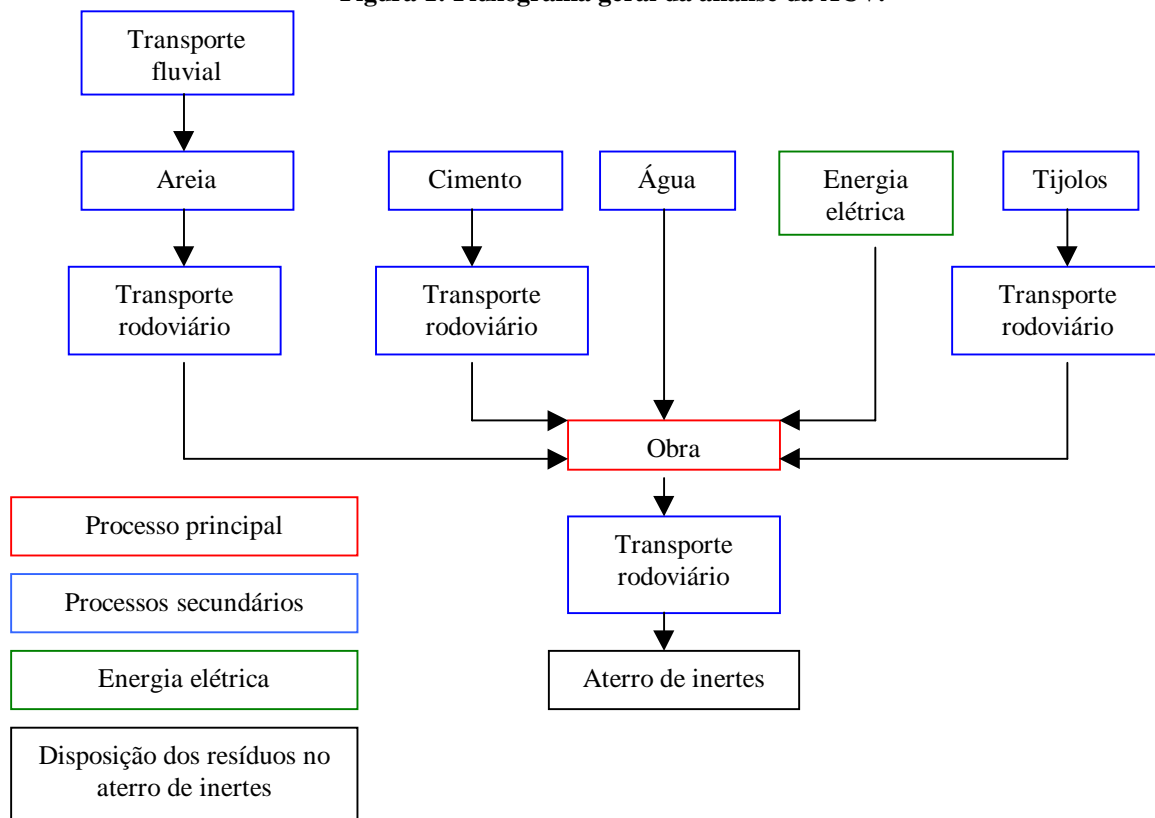
DESCRIÇÃO DO TRABALHO REALIZADO

O estudo de caso teve como ponto de partida o monitoramento de uma construção de um condomínio horizontal formado por oito unidades autônomas de habitação unifamiliar. Cada unidade possuía um sub-solo com garagens individuais, o pavimento térreo, o segundo pavimento e a cobertura, constituindo ao todo uma área total de 2.104 m².

Abrangência da Análise

O ponto de partida para a análise realizada foi a alvenaria, que para a sua construção recebeu os materiais provenientes de outras unidades produtivas externas, no caso de olarias, de indústrias cimenteiras, de unidades de extração de areia e sistemas de abastecimentos de água. Os resíduos resultantes do processo de construção da alvenaria são destinados ao aterro de inertes do DMLU. Na Figura 1 a seguir é mostrado o fluxograma geral do processo deste estudo de caso.

Figura 1: Fluxograma geral da análise da ACV.



Alvenaria

Já definido como o processo principal deste estudo, a alvenaria foi avaliada em seu todo. Para tanto, iniciou-se a observação quando da entrada do material na obra, seu estoque e sua utilização. Ainda foram abrangidos pelo estudo a quantidade de energia utilizada pela betoneira e a quantidade de água consumida.



Água

Neste trabalho foi considerado o consumo teórico de água na obra, sendo adotado como perda apenas a quantidade de água utilizada como insumo na argamassa que foi descartada com a quebra da alvenaria, desconsiderando as demais perdas ocorridas no canteiro. Foram adotadas as perdas ocorridas quando da distribuição da água fornecida pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto de Porto Alegre (DMAE). Ainda, os dados referentes ao lodo gerado no tratamento de água aqui mostrados foram obtidos junto ao DMAE.

Cimento

A fabricação do cimento envolve uma série de atividades por demais extensa para a abrangência a que se propôs este trabalho. Resolveu-se então considerar na produção de cimento apenas alguns dados retirados de bibliografia, referentes ao consumo de energia elétrica e a quantidade de poluentes emitidos para a atmosfera.

Areia

Para esta etapa do trabalho foi adotado a verificação das emissões atmosféricas provocadas pelo transporte fluvial, bem como as perdas de areia provocadas pela descarga no cais. Foram desconsiderados a extração da areia no rio e a energia gasta para a sua descarga, bem como tudo a que se refere a extração e refino de petróleo e transporte do óleo diesel utilizado pelos barcos.

Tijolos

Neste item considerou-se praticamente toda a produção de tijolos em olarias. Visando analisar os resíduos sólidos provenientes desta atividade iniciou-se o estudo desde a extração da argila, passando por todos os itens de produção e culminando com o carregamento do caminhão. Como a fonte de energia utilizada é a lenha, buscou-se verificar apenas as suas emissões atmosféricas e o seu poder calorífero, desprezando o plantio das árvores, seu corte e transporte. Não foram analisados na extração da argila as emissões geradas pelas máquinas utilizadas para este fim, bem como não obteve-se dados relativos a energia elétrica consumida pelas olarias.

Quantificação e disposição dos resíduos

Aqui buscou-se analisar onde estavam sendo dispostos os resíduos sólidos produzidos por esta obra.

Transporte rodoviário

Este item foi bastante abrangente, pois interagiu praticamente com todos os itens anteriores. Iniciou-se o estudo analisando a rota efetuada pelo veículo desde o fornecedor até a obra e vice-versa. Foram analisados as emissões atmosféricas dos veículos transportadores. Descartou-se o estudo da extração e refino do petróleo e do transporte do óleo diesel.

Análise de Inventários

Na análise de inventários foram abordados toda a coleta de dados e os fluxogramas das etapas envolvidas neste trabalho.

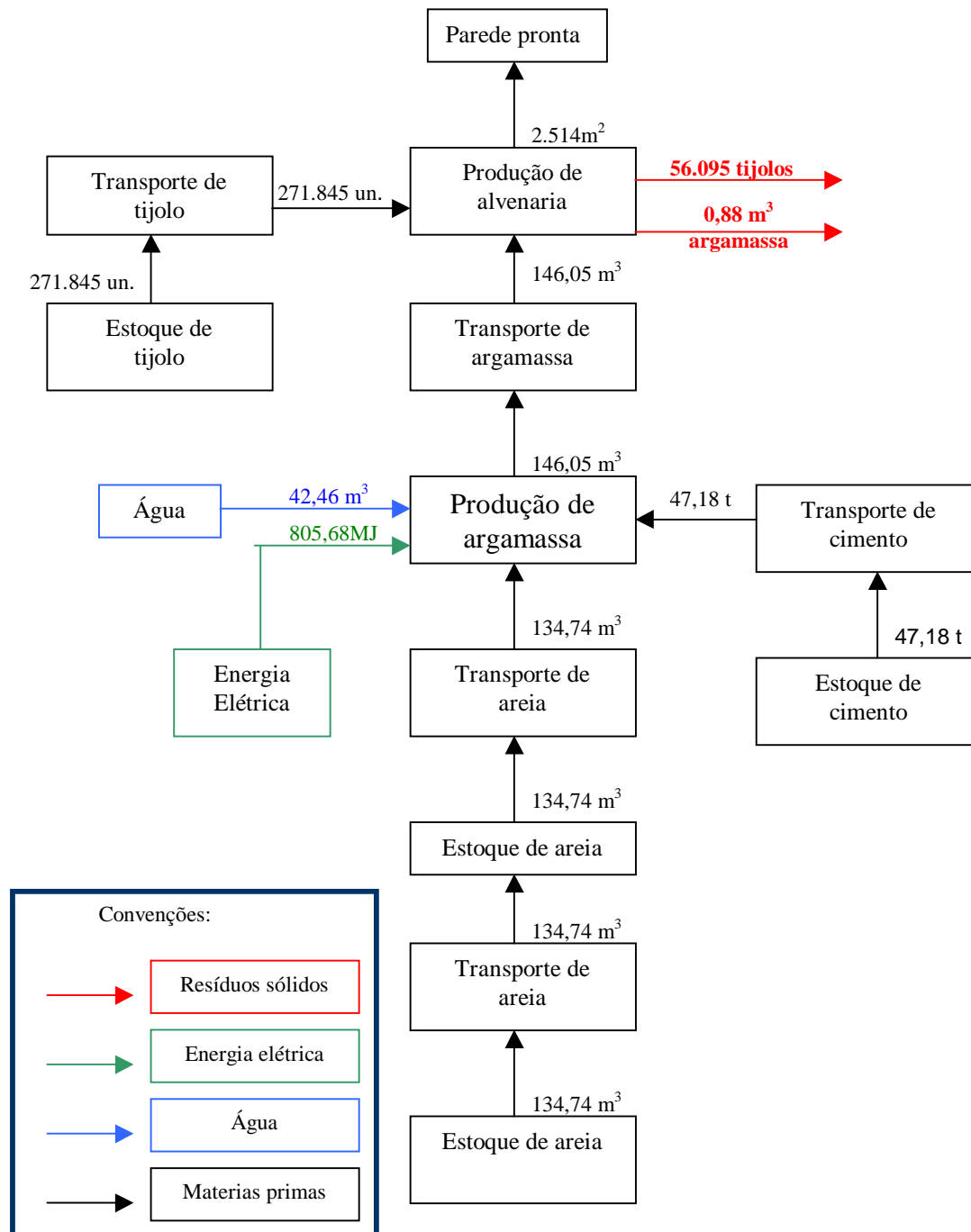
Alvenaria

Dentro do canteiro de obras foram medidos as espessuras das juntas, as dimensões dos tijolos maciços e o tempo gasto para a mistura da argamassa. Analisou-se também o traço empregado em obra, comparando-o com o fornecido pelo engenheiro responsável. Para efeitos de quebra de argamassa adotou-se a quantidade



quebrada de alvenaria em obra, porém para a quantificação da quebra de tijolos maciços foi adotado o valor de desperdício igual a 26% (Santos *et al.*,1996). Realizada esta coleta de dados, partiu-se para a busca de dados relativos ao fluxo a jusante (o descarte da calça no aterro de inertes) e a montante (a fabricação do cimento, a extração da areia, a manufatura dos tijolos e a produção e abastecimento de água potável) do canteiro de obras. Além destes também foi considerado o transporte rodoviário e fluvial. O fluxograma da execução da alvenaria encontra-se na Figura 2.

Figura 2: Fluxograma da execução da alvenaria.



Água

A água utilizada na construção civil como um todo e conseqüentemente na produção da argamassa provém das estações de tratamento de água. Neste trabalho foi considerado o consumo teórico de água na obra, sendo adotado como perda apenas a quantidade de água utilizada como insumo na argamassa que foi descartada



com a quebra da alvenaria, desconsiderando-se as demais perdas ocorridas no canteiro. Nesta etapa foram adotadas ainda as perdas ocorridas quando da distribuição da água fornecida pelo DMAE. Aqui ainda foi incorporado a quantidade de energia consumida para a produção da água necessária.

Cimento

A fabricação do cimento envolve uma série de atividades estendendo muito o acompanhamento de toda a sua produção. Para isso, aqui foi restringido este acompanhamento a apenas alguns dados, tais como o consumo de energia elétrica onde relaciona-se que para a produção de uma tonelada de cimento são consumidos 5,8GJ de energia (UNEP IE, 1996), e a quantidade de poluentes emitidos para a atmosfera tais como materiais particulados, SO_x, NO_x e CO₂

Areia

A areia utilizada na obra teve granulometria média, tendo origem em Charqueadas, no rio Jacuí. A coleta de dados foi efetuada através de visitas a empresa fornecedora e à construtora. Destes obteve-se que a capacidade do barco é de 100 m³, movido a um motor a diesel com um consumo calculado em torno de 1km/l, que percorre-se em média 120km em uma viagem completa e que ocorre uma perda média em torno de 1% no desembarque da areia no cais.

Verificou-se que as emissões de poluentes geradas pelo óleo diesel são os materiais particulados, o CO₂, o CO, o NO_x e o SO_x (Knijnik, 1994).

Tijolo

Para esta etapa do trabalho foram efetuadas visitas a olarias com o intuito de obter dados referentes a fabricação dos tijolos, incluindo perdas no processo. Aliando-se a isto, buscou-se obter a quantidade de energia incorporada através da lenha utilizada para a queima dos tijolos e as emissões de poluentes geradas pela lenha como o CO₂, o CO, o NO_x e o SO_x (Knijnik, 1994).

Descarte no aterro de inertes

O resíduo sólido gerado na construção da edificação teve dois destinos distintos. Um deles (solução mais econômica) era a reutilização do material na própria obra, como material de enchimento e aterro, o outro destino foi a disposição deste material no aterro de inertes João Paris do DMLU. Não foi realizada a quantificação do material que seguia para o aterro, sendo adotado um dado médio que 50% do material que era desperdiçado em obra era encaminhado aos aterros sob a forma de entulhos.

Transporte

O transporte rodoviário é de extrema importância para a construção civil. Com exceção de água e energia elétrica todos os insumos necessários para a execução de uma obra são transportados por via rodoviária. A obtenção dos dados utilizados nesta etapa do trabalho provém de visitas realizadas aos fornecedores de tijolos, de cimento e de areia e à construtora. Para todos os transportes rodoviários aqui utilizados considerou-se que o consumo médio de diesel foi de 3,0 km/l. Ainda, observou-se as distâncias entre a olaria e a obra, do fornecedor de cimento a obra, da fornecedor de areia à obra e do aterro de inertes à obra.

Planilha de Inventários

A planilha de inventários resume todos os dados obtidos anteriormente e podem ser vistas na Tabela 1. Através desta planilha obteve-se a quantidade de energia média total consumida para a execução desta alvenaria, bem como as suas emissões médias totais para o ar, seus resíduos sólidos e líquidos. Nesta planilha observa-se que a fabricação de tijolos responde pelo maior consumo de energia, bem como pela maior emissão atmosférica de poluentes e pela maior quantidade de resíduos sólidos.

**Tabela 1: Planilha de inventários da ACV.**

		obtenção de água	fabricação de cimento	extração de areia	fabricação de tijolos	transporte rodoviário	produção de argamassa	execução de alvenaria	TOTAL
contribuição		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
energia									
energia	GJ	0,09	273,64	5,88	612,11	46,69	0,90		939,31
emissões para o ar									
CO ₂	kg		23.600,00	440,00	343.000,00	3.500,00			370.540,00
CO	kg			6,00	3.000,00	50,00			3.056,00
hidrocarbonetos	kg			1,00	3.500,00	8,00			3.509,00
NOx	kg		150,00	5,00	1.000,00	34,00			1.189,00
SOx	kg		63,00	2,00	156,00	16,00			237,00
material particulado	kg		40,00	1,00	1.000,00	3,00			1.044,00
resíduos sólidos									
lodo	kg	1.230							1230
tijolos	kg				25.824,80	24.322,69		95.599,38	145.746,87
areia	m ³			1,35			0,00		1,35
saco de cimento	un.						944,00		944,00
argamassa	m ³							1.626,90	1.626,90
resíduos líquidos									
água residual	kg	2.123					0,00		2.123

Análise de Impactos

Cada substância interage com o meio ambiente produzindo um determinado impacto ambiental. Para este estudo de caso, as substâncias incluídas para efeito de impactos ambientais foram CO₂, CO, HC, NOx, SOx e energia. As demais substâncias, materiais particulados, resíduos sólidos e desperdício de água não foram incluídos por não terem valores de equivalência.

Verificou-se que as substâncias incluídas para a continuação deste estudo de caso estão ligadas a seis impactos ambientais (Heijungs *et al.*, 1996), sendo eles chuva ácida (CA), toxicidade ao ser humano (TH), aumento dos níveis de nutrientes (ANN), efeito estufa (EE), ozônio a baixas altitudes (OBA) e redução de energia (REN). As tabelas 2 e 3 mostram a classificação e caracterização para o processo produtivo de alvenaria estudado.

Tabela 2: Fatores de equivalência ambiental.

	CA (kg/kg)	TH (kg/kg)	ANN (kg/kg)	EE (kg/kg)	OBA (kg/kg)	REN (GJ)
CO ₂				1,000		
CO		0,012				
Hidrocarbonetos					0,38	
NOx	0,700	0,780	0,130			
SOx	1,000	1,200				
Material particulado						
ENERGIA						1,000

Fonte: Heijungs, 1996

**Tabela 3: Impactos totais não normalizados.**

	CA (kg/kg)	TH (kg/kg)	ANN (kg/kg)	EE (kg/kg)	OBA (kg/kg)	REN (GJ)
CO ₂	0,00	0,00	0,00	370.540,00	0,00	0,00
CO	0,00	36,67	0,00	0,00	0,00	0,00
Hidrocarbonetos	0,00	0,00	0,00	0,00	1.322,89	0,00
NO _x	832,30	927,42	154,57	0,00	0,00	0,00
SO _x	237,00	284,40	0,00	0,00	0,00	0,00
Material particulado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ENERGIA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	939,31
TOTAL	1.069,30	1.248,49	154,57	370.540,00	1.322,89	939,31

Normalização dos Escores

A normalização de escores visa produzir uma visão global das emissões e da redução energética, trabalhando com a mesma unidade, neste caso ano ($a \cdot 10^{-12}$), e descrevendo assim o perfil ambiental de suas unidades funcionais em números normalizados e absolutos, podendo então ser comparado os outros perfis ambientais.

Para a confecção desta planilha utilizou-se os dados obtidos nos itens anteriores. Montou-se a planilha de normalização de escores mostrada na Tabela 4, não atribuindo valor comercial, sendo então atribuído valor de contribuição igual a 1 para todos os componentes encontrados neste trabalho.

Tabela 4: Normalização.

	CA (kg/kg)	TH (kg/kg)	ANN (kg/kg)	EE (kg/kg)	OBA (kg/kg)	REN (GJ)
unidades	$kg \cdot a^{-1} \cdot 10^9$	$kg \cdot a^{-1} \cdot 10^9$	$kg \cdot a^{-1} \cdot 10^9$	$kg \cdot a^{-1} \cdot 10^{12}$	$kg \cdot a^{-1} \cdot 10^9$	$GJ \cdot a^{-1} \cdot 10^9$
mun	286,00	576,00	74,80	37,70	3,74	235,00
TOTAL	1.069,30	1.248,49	154,57	370.540,00	1.322,89	939,31
Escore normalizado ($a \cdot 10^{-12}$)	3.738,81	2.167,52	2.066,44	9.828,65	353.714,71	3.997,07

A Tabela 4 mostra os impactos ambientais normalizados decorrentes da análise do ciclo de vida do processo de execução da alvenaria. Observa-se que o maior impacto resultante desta atividade foi a produção de ozônio a baixas altitudes (OBA). Ainda, a Tabela 4 mostra que isso ocorre em função da presença de hidrocarbonetos junto ao solo, e que estes poluentes são emitidos em sua grande maioria pelo processo de produção de tijolos (Tabela 1). Como as olarias não possuem equipamentos de prevenção da poluição atmosférica, considerou-se coerente o resultado obtido.

Análise de Melhorias

A análise de melhorias aqui efetuada deve ser vista sob o enfoque de um exercício de compreensão do tema e não como uma base científica, pois a comparação efetuada para efeitos desta análise foi realizada em cima de uma obra hipotética. Alguns critérios foram adotados para esta etapa do trabalho: visto que o enfoque principal desta ACV é a alvenaria portante de uma obra, atribuiu-se perda zero dentro do canteiro de obras e junta padrão de 1,5 cm. Não foi efetuada análise nos fornecedores, deixando-os com o mesmo processo estudado quando da análise de inventários inicial. De posse dos dados descritos anteriormente, foi confeccionada a planilha de inventários para a obra hipotética (Tabela 5).

**Tabela 5: Planilha de inventário para a produção de alvenaria da obra hipotética.**

		obtenção de água	fabricação de cimento	extração de areia	fabricação de tijolos	transporte rodoviário	produção de argamassa	execução de alvenaria	TOTAL
contribuição		1	1	1	1	1	1	1	
energia									
energia	GJ	0,07	209,87	4,53	561,69	54,79	0,50		831,45
emissões para o ar									
CO ₂	kg		18.100,00	350,00	315.000,00	4.070,00			337.520,00
CO	kg			5,00	2.700,00	55,00			2.760,00
hidrocarbonetos	kg			1,00	3.200,00	9,00			3.210,00
NO _x	kg		115,00	4,00	900,00	40,00			1.059,00
SO _x	kg		50,00	2,00	143,00	19,00			214,00
material particulado	kg		31,00	1,00	890,00	3,00			925,00
resíduos sólidos									
lodo	kg	940,00							940,00
tijolos	kg				25.600,00	21.140,00		0,00	46.740,00
areia	m ³			1,04			0,00		1,04
saco de cimento	kg						145,00		145,00
argamassa	m ³							0,00	0,00
resíduos líquidos									
água residual	kg	16.300,00					0,00		16.300,00

Observa-se através da comparação entre as Tabelas 1 e 5 que a redução dos desperdícios no canteiro de obras acarretam uma diminuição na emissão de poluentes, tal fato deve-se pela redução de insumos adquiridos e transportados para a produção da mesma quantidade de alvenaria. As emissões atmosféricas foram reduzidas, diminuindo-se em torno de 10%, ou 33 toneladas, a quantidade de CO₂ e aproximadamente 9% da emissão de hidrocarbonetos, o causador do principal impacto ambiental deste trabalho. A redução de resíduos sólidos foi bastante significativa, sendo que somente os tijolos obtiveram uma redução de aproximadamente 70%. Verifica-se também que o desperdício no consumo de água para a obra hipotética foi reduzido em aproximadamente 23%. Ainda, cabe salientar que mesmo adotando uma comparação com uma obra hipotética e sem perdas, os tijolos continuam sendo os maiores responsáveis pelas emissões dos hidrocarbonetos, respondendo por mais de 99% das emissões.

CONCLUSÕES

Deve-se perseguir a redução dos desperdícios de materiais, energia e água, pois tal enfoque acarreta uma seqüência de benefícios ao meio ambiente como: a redução dos materiais extraídos do mesmo; a redução dos materiais descartados nos aterros de inertes, prolongando assim a vida útil destes aterros; a redução do consumo de energia incorporada à construção civil; a redução do consumo de água; e a redução das emissões atmosféricas.

A redução dos desperdícios no canteiro de obras acarreta em uma diminuição na emissão de poluentes. Tal fato é obtido pela redução de insumos adquiridos e transportados. Os impactos ambientais descritos neste estudo foram relativos a emissões atmosféricas, consumo excessivo de material, desperdício de materiais, desperdício de água e desperdício de energia.

Os resíduos sólidos são impactos ambientais preocupantes, pois tem grande volume e devem possuir um local apropriado para sua disposição. No caso de Porto Alegre existem os aterros de inertes operando. A redução da quantidade de resíduos sólidos implica em aumento de vida útil do aterro.

A ACV mostra que a execução de alvenaria contribui para a formação de seis principais impactos ambientais.



Destes, o NO_x interage juntamente com o SO_x para a formação da chuva ácida; o CO, NO_x e SO_x contribuem para a toxicidade ao ser humano; o NO_x atua também no aumento dos níveis de nutrientes; as grandes quantidades de CO₂ produzido são responsáveis pelo efeito estufa; os HC atuam para a formação do ozônio a baixas altitudes e as diversas fontes energéticas utilizadas causam a depleção energética.

A redução dos desperdícios no canteiro de obras acarreta em uma diminuição na emissão de poluentes obtidos pela redução de insumos adquiridos e transportados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CARDIM FILHO, A., JOSA, A., AGUADO, A., GETTU, R. Avaliação do impacto ao meio ambiente causados pelos produtos e materiais da construção civil. Anais do IV Congresso de Controle de Qualidade - Com Pat'97 - Porto Alegre, RS, 1997 - CPGEC/UFRGS - Q+Pareco/ p. 499-506.
2. FREEMAN, L.D., HARDER, M.K.. Environmental impact of transportation during the transfer and disposal of construction and demolition waste landfill. Buildings and environment, Second International Conference. June 9 a 12, 1997. Paris, France. v.1.
3. HEIJUNGS, R. *et al.* 1996. Life cycle assessment: What it is and how to do it. Paris: UNEP. 91p.
4. Knijnik, R. 1994. Energia e meio ambiente em Porto Alegre: bases para o desenvolvimento. 309 p.
5. LUND, H. F. 1993. Chapter 20. Construction and demolition debris. The mcgraw-hill recycling handbook. p. 20.1-20.20.
6. PINTO, T. P., DUTRA, M. R., CAMPOS, H. K. T. Manejo diferenciado e reciclagem de entulhos da construção civil em belo horizonte - In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 18., 1995, Salvador.
7. SANTOS, A. *et al.*, 1996. Método de intervenção para a redução de perdas na construção civil: manual de utilização. [Porto Alegre]: SEBRAE/RS. 97 p.
8. SANTOS, C.V.J. Técnicas de Produção Mais Limpas e Análise do Ciclo de Vida Aplicadas na Indústria da Construção Civil. Porto Alegre. 2000. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas-Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
9. SKOYLES, E.R. SKOYLES, J., 1987. Waste prevention on site. London, 208p.
10. TEIXEIRA, B., SOUZA, B., BALDOCHI, V. Diagnóstico da coleta e destinação final de resíduos da construção civil na cidade de São Carlos - S.P. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19°, 1997, Salvador.
11. UNEP IE. 1996. Industry and Environment, v.19, n° 2, april-june.