



ELABORAÇÃO DE INVENTÁRIO DE CONSUMO DE ENERGIA NO CICLO DE VIDA DOS MATERIAIS UTILIZADOS EM FACHADAS DE EDIFÍCIOS NO BRASIL

Vanessa M. Taborianski (1); Rodolfo A. Simoni (2); Racine T. A. Prado (3)

- (1) Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: vanessa.montoro@poli.usp.br.
(2) Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: rodolfo.simoni@poli.usp.br
(3) Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: racine.prado@poli.usp.br.

RESUMO

A indústria da construção civil é uma das principais fontes emissoras de poluição devido ao alto consumo de energia no ciclo de vida de seus produtos, ou seja, os edifícios e obras de arte. Um dos métodos mais conceituados internacionalmente para se avaliar o consumo de materiais e energia e, consequentemente, o impacto ambiental de um determinado produto é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Entretanto, há uma certa dificuldade em se utilizar esse método no Brasil devido à dificuldade de se obter dados referentes ao consumo de matérias-primas e energia dos materiais envolvidos na indústria da construção civil. Desse modo, esse trabalho discute a elaboração de um inventário de consumo de matérias-primas e energia dos principais materiais utilizados em edifícios no Brasil, visando futuros estudos de ACV no setor de construção civil. Como estudo de caso, levantam-se os dados de consumo de matérias-primas e energia no ciclo de vida de fachadas de escritório.

Palavras-chave: consumo de energia, materiais de construção, análise de ciclo de vida, fachadas.

ABSTRACT

The civil construction industry is one of the main sources of pollution emission owing to the high energy consumption in the life cycle of its products, in other words, the buildings and works of art. One of the internationally most highly regarded methods of evaluating both material and energy consumption, and therefore, the environmental impact of a certain product is the Life Cycle Assessment (LCA). Nevertheless, there is a considerable difficulty on using this method in Brazil because of the lack of information about material and energy consumption of the civil construction industries materials. Taking this into consideration, this project discusses the elaboration of a database about both raw material and energy consumption of the main used buildings materials in Brazil, aiming future studies of LCA in the civil construction sector. As a case study, it is risen data about the raw material and energy consumption in the life cycle of some office buildings façades.

Key words: energy consumption, construction materials, life cycle assessment, façades.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é uma das principais fontes de poluição do planeta, pois suas atividades possuem enorme impacto ambiental, e está entre as maiores consumidoras individuais de recursos naturais.

Além disso, a construção civil é uma grande consumidora de energia e, consequentemente, uma grande emissora de gases de efeito estufa. Estima-se que cerca de 30% da produção mundial de dióxido de carbono (CO₂) seja proveniente do setor da construção civil (MOURA, 2007). A fabricação dos materiais de construção é responsável por uma parte significativa desse consumo de energia e da liberação de gases de efeito estufa. A indústria cimenteira, por exemplo, é responsável por cerca de 5% das emissões globais e a obtenção de uma tonelada de aço primário emite, em média, cerca de 1,6 a 2,5 toneladas de CO₂ (CAPELLO, 2007).

Desse modo, é fundamental que a indústria da construção civil assuma um importante papel na redução das emissões de gases de efeito estufa e de consumo energético. Segundo Blanco (2007), o

setor tem um potencial para reduzir cerca de 1,8 bilhões de toneladas de CO₂ até o ano de 2010, ou seja, cerca de três vezes a quantidade almejada pelo Protocolo de Kyoto.

Por outro lado, nas últimas décadas houve uma grande mudança nos padrões arquitetônicos dos edifícios de escritório projetados nos grandes centros urbanos do mundo, inclusive no Brasil. Essa mudança ocorreu tanto no aspecto externo dos edifícios, com a escolha de novas tecnologias e materiais para fachadas e coberturas, a modificação da relação de vidros nas fachadas, a forma, as aberturas de caixilhos e a possibilidade de ventilação natural e cruzada; como no aspecto interno, com alteração da distribuição de divisórias internas, instalação de piso elevado, etc.

Esses novos padrões tornaram o edifício mais dependente de equipamentos mecânicos para o aquecimento e resfriamento em fachadas altamente envidraçadas, aumentando o consumo de energia durante o uso e operação das edificações.

Entretanto, o consumo de energia pelos edifícios não se restringe apenas ao seu estágio de uso. Segundo Abeysundara et al. (2007), quando chegam ao local de construção do edifício, os materiais já consumiram muita energia durante seus processos de fabricação. Essa energia consumida pelos materiais é conhecida como “energia incorporada” e é a quantidade de energia incorporada em um produto devido à extração da matéria-prima e aos processos de manufatura requeridos para produzir um produto acabado. Também inclui a energia associada ao transporte das matérias primas para a fábrica e do produto final ao consumidor.

Nesse contexto, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) surge como uma ferramenta bastante importante, pois este método analisa os efeitos ambientais de um produto, processo ou atividade ao longo de todo o seu ciclo de vida, ou seja, desde a extração das matérias-primas até sua destinação final.

Para que a ACV possa ser utilizada de modo amplo e confiável, a UNEP (1996) afirma que é necessário desenvolver bases de dados regionalizadas, contendo Inventários de Ciclo de Vida (ICV) dos principais insumos usados pela sociedade como energia, matérias-primas, etc. Com uma tabela de comparação, seria possível optar pelo material de construção que menos gerou impacto ambiental e, assim, incentivar toda a cadeia produtiva em direção a ecoeficiência (CAPELLO, 2007).

Porém, conforme observam Silva et al. (2002) uma das maiores limitações para o desenvolvimento da ACV é justamente a falta de dados de boa qualidade e/ou de dados consistentes. As principais razões para a persistência de tal problema são: sigilo de dados pelos proprietários; falta de critérios consolidados para a elaboração de relatórios; questões regulamentares; falta de atratividade para as organizações coletarem dados e, principalmente, o custo. Neste sentido, a disponibilidade de bancos de dados confiáveis é um requisito fundamental para o adequado uso da ferramenta da ACV.

A situação brasileira é particularmente crítica, pois, além das limitações de caráter universal apontadas acima, existe o fato de que os bancos de dados devem ter características regionais, em função dos condicionantes geográficos, tecnológicos, econômicos e sociais do país (SILVA et al., 2002).

No campo da construção civil, devido à grande variedade de seus produtos finais, a criação de bancos de dados é ainda mais complexa, pois depende do levantamento de diversos materiais e matérias-primas.

Neste trabalho, levantam-se os dados da energia embutida em alguns dos principais materiais utilizados nas fachadas de edifícios de escritório.

2 OBJETIVO

Esse trabalho discute a elaboração de um inventário de consumo de energia dos principais materiais utilizados em edifícios no Brasil, visando futuros estudos de ACV no setor de construção civil. Como estudo de caso, levantam-se os dados de consumo de matérias-primas e energia na produção dos materiais utilizados nas fachadas de edifícios de escritório.

3 INVENTÁRIOS DE CICLO DE VIDA REALIZADOS NO BRASIL

A ACV é um instrumento de apoio à tomada de decisões que, por si só, não resolve problemas, mas gera informações úteis à resolução de problemas (SILVA et al., 2002). O método da ACV é composto das seguintes partes:

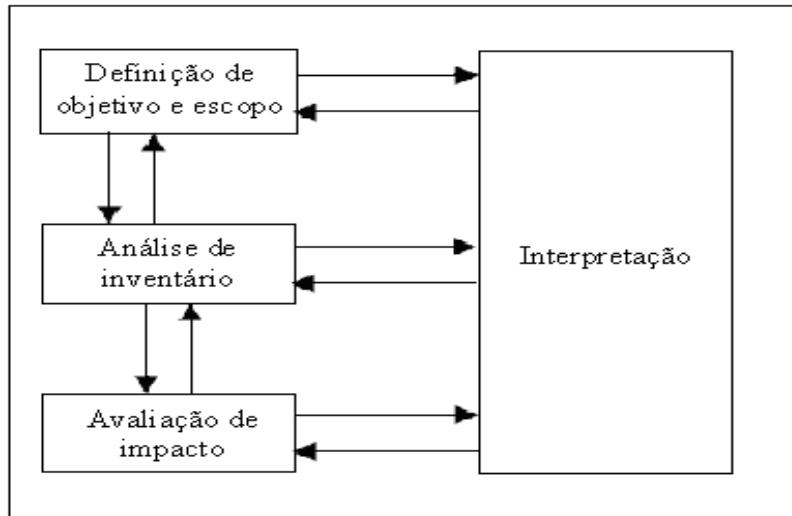


Figura 1 - Estrutura da avaliação do ciclo de vida (ABNT, 2001)

Na fase de definição de objetivos e escopo devem ser apresentados o objetivo, as metas para alcançar esse objetivo e todas as considerações necessárias para a realização desta análise. Por meio do inventário de ciclo de vida quantificam-se as entradas e saídas de matéria e energia das fronteiras do sistema determinadas na fase anterior em todas as etapas do ciclo de vida. A análise de impactos tem como objetivo apresentar as consequências, para o meio ambiente, dos processos envolvidos no ciclo de vida destes materiais. O último passo é a interpretação, onde se procura avaliar todo o estudo realizado.

Assim, a etapa de elaboração do Inventário do Ciclo de Vida é aquela que consome mais tempo e recursos para sua elaboração. Isto se deve ao fato de que a quantidade de dados a serem levantados é extremamente elevada (SILVA et al., 2002).

Porém, a elaboração de bases de dados é um dos fatores necessários para o desenvolvimento do uso da ACV. Estas bases de dados nada mais são do que o inventário do ciclo de vida dos elementos comuns a vários ciclos de vida. A disponibilidade destas bases torna viável a execução de ACV's pelo fato de permitir a redução drástica do número de dados a serem levantados. A incorporação das bases de dados em *softwares* de auxílio a ACV também contribuiu de forma significativa para a consolidação do uso desta técnica (SILVA et al., 2002).

Apesar das dificuldades existentes no Brasil, diversos produtos e sistemas têm sido avaliados em termos de consumo de energia e impacto ambiental, ao longo de seu ciclo de vida. Taborianski (2002) avaliou a contribuição dos sistemas de aquecimento de água residencial por chuveiro elétrico, aquecedor a gás e aquecedor solar para a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera. Esse trabalho permitiu o levantamento de diversos dados de consumo de energia e de emissões de gases de efeito estufa de materiais envolvidos na construção civil, por meio da Análise do Ciclo de Vida (ACV). Na mesma linha, Carvalho (2002) realizou um estudo comparativo entre os cimentos Portland com adição de resíduos, por meio da ACV, com o objetivo de avaliar os benefícios ambientais da reciclagem.

Borges (2004) fez um inventário do ciclo de vida do PVC produzido no Brasil, incorporando dados importantes para a cadeia produtiva dos plásticos utilizados na construção civil.

Outros inventários foram realizados ao longo dos últimos anos, dentre os quais se destacam os da geração hidrelétrica (RIBEIRO, 2003) e da transmissão de energia elétrica (VICTORINO, 2002), por estarem ligados à produção e fornecimento de energia elétrica no Brasil.

Esses trabalhos foram importantes para se iniciar a construção de um banco de dados nacional para a realização de estudos de ACV, porém ainda existem muitos materiais e sistemas a serem avaliados. O levantamento desses dados para a construção de bancos nacionais será exemplificado pelo estudo de caso a seguir.

4 ESTUDO DE CASO: FACHADAS DE EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS

4.1 Tipologias de fachadas avaliadas

Neste estudo, definiu-se levantar os dados de quantidade de material e energia consumidos apenas nas etapas de extração das matérias-primas e processo de produção dos materiais constituintes das fachadas. Para isso, consideraram-se as seguintes tipologias de fachadas:

a) Alvenaria

Para este sistema, definiu-se que as fachadas eram compostas de blocos de concreto para vedação M-15, de dimensões (14x19x39) cm. Optou-se também pelo uso de argamassas de assentamento e revestimento tradicionais, ou seja, obtidas pela mistura de água, cimento, areia e cal. Por fim, considerou-se uma camada externa com pintura impermeabilizante.

Os traços e espessuras utilizados para as diferentes camadas de revestimento, neste sistema, são apresentados na tabela 1.

b) Alumínio

Neste sistema, considerou-se que as fachadas são revestidas com *Aluminium Composites Materials (ACM)*, ou seja, chapas de ligas de alumínio intercaladas por algum polímero ou composto similar. Considerou-se que esses painéis são compostos por duas lâminas de alumínio (liga 3105-H24), de 0,5 mm cada, e um núcleo de polietileno de baixa densidade (PEBD) de 3 mm de espessura.

Esses painéis são fixados em subestruturas de alumínio, que por sua vez são fixadas na estrutura do edifício. Entre os painéis, são utilizados silicone e tarucel (composto selante feito à base de polietileno de baixa densidade) para vedação do sistema.

Tabela 1 – Traços e espessuras das camadas de revestimento da alvenaria (dados de GUIMARÃES, GOMES E SEABRA, 2004)

	Espessura (mm)	Relação a/c	Cimento	Cal Hidratada	Areia
			(lata de 18 L)		
Argamassa de Assentamento	10	2,5	1	1	8
Chapisco	5	2,5	1	0	3
Emboço	15	2,5	1	1	6
Reboco	5	2,5	1	1	6

c) Vidro

Segundo Oliveira, o sistema de fachada de vidro mais utilizado em edifícios é o sistema conhecido por *structural glazing*, um tipo de fachada-cortina em que o vidro é colado usualmente com silicone estrutural nos perfis dos quadros de alumínio, ficando a estrutura oculta, na face interna (informação pessoal)¹.

Por regulamentação da NBR 7199, é obrigatório o uso de vidro laminado em fachadas. Neste estudo, foi adotado o vidro 4x4, ou seja, duas lâminas de vidro de 4 mm, coladas por uma camada de Polivinil Butiral (PVB) de 0,38 mm, bastante usual em edifícios elevados.

d) Pré-Fabricado de Concreto

Existem no mercado, diversos tipos de painéis pré-fabricados de concreto. Optou-se por estudar um painel pré-fabricado composto por GFRC, do inglês Glass Fiber Reinforced Concrete, ou seja, um concreto especial, reforçado com fibras de vidro. Esses painéis têm uma espessura média de 2 cm e dimensões limitadas por 3,5 m.

Ainda foram estudados dois tipos de revestimento que podem ser aplicados tanto sobre a alvenaria quanto sobre os painéis pré-fabricados de concreto:

¹ OLIVEIRA, S. **Alcan Composites**. Mensagem enviada por Sue.Oliveira@alcan.com em 5 jul. 2007.

• *Cerâmico*: para revestimentos externos são utilizadas peças cerâmicas com absorção de água inferior a 3 %, ou seja, porcelanatos, semi-grés e grés. De acordo com Maranhão, o material cerâmico mais utilizado em fachadas de edifícios é o grés, com dimensões (10x10) cm (informação pessoal)², o qual foi selecionado para este trabalho.

Optou-se também pela utilização da argamassa colante II (ACII), que substitui o emboço e o reboco, e permite a aderência do material cerâmico.

• *Granito*: o granito, essencialmente composto de feldspato, quartzo e mica, é encontrado em sua forma natural e extraído em blocos. Após a extração, esses blocos são levados a serrarias, onde são cortados em chapas. Feito isso, essas chapas são trabalhadas e transformadas no produto final, que no caso são placas de revestimento de fachadas. Essas placas têm espessura média de 2 cm.

3.2 Metodologia

A metodologia de análise do consumo de recursos naturais envolvidos no ciclo de vida dos materiais constituintes dos principais tipos de fachadas de edifícios de escritórios em São Paulo foi baseada no Conceito de Ciclo de Vida (Life Cycle Thinking). Esse conceito propõe que sejam analisadas as entradas e saídas de recursos naturais e de energia de um determinado produto.

Em relação à energia consumida, consideraram-se dois tipos básicos:

1. Elétrica: levantaram-se as quantidades de energia elétrica consumidas em média na extração de matérias-primas e fabricação de materiais. Dessa forma, conhecendo-se a matriz energética nacional, é possível estimar a poluição gerada, em termelétricas e hidrelétricas, durante a produção de eletricidade.

2. Térmica: de modo geral, é gerada a partir da queima de combustíveis, o que gera poluição, emitindo principalmente monóxido e dióxido de carbono. Dessa forma, obtendo os valores médios de quantidades de calor necessárias na fabricação de materiais, é possível se estimar a quantidade de poluentes emitida.

A pesquisa sobre consumo energético dos recursos naturais e dos materiais componentes de sistemas de fachadas foi realizada, basicamente, por meio do contato direto com mineradoras e empresas fabricantes e pelo levantamento de dados em relatórios anuais das mesmas. Inicialmente, foram estudadas as empresas de maior representatividade no mercado nacional, apresentadas no Anuário Mineral Brasileiro 2006 (Departamento Nacional de Produção Mineral) e em pesquisas de mercado. No entanto, muitas empresas não possuíam os dados requeridos no momento, o que direcionou uma parte das pesquisas de dados para empresas de menor porte.

Para o levantamento das matérias-primas, estudou-se separadamente cada caso. Em relação à alvenaria, as quantidades de insumos para a fabricação das argamassas foram obtidas por meio dos traços adotados e do TCPO (Tabela de Composições de Preços para Orçamentos, 2000).

Através de contatos com fabricantes de blocos de concreto, também foi possível obter as quantidades de insumos necessários para se fazer 13,13 blocos, o que corresponde a 1 m² de parede, considerando uma perda razoável de 5 %.

Com relação ao impermeabilizante, são necessárias de 2 a 3 demões, com um consumo aproximado de 380 g/m²/demão, totalizando um consumo aproximado de 950 g/m².

Quanto aos painéis de ACM, a liga de alumínio 3105-H24 tem a seguinte composição química porcentual: 96,5 de alumínio (Al); 0,60 de silício (Si); 0,70 de ferro (Fe); 0,30 de cobre (Cu); 0,50 de magnésio (Mg); 0,55 de manganês (Mn); 0,20 de cromo (Cr); 0,40 de zinco (Zn); 0,10 de Titânio (Ti); 0,15 de outros materiais. Por ser a indústria metalúrgica extremamente complexa, resolveu-se adotar que a liga é composta apenas por alumínio primário.

Segundo Wisintainer, o grés cerâmico é composto aproximadamente por 35 % de argila, 20 % de caulins e 45 % de feldspatos. As operações térmicas utilizam gás natural, enquanto que as outras operações como movimentação e esmaltação utilizam equipamentos elétricos. (informação pessoal)³.

² MARANHÃO, F. L. EPUSP. Mensagem enviada por flavio.maranhao@poli.usp.br em 12 nov. 2007.

³ WISINTAINER, M. Eliane S/A. Mensagem recebida por <marivaldo.wisintainer@eliane.com> em 20.nov. 2007.

A argamassa colante utilizada deve ser, por norma, industrial.

No caso de painel pré-fabricado, por ser o painel estudado de fabricação exclusiva de uma empresa, não se pôde ter acesso às quantidades certas de insumos utilizados na fabricação do mesmo. Sendo assim, levantou-se apenas a quantidade de energia consumida em sua fabricação.

Para termos de pesquisa, foram adotadas placas graníticas de (1,5x1,2) m.

3.3 Resultados obtidos

Os resultados parciais obtidos para a quantidade de insumos para a fabricação de 1 m² de parede em alvenaria e de matérias-primas para a fabricação de 1 tonelada de alumínio, de 1 kg de silicone e 1 tonelada de vidro são apresentadas nas tabelas 2, 3, 4 e 5, respectivamente.

Tabela 2 - Quantidade de insumos no sistema por alvenaria, por m² de parede.

	Água (m ³)	CP I ¹ (kg)	CP V – ARI ² (kg)	Pó Calcário (kg)	Cal Hidratada (kg)	Brita 00 (kg)	Areia Úmida (m ³)
Argamassa de Assentamento	0,00309	1,234	---	---	0,624	---	0,0082
Chapisco	0,00608	2,430	---	---	----	---	0,0061
Emboço	0,00911	3,645	---	---	1,830	---	0,0182
Reboco	0,00304	1,215	---	---	0,610	---	0,0061
Blocos de concreto	0,0173	---	4,80	32,02	---	32,02	0,0534

¹ CPI – Cimento Portland Comum.

² CPV - ARI – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial.

Tabela 3 – Quantidade de matéria-prima para fabricação de 1 t de alumínio (ABAL, 2000)

Matéria-prima	Quantidade/t de alumínio	Unidade
Bauxita	3,6 a 6,5	t
Cal	19,1 a 95,5	kg
Óleo combustível	246	kg
Água	2,4	m ³

Tabela 4 – Quantidade de insumo para fabricação de 1 kg de silicone (informação pessoal de MARCHIONE, 2007).

Matéria-prima	Quantidade (kg)
Quartzo (SiO ₂)	0,811
Carvão (C)	0,324
Metanol (CH ₃ OH)	0,864
Ácido Clorídrico (HCl)	0,985
Água (H ₂ O)	0,486

Tabela 5 – Quantidades de matérias-primas necessárias na fabricação de 1 t de vidro (informação pessoal de AKERMAN, 2007).

Matéria-Prima	Quantidade (kg)
Areia	702
Carbonato de Sódio (Barrilha)	232
Dolomita	182
Calcário	56
Feldspato	33
Sulfato de Sódio	8
Hematita	0,5
Grafite	0,2

A seguir, comparou-se a quantidade de energia consumida, tanto elétrica quanto térmica, na produção dos materiais, já levantados, utilizados em fachadas. Deve-se destacar que foram usados os poderes caloríficos inferiores dos combustíveis (PCI's), resumidos na tabela abaixo:

Tabela 6 – Poder calorífico inferior de combustíveis (MME, 2007)

Combustível	Unidade	PCI (kcal/unid)
Óleo Diesel	L	8484
Óleo Combustível	kg	9590
GLP	kg	11100
Gás Natural	m ³	9930
Coque de Petróleo	kg	8390

Tabela 7 - Energia consumida para a produção de 1 m² de material⁴

Tipologia: Alvenaria

Insumos	Unid	Quant.	E. Elétrica (kWh/ton)	Combustível (un/ton)	E. Térmica (kcal/ton)	Energia Elétrica (kWh)	Energia Térmica (kcal)
Blocos de							
Concreto	blocos	13,13	0,04	---	0,00	0,53	0,00
CP I	kg	8,52	107,00	---	595000,00	0,91	5069,40
CP V-ARI	kg	4,80	116,00	---	595000,00	0,56	2856,00
Cal Hidratada	kg	3,06	0,00	---	1200000,00	0,00	2776,03
Pó Calcário	kg	32,02	7,00	1,4 L de diesel	11877,60	0,22	386,42
Água	m ³	0,04	0,71	---	0,00	0,03	0,00
Brita 00	kg	32,02	3,50	0,256 L de diesel	2171,90	0,11	70,66
Areia Seca	m ³	0,07	0,00	6,4 L de diesel	54297,60	0,00	4060,36
Calcário	kg	15,60	3,00	1,4 L de diesel	11877,60	0,05	188,26
Argila	kg	1,20	0,00	0,25 L de diesel	2036,16	0,00	0,78
Gipsita	kg	0,67	14,50	13,5 kg de coque	113265,00	0,01	63,32
					TOTAL	2,42	15471,23

Tipologia: Vidro Float Laminado

Insumos	Unid	Quant.	E. Elétrica (kWh/ton)	Combustível (un/ton)	E. Térmica (kcal/ton)	Energia Elétrica (kWh)	Energia Térmica (kcal)
Vidro (Float)	kg	20,00	210,00	---	1.587.560,00	4,20	31.751,20
Vidro laminado	kg	20,00	315,00	---	0,00	6,30	0,00
Água	m ³	0,03	0,71	---	0,00	0,02	0,00
Areia Quartzosa	kg	11,23	10,45	0,52 L de diesel e 5,65 m ³ de gás natural	54.131,68	0,12	607,90
Carbonato de Sódio (Barrilha)	kg	3,71	100,00 ¹	---	0,00	0,37	0,00
Dolomita	kg	2,91	1,88	0,66 L de diesel	5.599,44	0,01	16,29
Calcário	kg	0,90	3,00	1,4 L de diesel	11.877,60	0,00	10,69
Feldspato	kg	0,53	2,12	6 kg de GLP	66.600,00	0,00	35,30
					TOTAL	11,02	32421,38

⁴ Optou-se por utilizar dados brasileiros para as quantidades de energias elétrica e térmica incorporadas aos materiais utilizados em fachadas. Porém, observa-se que esses dados são preliminares e, para conclusão do estudo, tais dados deverão ser refinados, visto que em periódicos internacionais foram encontrados valores de 65.700 kWh/t e 7.700 kWh/t, para o alumínio e vidro (REDDY; JAGADISH, 2003) e também 53.000 kWh/t e 4.400 kWh/t, para o alumínio primário e o vidro float respectivamente (CHEN et al., 2001), bastante diferentes daqueles encontrados nas referências nacionais. Assim, essa diferença nos valores dos dados deverá ser mais bem investigada em trabalhos futuros.

Tipologia: Painel de Alumínio⁵

Insumos	Unid	Quant.	E. Elétrica (kWh/ton)	Combustível (un/ton)	E. Térmica (kcal/ton)	Energia Elétrica (kWh)	Energia Térmica (kcal)
Alumínio	kg	2,71	15.000,00	44,2 kg de óleo combustível	423.878,00	40,65	1.148,71
Painel Alucobond	m ²	1,00	4,08	---	0,00	4,08	0,00
Alumina	kg	5,20	275,00	105 kg de óleo combustível	1.006.950,00	1,43	5.236,63
Cal	kg	0,16	0,00	---	1.200.000,00	0,00	192,00
Vapor	kg	14,30	0,00	---	719.000,00 ³	0,00	10.281,70
Soda Cáustica	kg	0,47	3.105,94	---	1.984.500,00	1,46	932,72
Água	m ³	0,02	0,71	---	0,00	0,01	0,00
Bauxita	kg	13,69	0,00	0,28 L de diesel	2.375,52	0,00	32,52
Calcário	kg	0,29	3,00	1,4 L de diesel	11.877,60	0,00	3,44
					TOTAL	47,64	17827,72

¹ Dados médios obtidos em Bermann (1991).

² Considerou-se apenas os materiais cuja energia para sua produção estavam disponíveis.

³ Energia necessária para transformar a água em vapor a 185 °C.

⁵ Não foi possível obter dados sobre os processos de laminação a frio e a quente, que fazem parte da cadeia de produção do painel. Considerou-se que todo o óleo combustível utilizado na produção da alumina e do alumínio são usados em processos térmicos.

Com os dados da tabela 6 verifica-se que o alumínio é material que mais consome energia elétrica em sua produção, seguido do vidro e, por fim, a alvenaria. Por outro lado, observa-se um maior gasto de energia térmica na produção do vidro.

Deve-se ressaltar, entretanto, que essa comparação só considerou os materiais, devido à quantidade de dados disponíveis no momento. Porém, para a comparação entre fachadas, deve-se considerar todos os materiais envolvidos, ou seja, o vidro e o alumínio para as janelas em fachadas revestidas com alvenaria e painéis de alumínio composto.

Outro ponto importante a ser comentado é a reciclagem de alguns materiais como o vidro e o alumínio que, nesse estudo foram considerados primários, mas que na realidade possibilitam uma economia relevante de recursos e energia.

5 CONCLUSÃO

Devido ao impacto da indústria da construção civil, é necessário que seus produtos finais também incorporem uma concepção mais sustentável. Desse modo, a ACV é um método que pode ser bastante eficaz na tomada de decisões ambientalmente melhores, tanto na escolha dos materiais quanto na dos sistemas construtivos ou prediais a serem adotados em um edifício.

Entretanto, para que a ACV possa ser utilizada de modo amplo e confiável, é importante desenvolver bases de dados regionalizadas, contendo Inventários de Ciclo de Vida (ICV) dos principais insumos usados pela sociedade como energia, matérias-primas, etc.

Desse modo, diversos estudos estão sendo desenvolvidos com o objetivo de levantar os dados de quantidade de materiais e energia utilizados no setor da construção civil.

Porém, percebe-se que ainda existem várias barreiras para a disseminação do método da ACV como a grande quantidade de dados necessários para se estudar apenas um tipo de sistema dos edifícios e a variabilidade dos dados encontrados, exemplificados para os casos do alumínio e o vidro (ver nota 1), o que torna a aplicação deste método bastante complexa.

Por fim, observa-se que, neste estudo inicial, apresentam-se apenas os dados da energia embutida, ou seja, da energia consumida durante a etapa de fabricação dos materiais utilizados nas fachadas. Para a

realização de uma ACV completa, devem-se considerar também todas as outras etapas envolvidas no ciclo de vida das fachadas, como montagem, uso e disposição final.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ALUMÍNIO (ABAL). Apresenta dados sobre alumínio e seus componentes. Disponível em: <<http://www.abal.org.br/aluminio/>> producao_alupri.asp>. Acesso em: 28 mai. 2007.
- AKERMAN, M. **Publicação eletrônica** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <mauro.akerman@saint-gobain.com> em 15 set. 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7199: Projeto, execução e aplicações de vidros na construção civil. Rio de Janeiro, 1989.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 14040: Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida -Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001.
- BERMANN, C. Os limites dos aproveitamentos energéticos para fins elétricos: uma análise política da questão energética e de suas repercussões sócio-ambientais no Brasil. Campinas, 1991. 296p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP.
- BLANCO, M. Construções sem carbono. **Revista Construção Mercado**. São Paulo, nº 71, p. 30 – 36, junho, 2007.
- BORGES, F.J. **Inventário do ciclo de vida do PVC produzido no Brasil**. São Paulo, 2004. 174p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, EPUSP.
- CAPELLO, G. Indústria Consciente. **Revista Construção Mercado**. São Paulo, nº 71, p. 46 – 50, junho, 2007.
- CARVALHO, J. Análise de ciclo de vida ambiental aplicada à construção civil: estudo de caso - comparação entre cimentos Portland com adição de resíduos. São Paulo, 2002. 102p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, EPUSP.
- CHEN, T. Y. et al. Analysis of embodied energy use in the residential building of Hong Kong. **Energy**. v. 26, p. 323-340, 2001.
- FIGUEIRA, E. **Publicação eletrônica** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <fablocos@yahoo.com.br> em 14 ago. 2007.
- GUIMARÃES, J. E.; GOMES, R. D.; SEABRA, M. A. **Guia das argamassas nas construções: Construindo para sempre com cal hidratada**. 8ª Edição. São Paulo: Ed. ABPC, 2004. p. 24 e 25.
- MARANHÃO, F. L. **Publicação eletrônica** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <flavio.maranhao@poli.usp.br> em 5 jul. 2007.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Balanço energético nacional 2007**. Disponível em: <<http://ww.mme.gov.br>>. Acesso em 15.05.2008.
- MOURA, É. Green Building. **Revista Construção Mercado**. São Paulo, nº 71, p. 38 – 41, junho, 2007.
- OLIVEIRA, R. **Publicação eletrônica** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <remy.oliveira@cebrace.com.br> em 5 jul. 2007.
- REDDY, B. V. V., JAGADISH, K. S. Embodied energy of common and alternative building materials and technologies. **Energy and Buildings**. v. 35, p. 129-137, 2003.
- RIBEIRO, F.M. **Inventário de ciclo de vida da geração hidrelétrica no Brasil – Usina de Itaipu: primeira aproximação**. São Paulo, 2003. 243p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, EPUSP.

SILVA, G. A.; YOKOTE, A. Y.; RIBEIRO, P. H. Desenvolvimento de banco de dados brasileiro para avaliação de ciclo de vida. In: GLOBAL CONFERENCE-CONSTRUINDO O MUNDO SUSTENTÁVEL, São Paulo, (2002). São Paulo: ABEPPOLAR/IUAPPA-UIAPPA, 2002. s.p.

TABELA DE COMPOSIÇÕES DE PREÇOS PARA ORÇAMENTOS (TCPO 2000). 1^a edição. São Paulo: Editora Pini Ltda., 1999. p.70, p.72.

TABORIANSKI, V. M. **Avaliação da contribuição das tipologias de aquecimento de água residencial para a variação do estoque de gases de efeito estufa na atmosfera.** São Paulo, 2002. 118p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, EPUSP.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Global Environment Outlook 3, chapter on Atmosphere:** Greenhouse gases and Climate Change. Disponível em: <http://www.unep.org/geo/geo3/english/pdfs/chapter2-7_atmosphere.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2007.

VICTORINO, W.F. **Inventário de ciclo de vida do sistema de transmissão de energia elétrica.** São Paulo, 2004. 214p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, EPUSP.

WISINTAINER, M. **Publicação eletrônica** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <marivaldo.wisintainer@eliane.com> em 20 nov. 2007.