



6 a 8 de outubro de 2010 - Canela RS

ENTAC 2010

XIII Encontro Nacional de Tecnologia
do Ambiente Construído

ANÁLISE ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES POR MEIO DE COMPOSIÇÃO DE SERVIÇOS DE OBRAS: ESTUDO DE CASO

**Fernando Henrique Rodrigues Lobo (1); Antonio Victor Rodrigues Lobo (2); Sérgio
Fernando Tavares (3)**

- (1) Programa de Pós- Graduação em Construção Civil – Universidade Federal do Paraná, Brasil –
e-mail: fhrlobo@gmail.com
- (2) Programa de Pós- Graduação em Construção Civil– Universidade Federal do Paraná, Brasil –
e-mail: avrlobo@gmail.com
- (3) Programa de Pós- Graduação em Construção Civil– Universidade Federal do Paraná, Brasil –
e-mail: sergioft22@yahoo.com.br

RESUMO

Há grande participação de fontes fósseis no consumo de energia nas fases de construção, de uso e de demolição, contribuindo com as mudanças climáticas. Calcula-se que 30% emissões globais de gases do efeito estufa sejam causadas pelas edificações. Por essa razão, adota-se como parâmetro de sustentabilidade na construção civil a contribuição de CO_2_{eq} . Esta abordagem avalia a sustentabilidade sob um parâmetro específico e permite análise quantitativa. O objetivo é demonstrar um método de inventário de emissão equivalente de dióxido de carbono (CO_2_{eq}) que realiza através da análise energética de uma edificação por meio de uma planilha de composição de serviços de obras. Entre as metodologias e abordagens pesquisadas, adotou-se uma análise energética até o 2.º nível energético da *International Federation of Institutes for Advanced Study (IFIAS)*, elegendo a emissão de CO_2_{eq} de uma edificação como unidade de análise. O inventário de emissões se baseou nos quantitativos de uma edificação de tecnologia convencional do cenário brasileiro e em uma Planilha de Composição de Serviços de obras públicas de nível regional. A principal contribuição deste trabalho consiste em demonstrar um método para calcular as emissões de CO_2_{eq} a partir da planilha de serviços de uma obra vinculando os dados de insumos de energia embutida e emissão de dióxido de carbono. A estratégia de pesquisa apresentou aplicação de uma ferramenta na qual se simula os valores de Energia Embutida e emissões de CO_2_{eq} de uma edificação até a conclusão da obra. Os resultados apresentaram que o modelo selecionado tem requisitos energéticos de 4,23 GJ/m² e emissões de 0,57 t CO_2_{eq} /m². O trabalho colabora para o desenvolvimento de um banco de dados atento à realidade nacional aplicado a uma tabela de composição de serviços de obras públicas de referência regional.

Palavras-chave: inventário de emissões de CO_2_{eq} , análise energética, energia embutida.

1 INTRODUÇÃO

1.1 A construção civil e as mudanças climáticas

A construção civil tem papel fundamental na sociedade, mas traz intrinsecamente grandes impactos ao meio ambiente (HALLIDAY,1997). As suas características como: grande número de partes interessadas, mobilização da comunidade local e até mesmo regional, grande mobilização de recursos financeiros para sua execução, intenso uso recursos naturais, intervenientes geográficos, culturais e tecnológicos, geram implicações nas esferas sociais, econômicas e ambientais(PMI, 2004).

Os processos de transformação promovidos pela construção civil requerem cerca de 40% da energia consumida no mundo e taxas elevadas de desperdício, pois em outras indústrias o índice de desperdício médio varia 10% a 15% enquanto no setor da construção este número salta para uma taxa média de 20% (PICCHI, 1993; SILVA; SILVA e AGOPYAN,2003; TAVARES, 2006).

Além do significativo do consumo energético, o setor requer participação de fontes energéticas de origem fóssil e contribui expressivamente na emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa (TAVARES, 2006). Para avaliar a participação das fontes energéticas na construção civil foi realizada uma comparação da matriz energética nacional e a matriz energética setorial na tabela 1.

Verifica-se na tabela 1 que a matriz energética brasileira apresenta 53,6% de fontes não renováveis, enquanto o setor sua matriz energética setorial com 75% de fontes não renováveis. Fossati (2008) acrescenta que os insumos energéticos do setor são considerados como geradores de muitos impactos ambientais.

Tabela 1 – Comparação das fontes energéticas da Matriz Energética Brasileira e Matriz Energética Setorial

Matriz energética	Brasileira¹	Setorial (construção civil)²
Fonte renovável	46,40%	75,00%
Fonte não renovável	53,60%	25,00%

FONTE:¹.Brasil (2009) .

².Tavares(2006).

Além dessas fontes, esta atividade econômica também utiliza materiais que durante a sua fabricação liberam gases do efeito estufa; estima-se que somente na fabricação de cimento seja emitido 5% de todo o CO₂ mundial (MARLAND; BODEN; ANDRES, 2008).

Entre as conseqüências da geração e uso de energia, sem dúvida tem grande destaque a emissão de efluentes gasosos que provocam o efeito estufa, resultante da queima das fontes energéticas. Esses gases, segundo relatório do IPPC (ONU, 2007a), promovem alterações no clima global e com a perspectiva de promover impactos de grande magnitude por um longo período de tempo como o aquecimento da temperatura do globo terrestre em 2°C, o aumento do nível do mar em dois metros e a acidificação dos oceanos. Por tais razões, as emissões desses gases são utilizadas como parâmetros ambientais e de sustentabilidade (BUCHANAN; HONEY, 1994; SUZUKI; OKA, 1998; TAVARES; LAMBERTS, 2008, LOBO, 2010).

1.2 Metodologias e abordagens para levantamento de inventário de CO₂ na construção civil

1.2.1 Análise de ciclo de vida

Análise do ciclo de vida é uma técnica para avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados a um produto e (ou) serviço, compreendendo as etapas que vão desde a extração das matérias-primas elementares que entram no sistema produtivo até a disposição do produto final (ISO 14040, 2006). A norma ISO 14.040 (2006), divide a ACV em quatro etapas que foram sintetizadas no quadro 1.

Quadro 1 – Etapas de análise de ciclo de vida

Etapa	Resumo da etapa
Definição do Escopo e Objetivo	Define e descreve o produto, processo ou serviço. Determinar as fronteiras do sistema é outro fator desta etapa..
Análise de Inventário	Identificar as entradas e saídas de dados do sistema delimitado na fase anterior.
Avaliação de Impacto	Os dados coletados na fase antecessora serão avaliados com o objetivo de se encontrar as conseqüências dos pressupostos identificados.
Interpretação de Resultados	A fase de interpretação é a síntese dos resultados obtidos nas fases anteriores do estudo, é o momento de reflexão crítica quando se questiona do escopo à natureza dos dados.

FONTE: ISO (2006).

Os procedimentos estabelecidos pela ACV visam ao aperfeiçoamento e melhorias nas atividades produtivas. Também é utilizado por ser um instrumento de comparação entre alternativas similares, para sistemas, componentes e materiais.

Entretanto, a aplicação de uma ACV completa, avaliando todo o impacto ambiental é complexa e exige muitos recursos, principalmente quando se trata de edificações.

A estrutura da ACV e sua característica de analisar entradas e saídas durante os processos possibilitam a identificação de diversos itens de análises energéticas, tais como: consumo de energia e emissões resultantes da combustão de combustíveis.

A quantidade de insumos, e a origem deles e sua árvore de processo envolvem diversos setores e há poucos bancos de dados que contemplem um nível regional para utilizar a ACV integralmente para avaliar os impactos ambientais. Acrescente-se ainda a complexidade e os problemas de foco que uma ACV completa e muito detalhada possa apresentar.

1.2.2 Análise energética

O conceito de análise energética é atribuído quando há uma avaliação sistematizada para a determinação de energia necessária para a produção de um bem ou serviço (TAVARES, 2006). Lobo (2010) ampliou esta definição também para atividade e (ou) processo. Fay (1999) argumenta que as análises energéticas são instrumentos facilitadores quanto aos assuntos relacionados à avaliação de recursos e planejamento de energia.

O estabelecimento de fronteiras para análise energética é um processo complexo que exige muitas definições e justificativas na adoção de critérios (WILTING, 1996; BOUSTED; HANCOCK, 1979 apud TAVARES, 2006).

A linha guia mais adotada para delimitação de fronteiras em análises energéticas foi o desenvolvido pela International Federation of Institutes for Advanced Studies (IFIAS) em uma conferência realizada na Suécia, em 1974. Essa reunião foi motivada pelo crescente custo que os custos de energia começaram a representar após a primeira alta do custo do petróleo em 1973, que até então raramente ultrapassavam 6% dos custos industriais (BRANDÃO, 1989). Os níveis energéticos do IFIAS se apresentam no quadro 2.

Quadro 2 – Níveis de análise energética da *International Federation of Institutes for Advanced Study (IFIAS)*

Nível	Fonte	Limites do nível	Requisitos de energia (média)
Nível 01	Secundária	Processos (ISO 14048)	50%
Nível 02	Primária e secundária	Processos e Extração de matéria-prima	90%
Nível 03	Primária e secundária	Processos, Extração de matéria-prima e bens de capital	99%
Nível 04	Primária e secundária	Processos, Extração de matéria-prima, bens de capital e fabricação de bens de capital.	Próximo a 100%.

FONTE: Wilting (1996).

A análise energética realizada segundo os critérios do segundo nível da IFIAS, engloba cerca de 90% do consumo energético, incluindo a extração de matérias-primas, fabricação, transporte e perdas na geração e transformação de energia (BAIRD; CHAN, 1983; TRELOAR, 1996).

1.2.3 *Análise de ciclo de vida energético*

A abordagem por análise pelo ciclo de vida energético é uma forma simplificada, porém significativa para a condução de uma análise de impactos ambientais (TAVARES, 2006). Fay (1999) sugere que estudos energéticos são instrumentos de tomada de decisão e podem servir de base para outras avaliações como a emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa.

Esta estratégia é um recorte da ACV na energia reduz custos para sua elaboração e possibilita prazos de pesquisas com prazos mais reduzidos devido ao levantamento de dados para avaliações serem mais enxutos. Ressalta-se que as metodologias por ACVE não tem a pretensão de substituir análises ambientais com escopo mais completo, mas apenas apresentar uma análise com foco na questão energética e em seus desdobramentos.

O uso de ACVE já está difundido em muitos países sendo tema de pesquisa em diversos estudos do ambiente construído (COLE, 2005; FAY, 1999; TRELOAR, 1997; THORMARK, 2002; YOHANIS; NORTON, 2002; SCHEUER; KEOLEIAN; REPPE, 2003; TAVARES, 2006, LOBO et al, 2009; LOBO,2010).

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é demonstrar um método de inventário de Energia Embutida e de emissão equivalente de dióxido de carbono (CO_2_{eq}) por meio da análise energética dos serviços de uma planilha de composição de serviços de obras.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da pesquisa

A pesquisa realizada é de natureza aplicada, com caráter exploratório e experimental, com abordagem quantitativa por meio de aplicação em estudo de caso de ferramenta proposta. O modelo científico de explicação adotado tem por base a concepção de Robson (2002), o qual debate os métodos de pesquisa no mundo real.

Este estudo apresenta a aplicação de um método desenvolvido para levantar o inventário de Energia Embutida e emissão de CO_2_{eq} para edificações até a etapa de conclusão da obra, incluindo extração de matéria-prima e transporte de materiais.

A contribuição desses gases será avaliada baseada na metodológica desenvolvida pela tese de Tavares (2006) e relatórios do IPCC e na ferramenta de levantamento de inventário de Energia Embutida e emissão de CO₂ eq desenvolvida por Lobo (2010).

3.2 Unidade conceitual de análise

A edificação selecionada para aplicação será avaliada pela relação de Energia Embutida e emissões de CO₂ eq para cada metro quadrado construído, já que esta unidade é um habitual meio de se obter resultado na construção civil.

3.3 Estratégia de análise de dados

A definição da metodologia para levantamento de dados de inventário de energia embutida e emissão de CO₂ eq por meio da abordagem por ACVE requer a determinação de limites de avaliação do escopo.

A estratégia de levantamento de inventário dos parâmetros da ACVE foi realizada por meio de uma planilha de serviços de edificações da construção civil. A justificativa para esta abordagem se dá por esta ser um instrumento convencional da construção civil e prático para avaliações quantitativas. Tavares (2006); Lobo, Tavares, Freitas (2009); Lobo *et al*, 2009; também adotaram esta tática para levantamento de Energia Embutida.

A figura 1 demonstra graficamente a metodologia adotada por esta pesquisa, com a indicação das etapas e os requisitos básicos de cada etapa.. Verifica-se que a estrutura do estudo foi estabelecida em quatro pontos principais a fim de atendimento do objetivo proposto: delimitação das fronteiras da pesquisa, protocolo de coleta de dados, estratégia de análise de dados e na demonstração de aplicação de ferramenta.

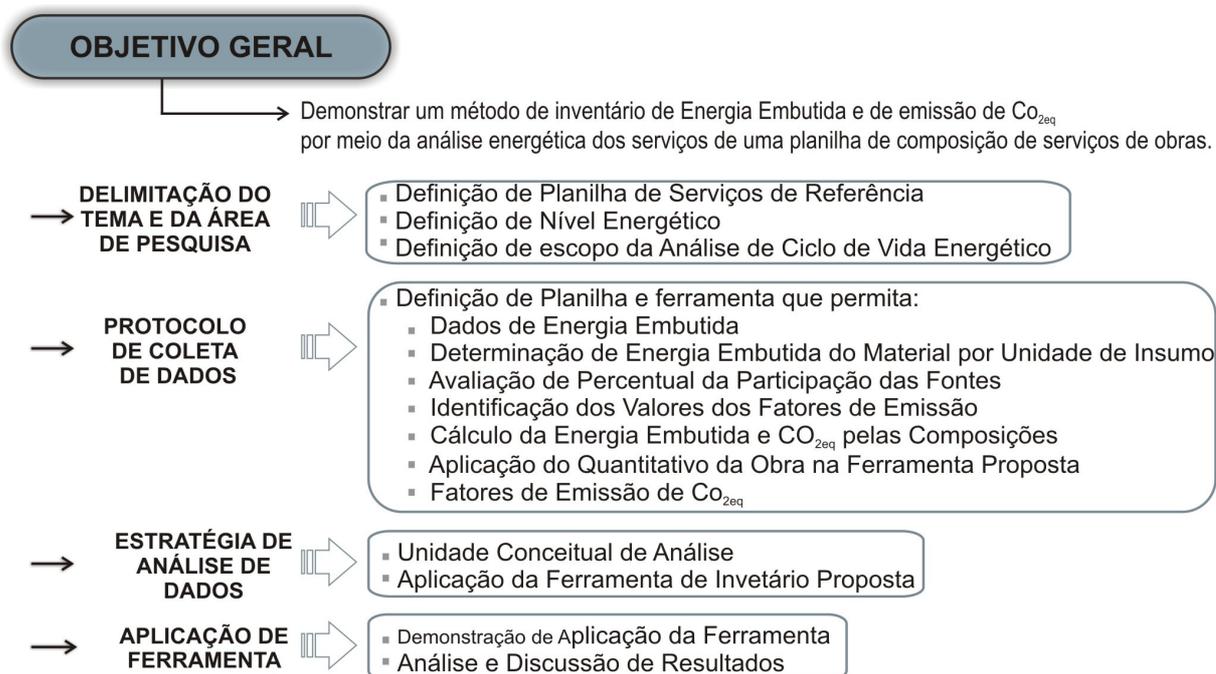


Figura 1 – Estrutura da metodologia adotada

FONTE: Os autores.

3.4 Delimitação do tema e da área de pesquisa

Para seleção de uma planilha de composição de serviços que apresentasse uma contribuição relevante, e contemplasse serviços comuns de domínio técnico por empresas do setor. A planilha a ser adotada deve ter especificações detalhadas com descrição de propriedades físicas, incluindo aspectos legais,

normativos e de desempenho dos insumos considerados. Outra preocupação é selecionar uma tabela de composições de serviço que fosse disponível de forma gratuita na internet.

Preenchendo a todos estes requisitos foi escolhida a tabela de serviços da Secretaria de Estado de Obras Públicas do Estado do Paraná – SEOP. A tabela é aprovada pelo Tribunal de Contas do Estado do Paraná e sofre auditorias externas por órgãos como Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social - IPARDES, Sindicato da Construção Civil - SIDUSCON-PR e Universidade Federal do Paraná - UFPR.

Esta tabela estadual delimita o tema, a área de pesquisa e a região geográfica do estudo. A formatação da planilha ainda atende as orientações de legislação de licitações, administração pública e convênios com participação de instituições estatais.

Para definição do limite energético foi adotado o parâmetro *International Federation of Institutes for Advanced Studies – IFIAS*, que é um dos mais difundidos e utilizados internacionalmente (BRANDÃO, 1989). O limite de análise energética adotado foi o 2º nível da IFIAS, pelo fato de que representam 90%, incluindo a extração de matérias-primas, fabricação, transporte e perdas na geração e transformação de energia.

A avaliação realizada limitou-se até a fase de conclusão da obra, considerando todo o ciclo de vida da edificação. Os dados de energia embutida por mão-de-obra não foram considerados pelo desenvolvimento ainda de uma fundamentação teórica relativo às questões de transporte de trabalhadores da construção civil para realidade nacional.

3.5 Protocolo de coleta de dados

A coleta de dados desta pesquisa considerou delimitação do tema e da área da pesquisa para levantamento de dados de Energia Embutida em MJ pela massa (kg), massa específica (kg/m³), ou volume (m³), pelas unidades do Sistema Internacional (SI) dos insumos pertinentes a planilha da SEOP. Também foi obtido o percentual das fontes energéticas dos insumos ou por grupos similares de materiais.

Os fatores de emissão de CO₂ eq por fonte energética - dados que quantificam a emissões a partir da fonte de energia e sua relação com emissão de CO₂ eq - em kg - foram obtidos do banco de dados apresentado por Tavares (2006) e pelos relatórios do IPCC (ONU, 1996,1997, 2000,2007).

Os dados utilizados são majoritariamente retirados da tese de Tavares (2006), que adotou a abordagem de análise energética por ACVE, além de discriminar o percentual de participação de fontes energéticas das atividades construtivas. Os insumos não disponíveis nos modelos apresentados por Tavares (2006) foram fornecidos por estudos brasileiros (BRASIL, 1982; GUIMARÃES, 1985; PEREIRA; SOARES, 2004; TAVARES; LAMBERTS, 2008; LOBO et al., 2009c). Na ausência de valores de referência nacional, foram utilizados valores médios internacionais, ponderando-se quando possível os dados (PULLEN, 1995; TRELOAR, 1997, 1998).

A construção civil também está a sujeita a geração de CO₂ por processos não energéticos, sobretudo na fabricação de materiais. Esta relação de geração de CO₂ eq por massa material pode ser observada na tabela 2.

Tabela 2 – Geração de CO₂ eq em processo de fabricação de materiais de construção

Material	tCO _{2eq} /t Material
Alumínio	1,600
Cal	0,760
Cimento	0,375
Concreto	0,045

FONTE: Tavares (2006).

3.6 Seleção de ferramenta de inventário

A ferramenta de inventário selecionada foi a planilha desenvolvida por LOBO(2010), que determinou valores de referência de energia embutida e de emissão de CO₂ eq de cada insumo dos serviços da planilha da SEOP pela sua unidade comercial. Os valores de insumos foram calculados pelas composições de serviços, gerando índices unitários para cada atividade da planilha da SEOP.

Esta planilha tem vinculação entre as duas abas, e digitando o código do serviço na aba de quantitativo, já são inseridas as descrições da composição, incluindo seus valores unitários, conforme pode ser observado na figura 2.

APÊNDICE D - PLANILHA DA APLICAÇÃO DA FERRAMENTA EE E CO₂ eq
FERNANDO HENRIQUE RODRIGUES LOBO

APOIO: UFPR DPCCG GOVERNO DO PARANÁ Secretaria de Estado de Obras Públicas

PLANILHA DE ENERGIA EMBUTIDA E EMISSÃO EQUIVALENTE DE CO₂
BIBLIOTECA CIDADÃ DE PRANCHITA DATA: 2010

LEVANTADO POR: FERNANDO H. R. LOBO
ORGANIZADO POR: FERNANDO H. R. LOBO

FASE	CODIGO	ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UNID	QUANTID.	EE MAT	CO ₂ eq	TOTAL EE MAT	TOTAL CO ₂ eq
		1	IMPLANTAÇÃO						
		1.1	INSTALAÇÕES PRELIMINARES						
	101102	1.1.1	Raspagem e limpeza de terreno	m ²	798,59				
	101103	1.1.2	Tapume chapa comp res 12mm h=2,20m	m	9,67	22,82	1,67	220,67	16,15
		1.2	MOVIMENTO DE TERRA						
	101401	1.2.1	Escavação manual valas, solo seco até h=2,00m	m ³	15,47				
	101452	1.2.2	Aterro compactado manualmente	m ³	9,67				
		1.3	FUNDAÇÕES						
	110248	1.3.1	Estaca esc. Ø25cm até 8m - 15MPa, circ. cap. 20tf	m	281,15	90,22	5,83	25.365,35	1.639,10
		1.4	PREPARO DE CONCRETO						
	110122	1.4.1	Concreto estrutural usinado Fck= 18,0MPa	m ³	8,60	1.413,50	1.040,66	12.156,10	8.949,68
	110128	1.4.2	Lastro de concreto aplicado manualmente	m ²	0,39	1842,24	118,81	718,47	46,34

Figura 2 – Ferramenta de inventário desenvolvida por Lobo(2010)

FONTE: LOBO(2010).

3.7 Seleção de modelo para análise

A seleção do modelo considerou os principais aspectos de obras, respeitando as características de obras públicas em estudo de caso a fim de corroborar a metodologia adotada e apresentar a tabela desenvolvida com um instrumento prático para o desenvolvimento de avaliações e desenvolvimento de edificações sustentáveis, sob o aspecto ambiental.

O modelo escolhido para aplicação da planilha foi um empreendimento de fim público de pequeno porte. Esta edificação é a Biblioteca Cidadã da Secretaria de Cultura do Estado do Paraná - SEEC, que consiste na construção de uma biblioteca com acervo estimado de dois mil livros e espaço de multimídia e internet.

A opção por uma edificação com processos construtivos tradicionais pode ser explicada sobre dois aspectos. Por se tratar de um projeto padrão a ser implantando em qualquer município do Paraná, a edificação possui uma execução comum à realidade da construção civil deste limitante geográfico. Estas diretrizes apontaram o uso de soluções construtivas de domínio amplo por construtora de diversos níveis tecnológicos e sem uso de recursos especiais.

O projeto é planejado em módulos para melhor aproveitamento de diferentes topografias. A área da biblioteca cidadã é de 184,00m², e prevê futuras ampliações. A biblioteca analisada é composta de uma sala de leitura, sala de acervo, telecentro – espaço destinado aos computadores de livre acesso a internet, sala administrativa, apoio e sanitário masculino, sanitário feminino e sanitário pessoa com deficiência - PcD. A organização espacial tem poucas áreas de circulação, com a finalidade de promover uma edificação mais compacta

3.8 Aplicação de ferramenta de levantamento de inventário

Os dados do modelo definido foram obtidos a partir de planilha de quantitativo do projeto padrão a ser implantado no município de Pranchita Biblioteca Cidadã elaborada pela Secretaria de Estado de Obras Públicas - SEOP.

Esses dados foram inseridos na planilha eletrônica elaborada para quantificar os dados relativos à energia embutida e emissões de CO_{2 eq} incorporada ao empreendimento.

Foram reunidas as atividades da obra por etapa da obra e efetuado o somatório parcial por atividade de serviço de Energia Embutida e emissão de CO_{2 eq}.

- Para energia embutida

$$EE \text{ etapa (MJ)} = (\Sigma EE \text{ atividade1}) + (\Sigma EE \text{ atividaden})$$

Onde:

EE etapa (MJ) = Total de Energia Embutida por etapa (MJ)

$\Sigma EE \text{ atividade1}$ = Energia Embutida atividade1 (MJ)

$\Sigma EE \text{ atividaden}$ = Energia Embutida atividaden (MJ)

- Para emissão de CO_{2 eq}:

$$CO_{2 \text{ eq}} \text{ etapa (kg)} = (\Sigma CO_{2 \text{ eq}} \text{ atividade1}) + (\Sigma CO_{2 \text{ eq}} \text{ atividaden})$$

Onde:

CO_{2 eq} etapa = Total de CO_{2 eq} por etapa (kg)

$\Sigma EE \text{ atividade1}$ = Energia Embutida atividade1 (MJ)

$\Sigma EE \text{ atividaden}$ = Energia Embutida atividaden (MJ)

Realiza-se o somatório de todas etapas para energia embutida e emissão de CO_{2 eq}, conforme apresentado a seguir:

- Para energia embutida

$$EE \text{ total (MJ)} = (\Sigma EE \text{ etapa1}) + (\Sigma EE \text{ etapan})$$

Onde:

EE total (MJ) = Total de Energia Embutida (MJ)

$\Sigma EE \text{ etapa1}$ = Energia Embutida etapa1 (MJ)

$\Sigma EE \text{ etapan}$ = Energia Embutida etapan (MJ)

- Para emissão de CO_{2 eq}:

$$CO_{2 \text{ eq}} \text{ total} = (\Sigma CO_{2 \text{ eq}} \text{ etapa1}) + (\Sigma CO_{2 \text{ eq}} \text{ etapan})$$

Onde:

CO_{2 eq} total = Total de CO_{2 eq} (kg)

$\Sigma CO_{2 \text{ eq}} \text{ etapa1}$ = CO_{2 eq} etapa1 (kg)

$\Sigma CO_{2 \text{ eq}} \text{ etapan}$ = Energia Embutida etapan (kg)

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

O cruzamento do quantitativo da edificação com os índices de consumo por cada composição de serviço permitiu uma avaliação dos resultados por fases construtivas. Conforme apresentação usual em planilhas de orçamento as atividades foram reunidas em 12 etapas distintas do modelo selecionado para aplicação do método para levantamento de inventário de Energia Embutida em emissões de CO_{2 eq}.

Os resultados relativos a requisitos energéticos, com seu percentual e total acumulado foram apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – **Resultados de Energia Embutida**

ETAPAS	ENERGIA EMBUTIDA		
	MJ	Percentual	Acumulado (%)
1 Implantação	127.061,27	16,34%	16,34%
2 Instalações preliminares	11.597,24	1,49%	17,83%
3 Concreto armado	80.080,00	10,30%	28,13%
4 Alvenaria	302.197,52	38,27%	67,00%
5 Esquadrias	9.917,55	1,28%	68,28%
6 Impermeabilização	25.452,34	3,27%	71,55%
7 Cobertura	39.529,64	5,08%	76,63%
8 Instalações elétricas e de lógica	78.567,31	10,11%	86,74%
9 Instalações hidráulicas	43.389,13	5,58%	92,32%
10 Revestimentos	50.440,83	6,49%	98,91%
11 Pintura	8.478,03	1,09%	99,90%
12 Limpeza	692,86	0,10%	100,00%
TOTAL	777.403,72	100,00%	

FONTE: Os autores.

Os resultados revelam uma distribuição heterogênea, visto que as quatro etapas iniciais representam mais da metade do total de energia embutida de construção. Cinco das atividades – implantação, instalações preliminares, concreto armado, alvenaria e revestimentos – têm uma participação próxima a 2/3 (dois terços) do total da energia embutida de 777.403,72MJ na execução da edificação.

O modelo selecionado para aplicação apresenta área construída de 184,00m², a relação de Energia Embutida pela área edificada é de 4,23GJ/m².

A concentração da participação destas etapas também é verificada no parâmetro de emissões de CO₂ eq, que se verifica na tabela 3.

Tabela 3 – **Resultados de emissões de CO₂ eq**

ETAPAS	EMISSIONES DE CO ₂ EQ		
	kg	Percentual	Acumulado (%)
1 Implantação	30169,81	28,65%	28,65%
2 Instalações preliminares	507,58	0,48%	29,13%
3 Concreto armado	17196,30	16,33%	45,46%
4 Alvenaria	25436,43	24,16%	69,62%
5 Esquadrias	622,39	0,59%	70,21%
6 Impermeabilização	7801,51	7,41%	77,62%
7 Cobertura	3046,76	2,89%	80,51%
8 Instalações elétricas e de lógica	3716,20	3,53%	84,04%
9 Instalações hidráulicas	2947,80	2,80%	86,84%
10 Revestimentos	13228,72	12,56%	99,40%
11 Pintura	580,19	0,55%	99,95%
12 Limpeza	40,29	0,05%	100%
TOTAL	105293,96	100%	

FONTE: Os autores.

Quanto às duas etapas iniciais apresentadas, embora representem quase 20% da energia embutida, são desconsiderados por muitos estudos, pois representam modelos construtivos do padrão regional e, em geral, de uso residencial. A etapa de implantação também tem grande participação nas emissões de CO₂ eq com 30,16 toneladas.

A concentração das emissões é explicada pelo fato de algumas fases construtivas terem um percentual ainda maior de combustíveis fósseis. O uso intenso de cimento nas técnicas construtivas e de lenha como fonte de energia para queima na fabricação da cerâmica vermelha dos blocos faz com que a etapa de alvenaria se destaque na emissão de CO₂ eq. Os dados desta etapa corroboram as informações do significativo papel de emissões de CO₂ eq por processos não energéticos que a fabricação de cimento apresenta.

Os resultados sugerem que os fatores de desperdício e perdas nas composições nacionais, e as fontes energéticas da cadeia produtiva da construção civil promovem resultados semelhantes à de outros países com outros requisitos tecnológicos para o setor.

O estudo apresentado contribui para desenvolvimento de pesquisas cuja temática seja a análise energética, de Energia Embutida e emissão de CO₂ pela execução de edificações. A pesquisa aponta as fases construtivas que possam promover redução de recursos energéticos e de emissões dos gases do efeito estufa. O estudo ainda abre o debate para a questão de transferência tecnológica em busca de uma construção civil mais sustentável e racional através de ferramentas de domínio tecnológico convencional do setor para avaliação de impactos ambientais.

5 REFERÊNCIAS

BAIRD, G.; CHAN, S. A. Energy Cost of Houses and Light Construction Buildings. New Zealand Energy Research and Development Committee, NZERDC Report N.o 76, Auckland, 1983.

BEKKER, P. C. F. Life Cycle Approach in Building. **Building and Environmental**, v.17, n.1, 1982.

BRANDÃO, C. E. L. Energia e reciclagem do lixo urbano em perspectiva. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1989.

BRASIL. Ministério da Indústria e Comércio, Secretaria de Tecnologia Industrial – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC / MG. **Balanco energético de edificações típicas**. Brasília, 1982.

_____. **Brasil na COP 15**. Disponível em: <<http://www.cop15brasil.gov.br/pt-BR/?page=panorama/matriz-energetica-limpa>>. Acesso em: 04 dez. 2009.

BUCHANAN, A.; HONEY, B. Energy and carbon dioxide implications of building construction. **Energy and Buildings**, v.20, p.205-217, 1994.

COLE, R. J. **Building Environmental Assessment methods: Redefining Intentions**. Vancouver: University of British Columbia, School of Architecture, 2005.

ESPARTA, A. J. R.; MOREIRA, J. R. Principais conclusões do terceiro relatório de avaliação do painel intergovernamental sobre mudança do clima. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 9., 20 a 22 de maio de 2002, Rio de Janeiro. **Anais...**, Rio de Janeiro

ESPINELLI, U. A gestão do consumo de materiais como instrumento para a redução da geração de resíduos nos canteiros de obras. In: SEMINÁRIO DE GESTÃO E RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO – AVANÇOS E DESAFIOS. 2005. São Paulo. **Anais...**, São Paulo: PCC USP, 2005. CD-ROM.

FAY, M. R. **Comparative life cycle energy studies of typical Australian suburban dwellings**. Tese (PhD) - Faculdade de Arquitetura, Edificações e Planejamento da Universidade de Melbourne, Melbourne, 1999.

FOSSATI, M. **Metodologia para avaliação da sustentabilidade de projetos de edifícios: o caso de escritórios em Florianópolis**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

GUIMARÃES, G. D. **Análise energética na construção de habitações**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1985.

HALLIDAY, S. P. Architecture of habitat: design for life. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v.335, n.1728, p.1389-1403, 1997.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **ISO 14040: Environmental management - life cycle assessment - principles and framework**. Geneva, Switzerland, 2006.

JOHN, V. M.; SILVA, V. G. da; AGOPYAN, V. Agenda 21: uma proposta de discussão para o construbusiness brasileiro. In: ENCONTRO NACIONAL E ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2., 2001, Canela. **Anais...** Porto Alegre, 2001. p.91-98.

LOBO, F. H. R. et al. Avaliação do impacto ambiental com foco na energia embutida. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO, 1.; WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 9., 2009, São Carlos. **e-anais...** São Carlos: Rima, 2009c. v.1. p.480-490.

LOBO, F. H. R.; TAVARES, S. F.; FREITAS, M. C. D. Avaliação de impacto ambiental com foco na energia embutida: estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL, 5.; ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 3., 2009, Recife. **Anais...** Recife, PE, 2009.

LOBO, F. H. R. **Inventário de emissão equivalente de dióxido de carbono e energia embutida na composição de serviços em obras públicas: Estudo de caso no Estado do Paraná**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2010.

MARLAND, G.; BODEN, T. A.; ANDRES, R. J. **Global, Regional, and National Fossil Fuel CO₂ Emissions**. In Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., USA, 2008. Disponível em: <http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/tre_glob.htm>. Acesso em: 28 nov. 2008.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU; PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇA CLIMÁTICA - IPCC. **Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Cambridge: University Press UK, 1996.

_____. **The Regional Impacts of Climate Change**. Cambridge: University Press UK, 1997.

_____. **Emissions Scenarios**. Cambridge: University Press UK, 2000.

_____. **Fourth Assessment Report: Climate Change 2007**. Cambridge: University Press UK, 2007.

PICCHI, F. A. **Sistema de qualidade: uso em empresas de construção de edifícios**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

PEREIRA, S. W.; SOARES, S. R. Inventário da produção de pisos e tijolos cerâmicos no contexto da análise do ciclo de vida. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.4. n.2, p.83-94, abr./jun. 2004.

PMI. **A guide to the project management body of knowledge (PMBOK)**.1996.

PULLEN, S. F. **Embodied Energy of Building Materials in Houses**. Masters thesis - University of Adelaide, Adelaide, 1995.

ROBSON, C. **Real world research: a resource for social scientists and practioner researchers**. Blackwell Publishers, 2002.

SCHEUER, C.; KEOLEIAN, G. A; REPPE, P. Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modelling challenges and design implications. **Energy and Buildings**, n.35, p.1049-1064, 2003.

SUZUKI, M.; OKA, T. Estimation of life cycle energy consumption and CO2 emission of office buildings in Japan. **Energy and Buildings**, n.28, p.33-41, 1998.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energética de edificações residências brasileiras**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TAVARES, S. F.; LAMBERTS, R. CO2 embutido nas edificações residenciais brasileiras. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENTAC, 12., 2008, Natal. **Anais...**, Natal, 2008. CD-ROM.

THORMARK, C. A low energy building in a life cycle: its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. **Building and Environment**, v.37, p.429-435, 2002.

TRELOAR, G. J. **Completeness and Accuracy of Embodied Energy Data - A National Model of Residential Buildings**. Proceedings 1996 Seminar, Embodied Energy – the current state of play, Deakin University, Geelong, Austrália, 28-29 November, 1996.

TRELOAR, G. J. Extracting embodied energy paths from input-output tables: towards an input-output-based hybrid energy analysis method. **Economic Systems Research**, v.9, p.375-391, 1997.

WILTING, H. C. **An energy perspective on economic activities**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Faculdade de Matemática e Ciências Naturais da Universidade Nacional de Groningen, Holanda, 1996.

YOHANIS, Y. G.; NORTON, B. Life-cycle operational and embodied