

CO₂ EMBUTIDO EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS BRASILEIRAS

Sergio F. Tavares (1), Roberto Lamberts (2)

(1) Escola Técnica - UFPR – Universidade Federal do Paraná

E-mail: sergioft22@yahoo.com.br

(2) Departamento de Engenharia Civil - UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

E-mail: lamberts@ecv.ufsc.br

RESUMO:

Nas atividades da construção civil, o uso de materiais é apontado como um dos principais causadores do aumento da emissão de gases do efeito estufa em todo o mundo. No Brasil essa discussão ainda é básica, possivelmente devido às nossas baixas contribuições de geração de CO₂ em termos mundiais, excetuando-se as contribuições por queimadas de florestas. Entretanto, as atividades dos setores ligados à construção civil apresentam um consumo energético baseado fundamentalmente em fontes fósseis não renováveis, conforme dados do Balanço Energético Nacional -BEN. Este artigo apresenta o cálculo da geração de CO₂ derivado da construção de uma edificação residencial típica brasileira. O conteúdo de CO₂ foi determinado a partir do consumo de energia na fabricação dos materiais utilizados na construção, dos respectivos meios de transporte, desperdícios, além do consumo de energia de equipamentos da obra. Também foi incorporada a geração oriunda das reações químicas inerentes dos processos de fabricação de materiais como: cimento, cal e alumínio. A aplicação desse método, baseado no Ciclo de Vida Energético da Edificação, mostra que o modelo residencial brasileiro analisado possui CO₂ embutido próximo ao de modelos neo-zelandeses, japoneses e dinamarqueses.

Palavras-chave: CO₂ embutido, edificação residencial, sustentabilidade.

ABSTRACT:

In the building construction activities the use of materials is pointed as one of the main causes of the increase of the greenhouse gases emission in the whole world. In Brazil this issue is not frequently commented, due to our low CO₂ contributions in world-wide terms, excepting the contributions for the forest burnings. However the activities of the sectors in building construction presents an established energy consumption basically in fossil sources not renewable, as given of National Energy Balance - NEB. This article presents the calculation of the CO₂ generation derived from the construction of a typical Brazilian household. The CO₂ content was determined from the energy consumption in the manufacture of the materials used in the construction and the respective ways of transport, wastes, beyond the device consumption energy due to construction machinery. Also the deriving generation of inherent the chemical reactions from processes of material manufacture were incorporated as: cement, whitewash and aluminum. The application of this method, based on the Life Cycle Energy of the Building, shows that the analyzed Brazilian residential model has embodied CO₂ next to the New Zealanders, Japanese and Danish models.

Keywords: embodied CO₂, housing, sustainability

1 - INTRODUÇÃO:

A comunidade internacional vem se organizando no sentido de reavaliar e reduzir o uso dos recursos naturais, sensivelmente limitados, e as emissões de gases e resíduos tóxicos. As pesquisas científicas aumentam o foco sobre a participação das edificações na gênese destes eventos em função do aumento do consumo de energia e uso de insumos naturais. Na Grã Bretanha, aproximadamente 66% do total da energia é consumida na construção e operação das edificações. Nos Estados Unidos, edificações consomem um terço dos insumos energéticos globais e dois terços da eletricidade (EIA, 2007).

Na busca dos parâmetros de sustentabilidade na construção civil foram definidas relações entre o consumo de energia e a geração de CO₂ nos processos de fabricação e uso dos materiais de construção em estudos internacionais (BROCKLESBY, 2000; SUZUKY, 1995; ZIMMERMANN, 2005). A discriminação dos insumos energéticos em fontes específicas e destas para a geração de CO₂ correspondentes, são pontos importantes de interpretação em uma análise energética. Busca-se desta forma estabelecer um parâmetro de sustentabilidade conhecido como CO₂ embutido na edificação (BUCHANAN, 1994; SUZUKI, 1995; DIAS, 2004; HACKER, 2008).

No Brasil a maior parte da energia elétrica é de origem hidráulica. Tal condição, associada à grande utilização de biomassa em outros setores, faz com que o país apresente baixa taxa de emissão de CO₂ por utilização de fontes energéticas – 1,57 t CO₂/tep –, quando comparada com a média mundial, de 2,36 t CO₂/tep (IEA, 2005). Embora o consumo geral de energia seja baixo em relação a países desenvolvidos, alguns setores têm padrões de consumo peculiares. Dentre aqueles ligados diretamente à construção civil destaca-se o setor residencial, que tem uma participação superior à soma dos outros dois; comercial e público em termos de consumo de energia em todas as suas formas (BRASIL, 2005a).

Sob o viés da sustentabilidade pode ser feita uma análise do consumo de energia no setor residencial brasileiro a partir do ciclo de vida de modelos propostos. Os usos de energia para fabricação dos materiais de construção, respectivos transportes e as parcelas de desperdícios, junto à energia operacional de cocção, formam um conjunto de fontes não renováveis que equivale a 73% do consumo no setor residencial, considerando-se que toda a eletricidade fosse renovável (TAVARES, 2006). Esse índice supera o conjunto da Oferta Interna de Energia no Brasil que tem 59% de fontes não renováveis (BRASIL, 2005a).

No contexto da construção civil, a fabricação de materiais de construção é frequentemente a principal fonte de emissões de gases poluentes. A indústria do cimento é a maior emissora de CO₂ pois, além do uso de combustíveis fósseis para geração de energia térmica, ocorrem emissões adicionais pela calcinação de calcário durante a produção do clínquer. Assim a fabricação de cimento acaba sendo responsável por 4 a 5 % de todo o CO₂ despejado na atmosfera por atividades humanas (MARLAND, 2003). O alumínio também gera alta quantidade de CO₂ em seu processo de fabricação além de demandar grandes quantidades de energia elétrica. As cerâmicas vermelhas utilizam madeira de reservas naturais e aços e ferros fundidos consomem carvão mineral como energético que também gera considerável quantidade de CO₂ (THEIS, 1996; BERMANN, 2001; BRASIL, 2005a).

A geração de CO₂ pelas atividades relacionadas à construção civil é particularmente relevante no Brasil. Excetuando-se a parcela de CO₂ relativa às queimadas, no mínimo a quarta parte é oriunda da construção e operação de edificações, seja do consumo energético ou de reações químicas dos processos de fabricação dos materiais de construção (BRASIL, 2005b).

A partir do cenário descrito pode-se colocar a seguinte pergunta: Estariam as edificações brasileiras gerando uma quantidade de CO₂ para a sua construção compatível com países desenvolvidos apesar da matriz energética brasileira ser mais sustentável?

2 - OBJETIVO:

Procura-se investigar neste artigo a quantidade de CO₂ embutido em uma edificação residencial típica brasileira a partir da fabricação de materiais de construção e em atividades relacionadas para a sua construção comparada a edificações residenciais de países desenvolvidos.

3 - METODOLOGIA:

3.1 - Fundamentação

O cálculo do CO₂ embutido deve ser baseado em uma análise energética de uma edificação proposta. O tipo de análise utilizada neste trabalho é chamado de análise de processo, técnica que consiste em detectar todas as etapas de consumo energético de um processo de obtenção de produtos ou realização de serviços (ALCORN, 1996).

A partir do consumo de materiais nas edificações, e consequente energia embutida, pode ser feita a desagregação dos valores de consumo de energia em fontes primárias e destas as respectivas gerações de CO₂.

O Balanço Energético Nacional publicado pelo ministério das Minas e Energia relaciona os principais insumos energéticos utilizados na fabricação de alguns materiais de construção citados como de alto consumo energético no setor industrial. Neste sentido cabe destacar que seis entre as dez atividades industriais de maior consumo no país, as chamadas energo-intensivas, relacionam-se com a construção civil como segue: cimento, cerâmica, metais não ferrosos, aço, química e mineração. Somados estes setores têm 75 % de seus consumos, o que equivale a 27347×10^3 tep anuais, a partir de fontes não renováveis, com alta geração de gases de efeito estufa (BRASIL, 2005a).

A Tabela 1 apresenta a relação percentual de consumo de fontes específicas de energia por materiais de construção fabricados e mais utilizados em edificações residenciais no Brasil (TAVARES, 2006).

Tabela 1: Consumo primário de energia por fontes (% MJ) em materiais de construção

MATERIAIS	FÓSSEIS NÃO RENOVÁVEIS							RENOVÁVEIS			OUTRAS
	ÓLEO DIESEL E COMBUSTÍVEL	GÁS NATURAL	GLP	COQUE DE PETRÓLEO	OUTRAS SECUNDÁRIAS DE PETRÓLEO	CARVÃO MINERAL	COQUE DE CARVÃO MINERAL	ELETRICIDADE	CARVÃO VEGETAL	LENHA	OUTRAS FONTES PRIM. RENOVÁVEIS
Aço e ferro	1	6				71	10				12
Alumínio	21	7			4	10	54				4
Areia	99							1			
Argamassa	86		10					4			
Cal	12						8	80			
Cerâmica revest.	15	68	5				12				
Cerâmica verm.	4		8				2	85			1
Cimento	3			61	8		12	9			7
Cobre	10	44			5	41					
Concreto	82		9				9				
Fibrocimento	84		2				14				
Impermeabilizantes	10	30			34		26				
Madeira	83						17				
Pedra	85						15				
Plásticos	10	30			34		26				
Tintas	90						10				
Outros materiais	8	11			7	10	20	9	35		

Fonte: TAVARES, 2006 baseado em: CETEC / MG (BRASIL, 1982); SOARES (2003); Anuário estatístico: Setor metalúrgico (BRASIL, 2004); BELTRAN & MARTINEZ (2004); Balanço Energético Nacional, (BRASIL, 2005a).

Dos materiais relacionados verifica-se que em média 70 % dos insumos energéticos provêm de fontes fósseis não renováveis. Das fontes renováveis deve-se alertar para fato de que 50% do carvão vegetal e 80% da lenha são obtidos de matas nativas (BRASIL, 2006), ou seja, são contabilizadas na geração do CO₂.

A quantidade de CO₂ liberada por fonte para geração de energia é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Geração de CO₂ por fontes de energia

FONTE	CO ₂ (kg/GJ)
ELETRICIDADE ⁽¹⁾	18,1
ÓLEO COMBUSTÍVEL	79,8
GÁS NATURAL	50,6
GLP	63,3
OUTRAS SECUNDÁRIAS DE PETRÓLEO	72,6
COQUE DE CARVÃO MINERAL	91,5
COQUE DE PETRÓLEO	72,6
CARVÃO MINERAL	91,5
CARVÃO VEGETAL	51,0
LENHA	81,6
OUTRAS FONTES PRIM.	
RENOVÁVEIS	0,0
OUTRAS	35,7

Fonte: a partir de dados de IPCC, (1995); THEIS, (1996). ⁽¹⁾ (TAVARES, 2006).

O índice atribuído à eletricidade foi estimado a partir de dados do BEN. São discriminados os conteúdos de combustíveis da matriz de geração termoelétrica brasileira e respectivos rendimentos utilizados para o cálculo da geração de CO₂ (TAVARES, 2006).

Os processos de fabricação de alguns materiais de construção geram significativas quantidades de CO₂ independente do consumo para geração de energia. Os mais relevantes, segundo o Inventário Nacional de Emissões de gases de efeito estufa editado pelo ministério da Ciência e Tecnologia (BRASIL, 2005b), têm seus fatores de geração de CO₂, por tonelada de produto, discriminados na Tabela 3.

Tabela 3: Geração de CO₂ não energético em processos de fabricação de materiais de construção

MATERIAL	t CO ₂ /t
ALUMÍNIO	1,600
CAL	0,760
CIMENTO ⁽¹⁾	0,375
CONCRETO ⁽¹⁾	0,045

Fonte: Brasil (2005b). ⁽¹⁾ do autor.

O fator de geração de CO₂ atribuído ao cimento é calculado a partir das seguintes informações. As emissões de CO₂ ocorrem da calcinação do calcário, processo de fabricação do clínquer. Segundo o IPCC (1995) são geradas 0,5t CO₂ por tonelada de clínquer produzido. Na fabricação de cimento no Brasil o percentual médio de clinquer é de 73% (BRASIL, 2005b). Assim é estimado o fator de 0,375 t de CO₂ por tonelada de cimento produzido. Para o concreto foi utilizado um percentual de 12 % de cimento (TCPO, 2003).

A partir das tabelas apresentadas no item anterior elaborou-se uma planilha para o cálculo do CO₂ embutido a partir das fontes primárias. A planilha divide-se em três partes: a primeira para o cálculo de CO₂ embutido por material e fonte a partir da geração de energia. A segunda determina o CO₂ advindo de reações químicas do processo de fabricação dos materiais de construção, a saber: alumínio, cal, cimento e concreto. A terceira faz o somatório das duas anteriores e determina os índices de CO₂ por metro quadrado da edificação.

Os dados de quantidade de energia em MJ por materiais de construção “Quant. (MJ)” na coluna “Fontes”, são obtidos a partir dos resultados da Tabela 5, especificamente o somatório total do consumo de energia por cada tipo de material discriminado. A planilha completa com os resultados apresenta-se no Apêndice.

3.2 - Definição do modelo

Para aplicação da metodologia proposta é apresentado um modelo residencial de natureza empírica baseado na realidade construtiva brasileira. Sua definição baseia-se na norma NBR 12721 da ABNT (ABNT, 1999), onde são descritos os modelos que servem de base para o cálculo do custo unitário básico da construção – CUB, e que são definidos a partir das tipologias mais comuns nas principais regiões metropolitanas brasileiras.

Além disso, os parâmetros do modelo ora proposto foram obtidos em pesquisas de âmbito nacional cujos levantamentos informam características de tipologia arquitetônica e construtiva das edificações residenciais, além de dados sócio-econômicos.

A partir dos dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD - realizada pelo IBGE (PNAD, 2005) obtiveram-se informações sobre o número de domicílios, habitantes, cômodos e posses de aparelhos eletrodomésticos. A PNAD é realizada anualmente e expandida nos anos iniciais de cada década pelos dados do Censo Demográfico. Segundo a PNAD, nos últimos 10 anos a tipologia predominante, em nível urbano ou rural, é a residência unifamiliar com 90% das edificações, 50% das quais com dois quartos.

Outra fonte importante foi a pesquisa de posse de eletrodomésticos e hábitos de consumo, que subsidia as informações do Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo – SINPHA – (SINPHA, 1999), realizados pela Eletrobrás, PROCEL e PUC/RJ. Nessa estão armazenadas informações sobre consumo de energia elétrica em 22.000 edificações residenciais servidas por 18 concessionárias de energia elétrica em quatro das cinco regiões geográficas brasileiras, onde o consumo corresponde a 85% do total brasileiro.

Além de confirmar os números relativos ao tipo de edificação e de habitantes por domicílio da PNAD, os dados mais significativos no SINPHA são os que apontam para uma incidência superior a 37% de edificações com área entre 51 e 70 m² e 62% entre 51 e 100 m². A média é de 64,7 m² e 70% dos domicílios tem 2 ou 3 quartos.

A Tabela 4 e a Figura 1 apresentam as características do modelo analisado. Consideram-se os dados de maior ocorrência nos dois levantamentos estudados, PNAD e SINPHA, e nos modelos da norma NBR 12721 da ABNT, nos quesitos: área construída, número de quartos, número de habitantes, consumo de energia elétrica e renda familiar.

Tabela 4: Características do modelo residencial estudado

Área da unidade	63 m ²
Dimensões	Externas 7,0 x 9,0 m Área do terreno 98 m ²
Divisões internas	Pé direito 2,8 m Sala 21,0 m ² 2 Quartos 27,0 m ² Cozinha 9,0 m ² Banheiro 4,3 m ² Circulação 1,7 m ²
Estrutura	Concreto armado
Paredes	Blocos cerâmicos 8 furos (9 x 19 x 19)., Dimensões totais = 14 cm (9 bloco, 2,5 reb. Int., 2,5 reb. Ext.)
Acabamentos das Paredes	Reboco interno e externo, pintura em branco. Azulejos até 1,80 m na cozinha e banheiro.
Cobertura	Laje armada em blocos cerâmicos, vigotas em concreto armado. Espessura total 12 cm, rebocada. Recoberta com telhas de fibrocimento sobre estrutura de madeira.
Janelas	Esquadrias de ferro, vidros planos simples esp. 3mm. Área de esquadrias = 1/6 da área do piso
Portas	Portas em madeira: Ext. 0,9 x 2,10; int. 0,7 x 2,10
Pisos	Banheiro e cozinha em cerâmica comum nos demais cômodos em tacos de madeira.

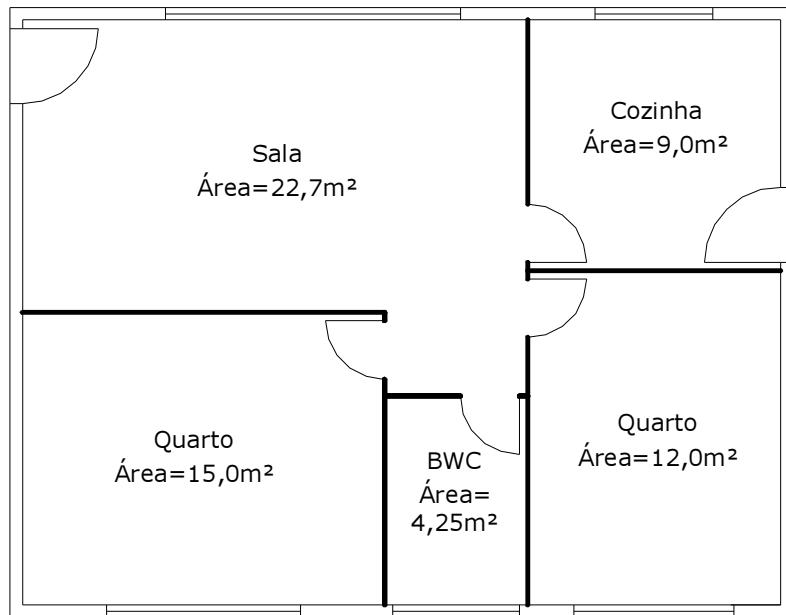


Ilustração 1: Planta baixa do modelo residencial analisado

3.3 - Energia Embutida

De modo a se determinar a Energia Embutida de cada modelo, a metodologia propõe a discriminação dos materiais de construção utilizados. A partir das características físicas de cada modelo é definida uma composição básica de materiais por partes de cada edificação. Tavares, (2006) detalhou as composições e os cálculos de Energia Embutida.

A Tabela 5 apresenta os quantitativos dos principais materiais empregados no modelo e a respectiva Energia Embutida, além dos componentes de energia nos transportes e desperdício dos materiais de construção. Os materiais são listados pela ordem decrescente de Energia Embutida total, somatório das etapas apresentadas, e representam 92% da energia incorporada à edificação.

Tabela 5: Quantitativo de materiais e Energia Embutida (MJ) no modelo analisado

	Materiais	Total kg	EE Mat. Constr.	EE Trans.	EE Desp.	EE Transp. Desp.	TOTAL EE
1	Cerâmica vermelha	22875,79	66899,28	2973,85	10039,81	445,61	80358,56
2	Cimento	9511,59	39948,66	1236,51	14744,39	456,37	56385,93
3	Aço	1190,32	37169,64	154,74	3656,42	15,33	40996,13
4	Tinta	263,88	16949,74	34,30	2542,46	5,15	19531,65
5	Concreto	11305,81	12043,81	1469,76	1774,17	216,95	15504,70
6	Pedra	34704,19	5205,63	4511,54	2449,96	2122,07	14289,21
7	Areia	56323,70	2816,18	7322,08	464,76	1208,36	11811,38
8	Alumínio	282,69	8763,40	36,75	876,34	3,67	9680,17
9	Fibrocimento	1045,98	6275,86	135,98	627,59	13,60	7053,02
10	PVC	60,70	4856,08	7,89	1942,43	3,16	6809,56
11	Cerâmica de revestimento	596,00	3639,90	77,48	545,99	11,59	4274,96

Fonte. TAVARES, 2006

A cerâmica vermelha predomina por ser o principal elemento da alvenaria. O cimento além da estrutura tem aplicação em rejantes das alvenarias e revestimentos, onde estão as maiores quantidades. O aço está presente nas estruturas e nas esquadrias, com maior participação nas primeiras. Observa-se ainda que apenas seis materiais acumulam 80% da Energia Embutida.

4 - RESULTADOS

Para obter a geração de CO₂ embutido na edificação é necessário discriminar o conteúdo energético dos materiais e a quantidade daqueles que geram parcelas significativas de CO₂ por reações químicas inerentes ao processo.

A partir da aplicação da planilha discutida ao final do item 3.1 obtém-se os resultados que se encontram no Apêndice. Os principais resultados gerais obtidos são apresentados resumidamente na Tabela 6.

Tabela 6: Parâmetros de geração de CO₂ na construção do modelo

Parâmetro	Quant.	unidade
CO ₂ embutido	0,38	tCO ₂ / m ²
Geração CO ₂	24,23	tCO ₂
CO ₂ / energia	81,97	kgCO ₂ / GJ

Observa-se que na relação da geração de CO₂ por GJ de energia produzida (terceira linha) os valores são superiores aos de pesquisas australianas (CRAWFORD, 2003) na ordem de 60 kg CO₂ / GJ..

A distribuição do CO₂ embutido por materiais de construção está na tabela 7.

Tabela 7: CO₂ embutido por materiais de construção no modelo

MATERIAIS	TOTAL kgCO ₂	Partic. %
Cimento	7134	29,4
Cerâmica vermelha	6293	26,0
Aço e ferro	3070	12,7
Concreto	1650	6,8
Tintas	1438	5,9
Pedra	1008	4,2
Areia	935	3,8
Cal	893	3,7
Fibrocimento	499	2,1
Plásticos	358	1,5
Cerâmica revest.	221	0,9
Outros materiais	736	3,0

A participação dos materiais na geração do CO₂ é semelhante à distribuição de consumo de energia com exceção feita ao cimento. Esta variação decorre da geração adicional de CO₂ advinda do processo de fabricação do cimento, que aumenta em aproximadamente 100% o total de CO₂ em relação à geração pelo consumo energético.

Finalmente na Tabela 8 são feitas analogias com os dados de energia e CO₂ embutidos em residências de países em desenvolvimento. Considere-se o fato de que os índices japoneses e dinamarqueses citados foram obtidos por análises energéticas realizadas por matrizes insumo-produto e o índice neozelandês por análise de processos, metodologia similar à utilizada neste trabalho.

Tabela 8: Resultados comparativos de Energia e CO₂ embutidos no modelo

Resultados	N. Zelândia ⁽¹⁾	Japão ⁽²⁾	Dinamarca ⁽³⁾	Brasil
t CO ₂ /m ²	0,35	0,40	0,40	0,37
GJ/m ²	5,60	4,50	4,50	4,46

¹ (BUCHANAN & HONEY, 1994)

² (SUZUKY & OKA, 1995)

³ (SUZUKY & OKA, 1995) citando (PEDERSEN, 1993)

5 - CONCLUSÕES

A geração de CO₂ nos modelos propostos é, paradoxalmente, compatível com edificações de países desenvolvidos, que têm matrizes energéticas menos sustentáveis que a do Brasil e utilizam em suas construções materiais de isolamento térmico de alta energia e CO₂ embutido. Os principais motivos para este descompasso em relação às construções brasileiras são: alto desperdício de materiais nas construções; uso elevado de cimento em várias partes da construção, material com alto índice de CO₂ incorporado no seu processo de fabricação, além de ter também um alto índice de desperdício na construção; e a cerâmica vermelha que usa prioritariamente a lenha como energético e que tem, na consideração da metodologia aplicada neste trabalho, apenas 20% de renovação.

Em outros comentários acerca da sustentabilidade verifica-se que a participação do gás na matriz de geração elétrica tende a aumentar. Esse fato reduz o potencial de energias renováveis no setor da Construção Civil, já dominado por fontes não renováveis. Além disso, a entrada de fontes renováveis na matriz energética brasileira, como etanol e biodiesel, se dá basicamente nos insumos de transportes, o que não alterará de forma significativa, a curto prazo, o perfil de sustentabilidade da Construção Civil.

6 - REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12721: Avaliação de custos unitários e preparo de orçamento de construção para incorporação de edifícios em condomínio – Procedimento.** Rio de Janeiro. 1999.

ALCORN, J.A.; BAIRD, G. Use of a hybrid energy analysis method for evaluating the embodied energy of building materials. **Renewable Energy.** Volume 8, (1-5), p. 319-322. May 1996.

BERMANN, C. **Energia no Brasil: para quê? para quem? Crise e alternativas para um país sustentável.** Ed. Livraria da Física: FASE, 2001. ISBN 85-88325-06-3.

BRASIL. Ministério da Indústria e Comércio, Secretaria de Tecnologia Industrial – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC / MG. **Balanço Energético de Edificações Típicas.** Brasília, 1982.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia, Secretaria de Minas e Metalurgia. **Anuário estatístico: Setor metalúrgico.** Brasília, 2004.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2005: Ano base 2004.** Brasília, 2005a. ISS 0101-6636

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Inventário Nacional de Emissões de gases de efeito estufa.** Disponível em <http://www.mct.gov.br/clima/default.htm> , acessado em Novembro de 2005b.

BRASIL, Ministério das Minas e Energia. **NT - COBEN 07/88 - Avaliação do consumo residencial de lenha e carvão vegetal do balanço energético nacional.** Disponível em <http://www.mme.gov.br> , acessado em Janeiro de 2006.

- BROCKLESBY, M.W.; DAVISON, J.B. The environmental impacts of concrete design, procurement and on-site use in structures. **Construction and Building Materials** 14, p. 179-188. Elsevier Science Ltd. 2000
- BUCHANAN, A.; HONEY, B. Energy and carbon dioxide implications of building construction. **Energy and Buildings** 20, p. 205-217. Elsevier Science Ltd . 1994.
- DIAS, W.P.S.; POOLIYADDA, S.P. Quality based energy contents and carbon coefficients for building materials: A systems approach. **Energy** 29, p. 561–580. Elsevier Science Ltd. 2004
- EIA, Energy Information Administration; U.S. Department of Energy. **Forecast and analyses**. Disponível em <http://www.eia.doe.gov/>, acessado em fevereiro de 2007.
- HACKER, J. N. et al. Embodied and operational carbon dioxide emissions from housing: A case study on the effects of thermal mass and climate change.
- Energy and Buildings.** Volume 40, Issue 3, p. 375-384. Elsevier Science Ltd. 2008.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2000**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>, acessado em abril de 2003.
- IEA, International Energy Agency. **Key World Statistics 2005**. IEA, Paris. Disponível em <http://www.iea.org> , acessado em novembro de 2005
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Geneva, Switzerland.1995.
- MARLAND, G.; BODEN, T.A; ANDRES, R. J. Global, Regional, and National CO₂ Emissions. **In Trends: A Compendium of Data on Global Change**. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. 2003.
- PNAD. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2004**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em outubro de 2005
- SINPHA. **Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo**. PROCEL / ELETROBRÁS. Núcleo de Estatística Computacional, PUC/Rio. Rio de Janeiro, 1999. CD-ROM.
- SUZUKI, M.; OKA, T.; OKADA K. Estimation of energy consumption and CO₂ emission due to housing construction in Japan. **Energy and Buildings** 22, p. 165-169. Elsevier Science Ltd. 1995.
- TAVARES, S.F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. Tese de doutorado. PPGEC, UFSC. Florianópolis, abril de 2006.
- TCPO, **Tabelas de composição de Preços para Orçamentos**. Editora PINI. São Paulo, 2003. CD-ROM, desenvolvido pela Construnet.
- THEIS, I. M. **Limites Energéticos do Desenvolvimento**. Editora da FURB. Blumenau, SC. 1996.
- ZIMMERMANN, M. et al. Benchmarks for sustainable construction: A contribution to develop a standard. **Energy and Buildings** 37, p. 1147–1157. Elsevier Science Ltd., 2005

APÊNDICE:

Planilha de Cálculo do CO₂ embutido

MATERIAIS MODELO 1	Área	Fonte	Eletro	Óleo combustível	GÁS NATURAL	GLP	Outras Sustâncias de Petróleo	Cogue de Carvão Mineral	Cogue de Petróleo	Carvão Mineral	Carvão Vegetal	Lenha	Outras Fontes Prin. Renováveis	Outras	TOTAL			
															kgCO ₂	%		
															35,7			
AÇO E FERRO		Perc (%)	10,0	1,0	6,0			71,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0			
		Quant. (MJ)	40996,13	4099,6	410,0	2459,8	0,0	0,0	29107,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4919,5			
		CO ₂ (KG)	74,4	74,4	32,7	124,5	0,0	0,0	2662,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	175,7	3069,9	12,7	
ALUMÍNIO		Perc (%)	54,0	21,0	7,0			4,0	10,0						4,0			
		Quant. (MJ)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		CO ₂ (KG)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
AREIA		Perc (%)	1,0	99,0														
		Quant. (MJ)	11811,38	118,1	11693,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		CO ₂ (KG)	2,1	932,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	934,9	3,9	
ARGAMASSA		Perc (%)	4,0	86,0														
		Quant. (MJ)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		CO ₂ (KG)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
CAL		Perc (%)	8,0	12,0														
		Quant. (MJ)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		CO ₂ (KG)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
CERÂMICA REVEST.		Perc (%)	12,0	15,0	68,0	5,0												
		Quant. (MJ)	4274,96	513,0	641,2	2907,0	213,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		CO ₂ (KG)	9,3	51,2	147,2	13,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	221,2	0,9	
CERÂMICA VERM.		Perc (%)	2,0	4,0												1,0		
		Quant. (MJ)	80358,56	1607,2	3214,3	0,0	6428,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	68304,8	0,0	803,6			
		CO ₂ (KG)	29,2	256,4	0,0	406,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5572,3	0,0	28,7	6293,5	26,0	
CIMENTO		Perc (%)	12,0	3,0												7,0		
		Quant. (MJ)	56385,93	6766,3	1691,6	0,0	0,0	0,0	34385,4	4510,9	5074,7	0,0	0,0	0,0	3947,0			
		CO ₂ (KG)	122,7	134,9	0,0	0,0	0,0	0,0	2497,3	412,6	258,8	0,0	0,0	0,0	141,0	3567,4	14,7	
COBRE		Perc (%)	41,0	10,0	44,0				5,0									
		Quant. (MJ)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		CO ₂ (KG)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
CONCRETO		Perc (%)	9,0	82,0					9,0									
		Quant. (MJ)	15504,7	1395,4	12713,9	0,0	0,0	0,0	1395,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1140,8	4,7	
		CO ₂ (KG)	25,3	1014,2	0,0	0,0	0,0	0,0	101,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
FIBROCIMENTO		Perc (%)	14,0	84,0		2,0												
		Quant. (MJ)	7053,02	987,4	5924,5	0,0	141,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	499,4	2,1	
		CO ₂ (KG)	17,9	472,6	0,0	8,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
IMPERMEABILIZA- NTES		Perc (%)	26,0	10,0	30,0				34,0									
		Quant. (MJ)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		CO ₂ (KG)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
MADEIRA		Perc (%)	17,0	83,0														
		Quant. (MJ)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		CO ₂ (KG)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
PEDRA		Perc (%)	15,0	85,0														
		Quant. (MJ)	14289,21	2143,4	12145,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1007,8	4,2	
		CO ₂ (KG)	38,9	968,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
PLÁSTICOS		Perc (%)	26,0	10,0	30,0				34,0									
		Quant. (MJ)	6809,56	1770,5	681,0	2042,9	0,0	2315,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	358,0	1,5	
		CO ₂ (KG)	32,1	54,3	103,4	0,0	168,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
TINTAS		Perc (%)	10,0	90,0														
		Quant. (MJ)	19531,65	1953,2	17578,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1437,7	5,9	
		CO ₂ (KG)	35,4	1402,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
OUTROS MAT		Perc (%)	20,0	8,0	11,0				10,0							35,0		
		Quant. (MJ)	20591,67	4118,3	1647,3	2265,1	0,0	0,0	2059,2	0,0	1441,4	1853,3	0,0	7207,1	0,0	0,0	735,5	3,0
		CO ₂ (KG)	74,7	131,4	114,7	0,0	0,0	188,4	0,0	131,9	94,5	0,0	0,0	0,0	0,0			
SOMATÓRIO MATERIAL (MJ)			25472,4	68341,4	9674,7	6783,5	2315,3	31165,4	35790,8	5952,3	6926,0	68304,8	7207,1	9670,1	277606,8			
		MJ (Fonte) / m ²	404,3	1084,8	153,6	107,7	36,8	494,7	568,1	94,5	110,0	1084,2	114,4	153,5	4406,5			
CO ₂ Processo		tCO ₂ /t	kg															
CIMENTO		0,375	9511,586334															
CONCRETO		0,045	11305															
ALUMINIO		1,6																
CAL		0,76	1175															
		Perc (%)																
			462,1	5451,6	489,9	429,3	168,1	2850,9	2598,6	544,5	353,3	5572,3	0,0	345,4	24234,6			
				1,9	22,5	2,0	1,8	0,7	11,8	10,7	2,2	1,5	23,0	0,0	1,4	79,5		
				7,3	86,5	7,8	6,8	2,7	45,3	41,2	8,6	5,6	88,4	0,0	5,5	384,7		