PRODUÇÃO DE HABITAÇÕES NO BRASIL: ESTUDO COMPARATIVO DE IMPACTOS AMBIENTAIS, COM FOCO NO USO DA MADEIRA[1]

MORAES, E. S., Universidade Federal da Integração Latino-Americana, e-mail: erik.moraes@aluno.unila.edu.br; ROVARIS, C., Universidade Federal da Integração Latino-Americana, e-mail: rovariscamila@gmail.com; PUNHAGUI, K. R. G., Universidade Federal da Integração Latino-Americana, e-mail: katia.punhagui@unila.edu.br

ABSTRACT

The objective of this research is to analyze the emissions of CO_2 and incorporated energy (IE) in the production of housing in Brazil, seeking strategies to mitigate environmental impacts. As a methodology, the housing scenario was characterized; the intensity of the wall; consumption of material by constructive technique; and CO_2 and IE emission factors of materials, masonry and wood. The results show that the wall intensity is equivalent between the constructional techniques (~2.2m^2_w/m^2_{ba}), however the masonry presents higher material consumption. The volume of wood consumed in two houses of this technique (0.104m^3/m^2_{ba}), only in the boxes, would be enough to build a wooden dwelling (0.110m^3/m^2_{ba}). Despite this, CO_2 emissions were higher in wood buildings (2,090kg/m^2_{ba}), considering the use of native wood from unsustainable sources. That replaced by planted wood would reduce an order of magnitude (38$kgCO_2/m^2_{ba}$), being lower than that of masonry (414$kgCO_2/m^2_{ba}$). The IE was higher in masonry (1,169MJ/m^2_{ba}), due to the higher consumption of materials such as cement, lime and ceramic block, as well as the use of planted wood (needles) that require drying in an oven. Possibilities of mitigation of the impacts are related to the origin of the materials and increase of the industrialization.

Keywords: *Construction. Housing. Environmental impact. Wood.*

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção contribui significativamente com impactos ambientais, devido aos processos de transformação inerentes de suas atividades. Mundialmente, o uso de energia neste setor representa mais de 1/3 do consumo final da energia global e contribui quase 1/4 nas emissões de gases de efeito estufa (UNEP, 2016). Contudo, tais impactos são passíveis de redução, com avanços na tecnologia e implementação de políticas públicas (UNEP, 2009).

O uso de materiais, em função adequada segundo suas características ou com menor impacto incorporado pode ser uma estratégia. A exemplo da madeira, que têm ganhado espaço, por ser renovável, possuir baixa energia incorporada (EI) e emissão de CO_2 (segundo a fonte de extração) (CAMPOS, 2012a;CUADRADO et al., 2015;GUSTAVSSON E SATHRE, 2011;PUNHAGUI, 2014;SATHRE E O'CONNOR, 2010;WOODARD E MILNER, 2016). E que atualmente, vêm tendo seu uso promovido por alguns países na construção em fins de longo ciclo de vida (habitações), com objetivo de reduzir

[1] MORAES, E. S., ROVARIS, C., PUNHAGUI, K. R. G. Produção de habitações no Brasil: estudo comparativo de impactos ambientais, com foco no uso da madeira. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

impactos negativos (CANADA, 2016;HAYASHI E PETLOCK, 2012;INDUFOR, 2004;JONSSON, 2009; JULIN, 2010;MAHAPATRA, GUSTAVSSON E HEMSTRÖM, 2012;XIA et al., 2014).

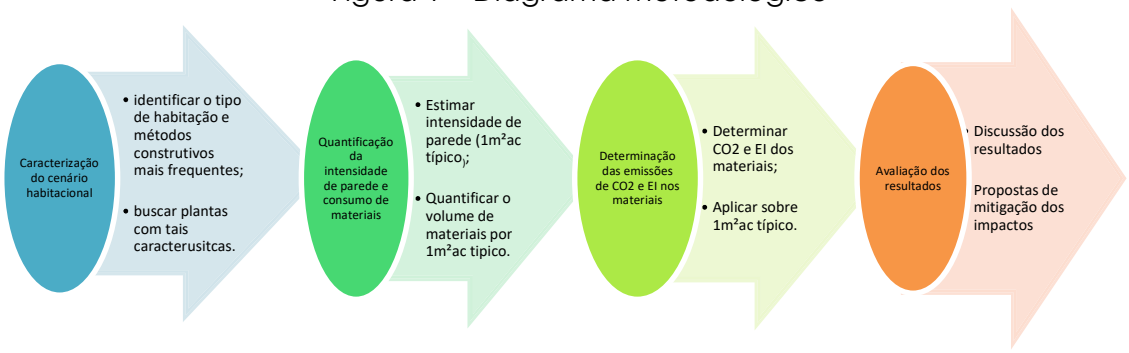
No Brasil, estas construções representam apenas 5% do estoque de habitação (IBGE, 2015). No entanto, este material é consumido consideravelmente pelo setor, cerca de 9,0 e 11,5 milhões m^3 de toras de madeira plantada e nativa, respectivamente (IBÁ, 2017;SNIF, 2018). O setor acaba por demandar artefatos de baixo valor agregado (madeira para caixarias, e.g.) gerando impactos pelo consumo de recursos com baixa eficiência e tecnologia (Entre 50 e 65% de aproveitamento médio nas serrarias) (PUNHAGUI, 2014).

Nesta perspectiva, este estudo objetiva avaliar as emissões de CO_2 e EI na produção de habitações, com foco no emprego da madeira em fins de curto e longo prazo, com intuito de identificar meios para mitiga-los.

2 MÉTODO

O estudo foi dividido em quatro partes, onde: a)caracterizou-se o cenário habitacional brasileiro b) quantificou-se a intensidade de paredes e consumo de materiais por m^2 de área construída ($1m^2_{ac}$), definindo $1m^2_{ac}$ típico; c) determinou-se os fatores de emissão de CO_2 e EI dos materiais e aplicou-se estes fatores sobre $1m^2_{ac}$ típico; d) sobre os resultados fez-se a discussão e propostas de mitigação dos impactos (Figura 1).

Figura 1 – Diagrama metodológico



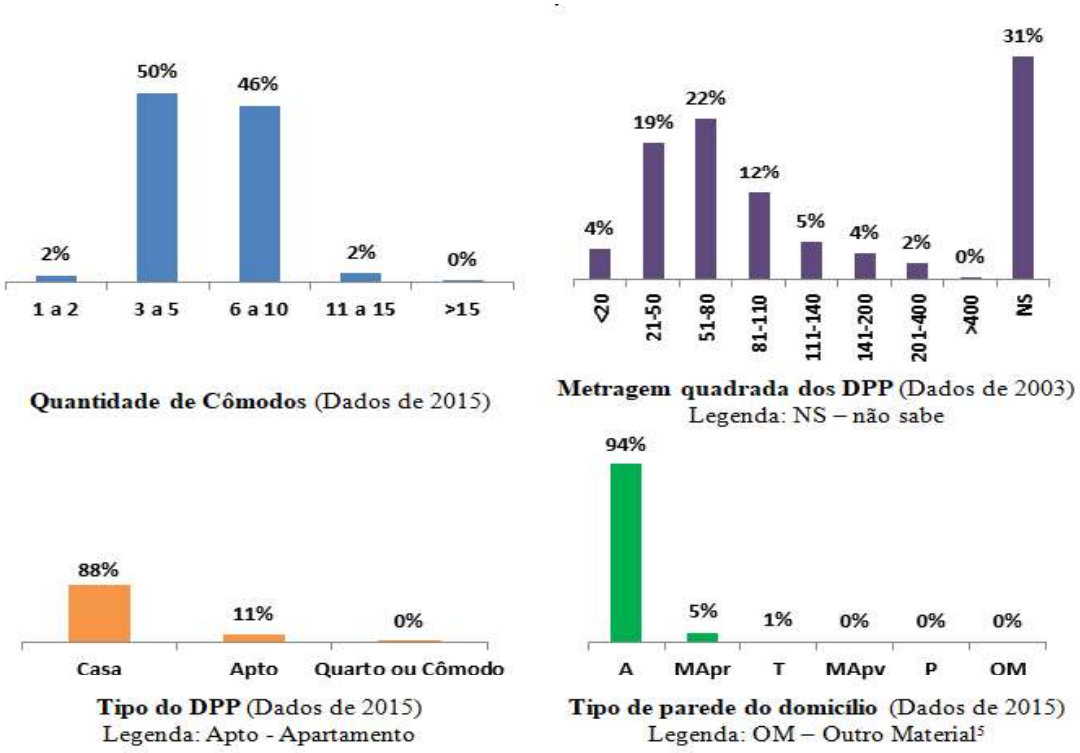
Fonte: Autores (2018)

2.1 Caracterização do cenário habitacional brasileiro

Com base em dados da Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios (PNAD-IBGE), do ano de 2003 e 2015[2], buscou-se definir um cenário do estoque de habitações nacional. Levantaram-se dados sobre tipo de habitação, material da envoltória, área construída e número de cômodos. Como resultado, obteve-se que a maior parte dos domicílios particulares permanentes (DPP) são casas (88%), de alvenaria (93%), com área entre 21 e 110 m² (54%); e de 3 a 10 cômodos (96%)(Tabela).

[2] Últimos anos em que há dados disponíveis sobre metragem quadrada dos DPP (2003) e da quantidade e tipo de cômodo e paredes (2015).

Gráfico 1 – Caracterização do cenário habitacional brasileiro



Fonte: Autores (2018), baseado na PNAD-IBGE (2003;2015).

Deste cenário, buscaram-se plantas-baixas para definir a relação entre intensidade de parede por área construída. Investigou-se em sites das Companhias de Habitação Popular; Minha Casa, Minha Vida; Prefeituras; Companhias de Desenvolvimento Habitacional e Urbano; Habitação de Interesse Social; Núcleos Habitacionais; em sites de empresas com grande fluxo de visitas e projetos específicos de habitação.

Levantaram-se 225 plantas (144 de alvenaria e 81 de madeira). Estas passaram por processo de descarte quando havia impossibilidade de leitura; determinação de amostra utilizando ferramenta estatística eletrônica (SANTOS, 2017); e sorteio aleatório com software Excel (função *ALEATÓRIOENTRE*); resultando em 50 projetos de alvenaria e 41 de madeira.

2.2 Quantificação da intensidade de parede e consumo de materiais

Usaram-se as plantas para determinar o fator de intensidade de parede, relação entre a área de paredes (m^2_p) pela área construída da habitação (m^2_{ac}). Consideraram-se as áreas ou dimensões indicadas em planta[3], e na falta de informação ou impossibilidade de leitura tomou-se base nas dimensões medíveis; descontaram-se as áreas das aberturas; e optou-se por admitir valores padrões de pé-direito e dimensões de portas e janelas[4].

Nas casas de madeira, as áreas molhadas (banheiro e cozinha), geralmente

[3] Desconsideram-se as áreas da garagem e varanda por não possuírem envoltória

[4] Pé direito de 2,80m; Janelas em geral 1,40x1,00m; Janelas de banheiros 0,60x0,60m; Portas em geral 0,90x2,10m e portas de banheiro 0,80x2,10m.

são executadas com paredes de alvenaria e estrutura em concreto armado, de tal maneira foram consideradas nos projetos.

Em sequência, determinou-se a intensidade de material por m^2_{ac} segundo técnica construtiva. As características da composição das paredes foram definidas por meio de consulta com especialistas, referências bibliográficas e sites de boas práticas do setor.

Os resultados são apresentados por m^2_{ac} e em intervalos, visando abranger as variações e incertezas existentes nos itens; porém, indicando a mediana, que aponta um valor aproximadamente típico.

2.3 Determinação das emissões de CO_2 e EI nos materiais

As emissões de CO_2 e EI dos materiais foram estimadas considerando dados de pesquisas nacionais, para que os resultados retratem a realidade do país (Tabela 1). Estes valores foram aplicados no $1m^2_{ac}$ típico, e sobre estes fez-se as discussões.

Tabela 1 - Fatores de Emissão de CO_2 e EI dos materiais

Material	CO_2 (Kg/t)		EI (MJ/t)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Cimento	564,00		1154	4200
Areia	1	15	5	60
Pedra	1	15	5	150
Cal Hidratada	607	1259	2013	4350
Bloco Cerâmico	61	1911	562	3746
Madeira Plantada	41	726	945	15451*
Madeira Nativa	5135	44394*	500	5357*
*Valores extremos de fatores encontrados nas pesquisas				

Fonte: Autores (2018) com dados de (MONTES, 2016; PUNHAGUI, 2014; JOHN et al, 2014; TAVARES, 2006; WBCSD, 2012; ABCP, 2018)

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados mostram que a intensidade de parede de alvenaria e madeira são equivalentes, cerca de $2,22m^2_p/m^2_{ac}$ (Tabela 2). Porém, o consumo dos materiais avaliados (exceto madeira) é maior na primeira. Isso afeta diretamente os fatores quantificados.

Tabela 2 – Intensidade de parede (m^2_p/m^2_{ac})

	Mínimo	Máximo	Mediana
Alvenaria	1,62	2,91	**2,21**
Madeira	1,75	2,81	**2,23**

Fonte: Autores (2018)

Percebe-se que as casas de alvenaria consomem, somente em caixarias, cerca de 50% do volume de madeira por m^2_{ac} do que seria necessário para a construção de uma casa de madeira (Tabela 3). E que possui maior consumo de blocos cerâmicos, que é intenso em uso energético devido ao

seu processo de produção, por incluir a queima em fornos.

Porém, a eficiência no uso dos materiais não é condicionada apenas a seu consumo, mas também à sua procedência (PUNHAGUI, 2014), processo de fabricação, tipo de fornos ou estufas (desempenho térmico), recurso energético (MANFREDINI E SATTLER, 2005), entre outros.

Tabela 3 - Consumo de material (m^3/m^2_{ac})

Material	Alvenaria			Madeira		
	Mínimo	Máximo	Mediana	Mínimo	Máximo	Mediana
Cimento	0,039	0,083	0,059	0,012	0,052	0,033
Areia	0,131	0,341	0,227	0,043	0,202	0,081
Pedra	0,055	0,129	0,086	0,015	0,096	0,059
Cal	0,016	0,030	0,023	0,004	0,012	0,008
Bloco Cerâmico	0,074	0,178	0,117	0,018	0,068	0,039
Madeira	**0,038**	**0,069**	**0,052**	**0,100**	**0,120**	**0,110**

Fonte: Autores (2018).

Tipicamente, executam-se com madeira plantada (Pinus) as caixarias dos elementos estruturais e com nativa as envoltórias das habitações em madeira, no qual a identificação de procedência (manejo ou extração seletiva convencional-ESC[5]), no final da cadeia, pode ser de difícil apreciação.

Considerando esta diferença típica da madeira, segundo a finalidade, tem-se que as habitações em alvenaria emitem entre 55 a 585$kgCO_2/m^2_{ac}$ (mediana de 414$kgCO_2/m^2_{ac}$), e as de madeira entre 369 e 3.902$kgCO_2/m^2_{ac}$ (2.083$kgCO_2/m^2_{ac}$)(Tabela 4). Nota-se que, embora utilizados materiais considerados genericamente intensos em carbono (cimento e cal), as maiores emissões, neste caso, são dos materiais constituintes das envoltórias (bloco cerâmico e madeira nativa) devido aos fatores de emissão e quantidade empregada.

Tabela 4 - Emissão de CO_2 ($kgCO_2/m^2_{ac}$)

Material	Alvenaria			Madeira		
	Mínimo	Máximo	Mediana	Mínimo	Máximo	Mediana
Cimento	33	70	50	10	44	28
Areia	0,21	7	2	0,07	4	0,7
Pedra	0,09	3	1	0,03	2	0,31
Cal	15	54	41	4	21	10
Bloco Cerâmico	6	408	309	1	155	29
Madeira	1	43	11	354	3.676	2.015
TOTAL	**55**	**585**	**414**	**369**	**3902**	**2083**

[5] Considerada não sustentável, pois além de suprimir considerável biomassa florestal que não é reinstituída, gera grande quantidade de resíduos na extração que são convertidos em emissão de carbono por processos de degradação ou queima (CAMPOS, 2012; PUNHAGUI, 2014).

Fonte: Autores (2018).

Realizando análise de sensibilidade, verifica-se que a origem afeta os impactos ambientais consideravelmente, substituindo a madeira nativa (ESC), da envoltória, por plantada, consideradas neutras em carbono (MATHEWS, 2008;LUYSSAERT et al, 2008;PUNHAGUI 2014), uma redução apreciável na emissão de CO_2 é evidenciada (Tabela 5). Embora outros fatores, como tratamentos químicos e vida útil, devam ser considerados nesta perspectiva.

Tabela 5 – Análise de sensibilidade de impactos

Envoltória+Caixaria	Casas de Madeira					
	CO_2 ($kgCO_2/m^2_{ac}$)			EI (MJ/m^2_{ac})		
	Mínimo	Máximo	Mediana	Mínimo	Máximo	Mediana
Nativa+Plantada*	355	3.701	2.021	50	987	387
Plantada+Plantada	4	86	38	81	1823	820

*Configuração típica adotada

Fonte: Autores (2018).

Nas casas de madeira a EI total varia entre 95 e 1.729MJ/m^2_{ac} (578MJ/m^2_{ac}) e na alvenaria entre 129 e 2.312MJ/m^2_{ac} (1.170MJ/m^2_{ac}), duas vezes mais (Tabela 6). Resultado atrelado à variação no consumo de blocos cerâmicos e cimento na segunda; bem como do uso de madeira plantada, que embora empregada em menor quantidade, requer tratamento de secagem[6]. Nas primeiras, embora maior consumo, a utilização de madeira nativa diminui esse fator.

Tabela 6 - Energia Incorporada (MJ/m^2_{ac})

Material	Alvenaria			Madeira		
	Mínimo	Máximo	Mediana	Mínimo	Máximo	Mediana
Cimento	6	520	208	21	325	81
Areia	1	28	20	0,35	15	3
Pedra	0,5	31	10	0,13	24	3
Cal	49	186	96	12	73	33
Bloco Cerâmico	50	799	268	12	305	71
Madeira	**23**	**748**	**568**	**50**	**987**	**387**
TOTAL	**129**	**2312**	**1170**	**95**	**1729**	**578**

Fonte: Autores (2018)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando as limitações do estudo, conclui-se que:

- A alvenaria consome maior quantidade de materiais apesar da equivalência entre a intensidades de paredes, cerca de 2,22m^2_p/m^2_{ac}. Destaca-se o consumo de madeira para caixarias, que apesar de subestimado (0,052m^3/m^2_{ac}), é quase metade do utilizado para a

[6] As madeiras plantadas possuem em geral, com relação às madeiras nativas utilizadas na construção civil, densidades mais baixas e teor de umidade mais alto, desta forma, requerendo tratamentos de secagem em estufas, o que aumenta significativamente seus índices de energia incorporada (BARBOSA et al, 2000).

construção de uma casa de madeira (0,110m^3/m^2_{ac});

- A emissão da habitação de madeira (2.083$kgCO_2/m^2_{ac}$) é superior à de alvenaria (414$kgCO_2/m^2_{ac}$) devido a procedência do material (ESC). Se substituída por madeira plantada, as emissões baixariam uma ordem de grandeza (38$kgCO_2/m^2_{ac}$);

- A EI resultante da alvenaria é superior à da madeira devido ao maior emprego de materiais (cimento, cal e bloco cerâmico) com processos produtivos de maior consumo energético;

- Acredita-se que a escolha de materiais com melhor procedência, industrialização de componentes e aperfeiçoamento da mão-de-obra, para redução de perdas, possam colaborar com a mitigação dos fatores de impactos analisados.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à UNILA pelo apoio a pesquisa; à Jefferson Mariano, pelos dados do BME–IBGE; ao prof. Dr. Aref Kazam.

REFERÊNCIAS

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - Folheto: Manual Mãos à Obra. 2012. Disponível em: <http://www.lafarge.com.br/M_OBRA_sem_logo.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2017

_____ ; SNIC SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. Mapeamento Tecnologico do Cimento - Brasil 2050. São Paulo: ABCP & SNIC, 2018.

AZEREDO, H. A. Edifício até sua cobertura. [s.l.] Edgard Blucher, 2005.

BARBOSA, J. C.; INO, A.; SHIMBO, I. Indicadores de sustentabilidade na cadeira produtiva de habitação em madeira de reflorestamento. IN: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 8., 2000. Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC). 2000. P. 181-188.

CAMPOS, É. F. DE. Emissão de CO2 da madeira serrada da Amazônia: o caso da exploração convencional. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2012.

CUADRADO, J. et al. Methodology to assess the environmental sustainability of timber structures. Construction and Building Materials, [s. l.], v. 86, p. 149–158, 2015.

CANADA. Spotlight: Pushing the heights of building with wood. 2016. Disponível em: <http://www.nrcan.gc.ca/forests/industry/products-applications/16834>. Acesso em: 16 abr. 2018.

ESPECIALISTA. Consulta com especialista em estruturas. Universidade Federal da Integração Latino Americana - UNILA. 2017.

FUDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE - FUNASA. Melhorias Habitacionais para o controle de doença de chagas. 2017. Acesso em: 27 nov. 2017.

GUSTAVSSON, L.; SATHRE, R. Energy and CO2 analysis of wood substitution in construction. Climatic Change, [s. l.], v. 105, n. 1–2, p. 129–153, 2011.

HAYASHI, Y., PETLOCK, B. Japan's 'Promotion of Wood' Act - An Opportunity for the U.S. Wood Industry. Tokyo: USDA - Foreign Agriculture Service; 2012.

IBÁ. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório 2017. São Paulo. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>.

IBGE, "Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios - PNAD. 2003.

_____, "Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios - PNAD. 2015.

INDUFOR. CEI-Bois Roadmap, 2010: Summary of Work Packages 1.1, 1.2 and 5.1 [internet]. Helsinki; 2004. Disponível em: http://www.fagosz.hu/fataj/Roadmap2010CEIBois/PDFs/4_Reports/Indufor_summary.pdf/>. Acesso em: 15 de maio de 2017.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Madeira Uso Sustentável na Construção Civil. São Paulo: IPT, 2003.

JOHN, Vanderley M.; PUNHAGUI, Katia R. Garcia; CINCOTTO, Maria Alba. Produção de Cal. Em Economia De Baixo Carbono: Avaliação De Impactos De Restrições E Perspectivas Tecnológicas Ribeirão Preto-SP, 2014.

JONSSON, R. Prospects for timber frame in multi-storey house building in England, France, Germany, Ireland, the Netherlands and Sweden. [s.l.] School of Technology and Design, Växjö University, 2009.

JULIN, J. The international promotion of wood. 2010. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://formin.finland.fi/public/download.aspx?ID=73389&GUID=%7B4A54694C-4244-4D67-8909-EDB5724153C6%7D>. Acesso em: 31 mar. 2017.

LUYSSAERT, S.; SCHULZE, E. D.; BORNER, A.; KNOHL, A.; HESSENMOLLER, D.; LOW, E. B.; CIAIS, P.; GRACE, J. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature*, vol. 455, no 7210, p. 213–215, 2008.

MAHAPATRA, K.; GUSTAVSSON, L.; HEMSTRÖM, K. Multi-storey wood-frame buildings in Germany, Sweden and the UK. Construction Innovation, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 62–85, 2012.

MANFREDINI, C.; SATTLER, M. A. Estimativa da energia incorporada a materiais de ceramic vermelha no Rio Grande do Sul. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 23-37, jan./mar. 2005.

MATHEWS. JOHN A. Carbon-negative biofuels. *Energy Policy*, vol. 36, no 3, p. 940–945, mar. 2008.

MONTES, M. A. T. Abordagem integrada no ciclo de vida de habitação de interesse social considerando mudanças climáticas. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

PUNHAGUI, K. R. G. Potencial de redução das emissões de CO2 e da energia incorporada na construção de moradias no Brasil mediante o incremento do uso de madeira. text—[s.l.] Universidade de São Paulo, 23 set. 2014.

SALGADO, J. C. P. Técnicas e práticas construtivas para edificação. [s.l.] Ed. Érica, 2009.

SANTOS, Glauber Eduardo de Oliveira. Cálculo amostral: calculadora on-line. Disponível em: <http://www.calculoamostral.vai.la>. Acesso em: 27 nov. 2017.

SATHRE, R.; O'CONNOR, J. Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. Environmental science & policy, v. 13, n. 2, p. 104–114, 2010.

SNIF, Sistema Nacional de Informações Florestais. Boletim de Serviço 2017. Ed. 1. Brasil, 2018.

TAVARES, S. F. Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras. 2006.

UNEP. Buildings and Climate Change: Summary for Decision-Makers. Paris: United Nations Environment Programme; 2009.

UNEP - United Nations Environment Programme e SBCI. Towards zero-emission efficient and resilient buildings: Global status report 2016. [Internet]. 2016.

WBCSD - World Business Council for Susteainable Development, "GNR Project. Reporting - Indicator 3213 - Brazil". Disponível em: <http://www.wbcsdcement.org/GNR-2012/Brazil/GNR-Indicator_3213-Brazil.html>. Acesso em: 30 nov. 2017.

WOODARD, A. C.; MILNER, H. R. Sustainability of timber and wood in construction. In: Sustainability of Construction Materials. [s.l.] : Elsevier, 2016. p. 129–157.

XIA, B. et al. Perceived obstacles to multi-storey timber-frame construction: an Australian study. Architectural Science Review, [s. l.], v. 57, n. 3, p. 169–176, 2014.