

# AVALIAÇÃO DO CARBONO E ENERGIA INCORPORADOS NO CICLO DE VIDA E DO DESEMPENHO TÉRMICO DE DIFERENTES TIPOS DE ISOLAMENTO TERMOACÚSTICO PARA PAREDES DE *LIGHT WOOD FRAMING*<sup>1</sup>

TIMM, J. F. G., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, email: janainetimm@hotmail.com;  
SARTORI, G., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, email: gabriela.sartori2@gmail.com;  
PASSUELLO, A., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, email: ana.passuello@ufrgs.br;  
TORRES, M. C. Ayres, Faculdade Meridional - IMED, Brasil, email:  
mauriciotorres.net@gmail.com

## ABSTRACT

*Construction industry is one of the production sectors that most impacts the environment. The mitigation of these impacts can be reached through better choices in the design phase. Several studies indicate that the use and operation phases are the stages with the greatest impacts buildings life cycle and that materials choice can influence the energy consumption related to these phases. The present study aims to compare different thermal insulation options for the Light Wood Framing System (LWF), finding which one presents the highest amount of embodied energy and the highest associated CO<sub>2</sub>eq emissions. For comparison purposes, all options present the same thermal performance defined by their thermal transmittance. The results indicate that glass wool is the option with the lowest embodied energy and expanded polystyrene (EPS) present the lowest emissions per unit area (kg CO<sub>2</sub>eq m<sup>2</sup>).*

**Keywords:** Embodied energy. Embodied carbon. Thermal insulation. Light Wood Framing.

## 1 INTRODUÇÃO

Os edifícios consomem energia, direta ou indiretamente, em todas as fases do seu ciclo de vida (CV) (CABEZA et al., 2014). O setor da construção civil emite diretamente 6,4% das emissões globais dos gases que causam o efeito estufa e 12% indiretamente através das emissões relacionadas ao consumo de eletricidade e condicionamento artificial, (UNEP, 2014). Grande parcela da energia consumida na fase de uso está relacionada ao condicionamento artificial dos ambientes. A escolha de isolamentos térmicos adequados para as fachadas pode reduzir tal consumo, pois muitas das transferências térmicas ocorrem através dos planos verticais, especialmente em edificações de múltiplos pavimentos. Mascaró (2010) afirma que em edifícios de 5 pavimentos até 70% da radiação solar atinge as fachadas, reforçando a exigência térmica dos elementos verticais.

Este estudo objetiva comparar diferentes alternativas de isolamento termoacústico - lã de vidro, lã de rocha e poliestireno expandido (EPS) - dentro do sistema *Light Wood Framing* (LWF) avaliando a energia e carbono incorporados e visando a melhoria na eficiência energética.

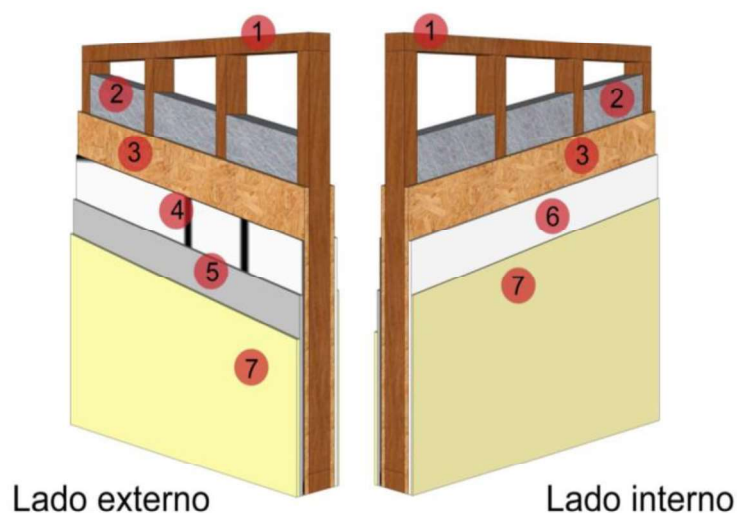
<sup>1</sup> TIMM, J. F. G., SARTORI, G., PASSUELO, A. C. B., TORRES, M. C. A. Avaliação do carbono e energia incorporados no ciclo de vida e do desempenho térmico de diferentes tipos de isolamento termoacústico para paredes Light Wood Framing. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Sistema LWF

O sistema LWF é considerado inovador no cenário brasileiro, apresentando vantagens como obra limpa, baixa geração de resíduos e maior conforto termoacústico. Conforme figura 01, a face externa é formada por placa cimentícia (5), membrana hidrófuga (4) e placa OSB (*Oriented Strand Board*-3). Montantes de madeira (1) compõem a estrutura e no interior destes há isolamento termoacústico (2). O lado interno constitui-se de placa OSB, gesso acartonado (6) e acabamento (7).

Figura 1 – Composição Parede LWF.



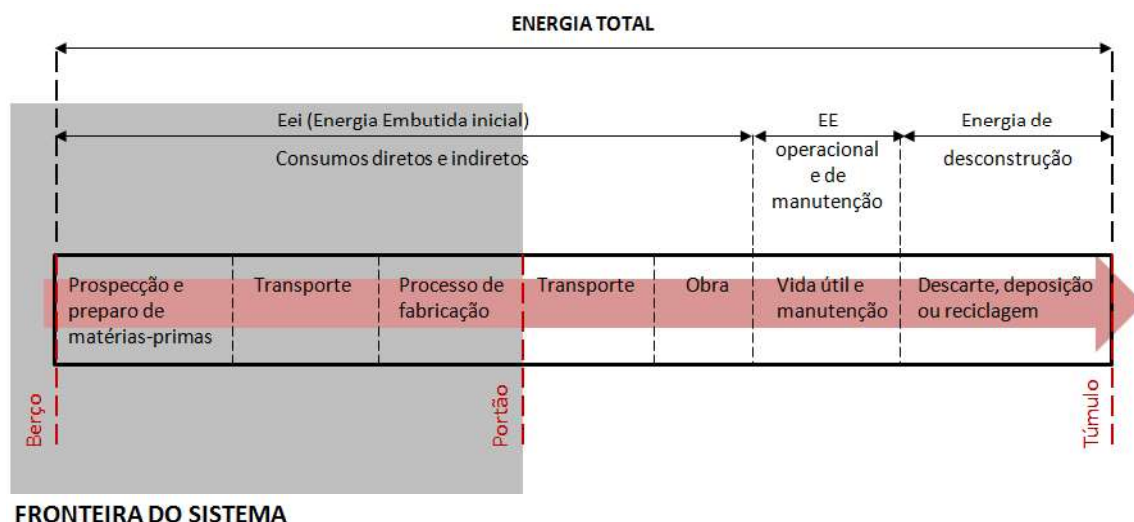
Fonte: Autoras.

### 2.2 Avaliação de CV Energético

A ACV realizada no presente estudo objetiva utilizar o sistema LWF para avaliar a energia e carbono incorporados de diferentes alternativas de isolamento termoacústico - lã de vidro, lã de rocha e poliestireno expandido (EPS); quantificando energia e emissões de CO<sub>2</sub> equivalente incorporados por m<sup>2</sup>. Os materiais serão avaliados do berço ao portão, ou seja, a fase pré-operacional (extração de matéria-prima, transporte, fabricação dos materiais) (Figura 02).

Dentre as diferentes funções das mantas de isolamento analisou-se a de isolamento através do desempenho térmico. Definiu-se que as opções de materiais contariam com a mesma vida útil, os mesmos processos e intervalos de manutenção. A unidade funcional considerada é 1m<sup>2</sup> do sistema LWF com 0,39W/(m<sup>2</sup>.K) de transmitância e resultados em MJ/m<sup>2</sup> e CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.

Figura 2 – Fases do CV e fronteira do sistema.



Fonte: Autoras.

## 2.3 Análise térmica

Para a comparação do impacto ambiental dos cenários, os materiais isolantes devem ter o mesmo desempenho, assim estabeleceu-se a mesma transmitância térmica para todos. Para isso, variou-se o material de isolamento atribuindo uma dada espessura para cada um (definidas pelas autoras desconsiderando as opções comerciais disponíveis):

- Cenário 1: sem camada de isolamento;
- Cenário 2: lã de vidro (90mm);
- Cenário 3: lã de rocha (90mm);
- Cenário 4: EPS (80mm).

Os cálculos deste estudo basearam-se na NBR 15.220-2 (ABNT, 2008). Para a densidade e condutividade térmica, foram consideradas médias dos valores disponibilizados na norma (Tabela 1). Para a placa cimentícia, foram considerados os dados do Documento de Avaliação Técnica N° 020-C (2017). Desse documento também foram retiradas as espessuras dos materiais que compõem a parede analisada, exceto dos isolantes.

A resistência térmica de paredes multicamadas é a soma das resistências dos materiais que a constituem (Equações 01 e 02). Não foram considerados no cálculo:

- a membrana hidrófuga e a pintura pela pequena contribuição na resistência térmica total;
- a estrutura de madeira, pois avaliou-se a seção com isolamento termoacústico;
- análises sobre a refletância à radiação solar, pois tais características influenciam mais na absorvância das superfícies do que na transmitância térmica. Muito embora a absorvância térmica possa influenciar no desempenho térmico da edificação.

$$R_{\text{material}} = e/\lambda$$

(01)

$$R_{\text{parede}} = (R_{\text{placa cimentícia}}) + 2(R_{\text{OSB}}) + (R_{\text{isolante}}) + (R_{\text{câmara ar}}) + (R_{\text{placa gesso}}) \quad (02)$$

Onde:

$R_{\text{material}}$  = resistência térmica material;

$e$  = espessura;

$\lambda$  = condutividade térmica;

$R_{\text{parede}}$  = resistência térmica parede;

Tabela 1 – Características térmicas dos materiais.

<b>Materiais</b>	<b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Condutividade térmica (W/(m.K))</b>	<b>Resistência ((m<sup>2</sup>.K)/W)</b>	<b>Espessura (m)</b>
Estrutura madeira	750	0,230	-	0,140
Placa OSB	700	0,170	0,056	0,009
Placa cimentícia	1700	0,350	0,023	0,008
Argamassa	1950	1,150	0,004	0,005
Placa gesso acartonado	875	0,350	0,036	0,013
Lã de vidro	55	0,045	2,000	0,090
Lã de rocha	110	0,045	2,000	0,090
EPS	25	0,040	2,000	0,080

Fonte: Autoras.

Para as câmaras de ar não ventiladas foram adotados valores de resistência térmica de 0,16 e 0,17 m<sup>2</sup>.K/W, pois considerou-se direção horizontal do fluxo de ar e espessura igual ou superior a 5cm (NBR 15.220-2, 2008). Adotou-se o valor de 0,04 (m<sup>2</sup>.K)/W para a resistência superficial externa e de 0,13 (m<sup>2</sup>.K)/W para a resistência superficial interna (NBR 15.220-2, 2008).

$$R_T = R_{SE} + R_{\text{parede}} + R_{SI} \quad (03)$$

$$U_{\text{parede}} = 1 / (R_T) \quad (04)$$

Onde:

$R_T$  = resistência térmica total do sistema;

$R_{SE}$  = resistência superficial externa;

$R_{SI}$  = resistência superficial interna;

$U_{\text{parede}}$  = transmitância térmica total da parede;

Tabela 2 – Resistência e transmitância térmica totais dos cenários.

<b>Configuração do sistema</b>	<b>Resistência</b>	<b>Transmitância</b>
--------------------------------	--------------------	----------------------

	<b>total</b> <b>((m<sup>2</sup>.K)/W)</b>	<b>total</b> <b>(W/(m<sup>2</sup>.K))</b>
Cenário 1	0,510	1,959
Cenário 2	2,500	0,399
Cenário 3	2,500	0,399
Cenário 4	2,510	0,398

Fonte: Autoras.

As transmitâncias encontradas estão dentro da norma de desempenho térmico, pois de acordo com a NBR 15.220-3 (ABNT, 2005), a transmitância térmica das paredes em todas as zonas bioclimáticas brasileiras não deve ser maior que 3W/(m<sup>2</sup>.K). Além disso, estão dentro dos valores exigidos para a etiqueta Nível A em eficiência energética do RTQ-R.

## 2.4 Inventário do CV

Na ACV não foi considerado o cenário 1, pois ele não apresenta o mesmo desempenho que os demais. Para o inventário do CV utilizou-se a base de dados de energia incorporada (EI) e carbono incorporado (CI) nas fases do berço ao portão elaborada por Hammond e Jones (2008). Não houve adaptação dos dados para o contexto brasileiro, dessa forma, o estudo conta limitações geográficas e temporais. Há ainda outras considerações:

- para a membrana hidrófuga empregou-se o dado da sua composição primária, o Polietileno de Alta Densidade;
- calculou-se o rendimento das tintas por meio da média de produtos nacionais;
- o dado do EPS é de 2005 e, atualmente, a cadeia produtiva desse material é menos poluente como indicam Declarações Ambientais de Produto, entretanto não substituiu-se o dado, pois optou-se por manter a consistência.

Os materiais considerados e os dados relacionados estão nas tabelas 3.

Tabela 3 – Dados dos materiais de 1m<sup>2</sup> de Sistema LWF.

<b>Materiais</b>	<b>Quantidade</b> <b>(kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>EI</b> <b>(MJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>TOTAL EI</b> <b>(MJ)</b>	<b>CI</b> <b>(kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)</b>	<b>TOTAL CI</b> <b>(kgCO<sub>2</sub>)</b>
Estrutura madeira	15,354	8,5	130,505	0,46	7,063
OSB (interna e externa)	13,300	9,5	126,350	0,51	6,783
Membrana hidrófuga	0,102	76,7	7,823	1,6	0,163
Placa cimentícia	13,600	10,9	148,240	2,11	28,696
Argamassa	9,750	1,4	13,650	0,213	2,077
Pintura (interna e externa)	0,095	68	6,460	3,56	0,338
Placa gesso acartonado	10,938	1,8	19,688	0,12	1,313
Lã de vidro	4,950	28	138,600	1,35	6,683
Lã de rocha	9,900	16,8	166,320	1,05	10,395
EPS	2,000	88,6	177,200	2,5	5,000

Fonte: Autoras.

### 3 RESULTADOS

Através dos dados da tabela 3 verificou-se que os materiais que mais influem na massa do sistema analisado são a estrutura de madeira e a placa cimentícia. Dentre os isolantes, a lã de rocha destaca-se em função de sua densidade. Com o levantamento dos materiais foram calculados os valores de EI e CI das opções de isolamento e dos cenários - tabela 4 e figuras 3 e 4.

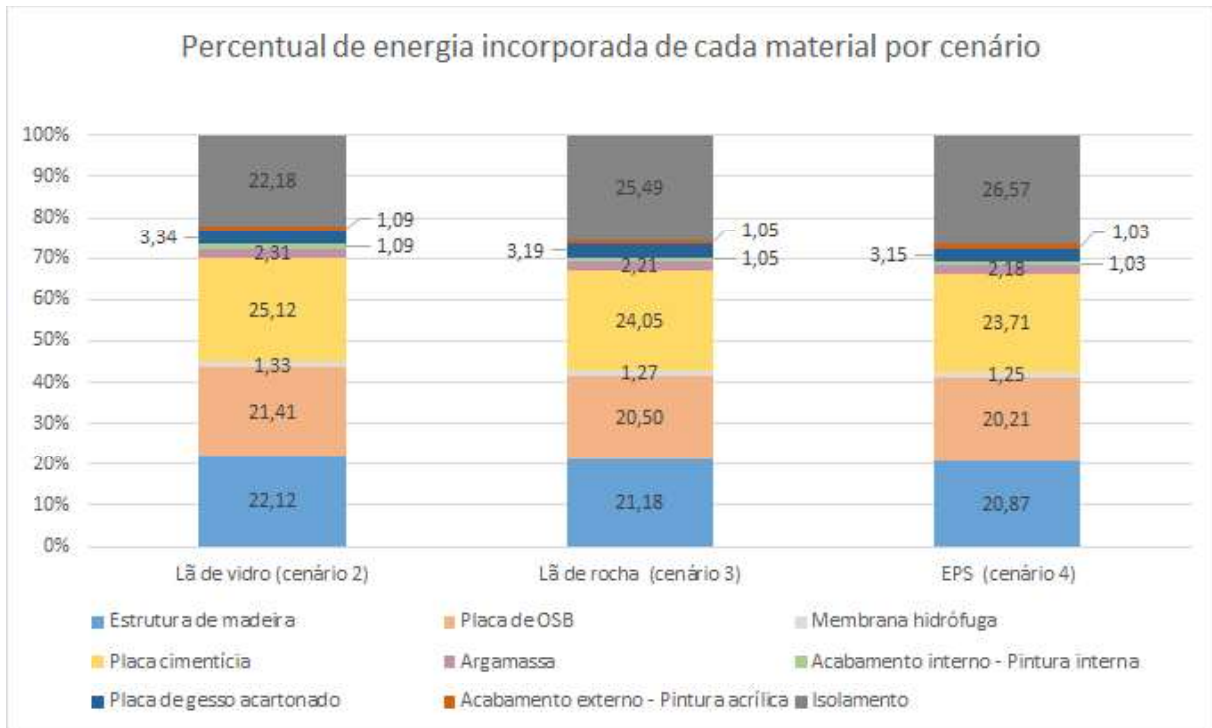
Tabela 4 – Dados de EI e CI dos cenários.

<b>Cenários</b>	<b>TOTAL EI (MJ)</b>	<b>TOTAL CI (kgCO2)</b>
Cenário 2	597,776	53,453
Cenário 3	625,496	57,165
Cenário 4	636,376	51,770

Fonte: Autoras.

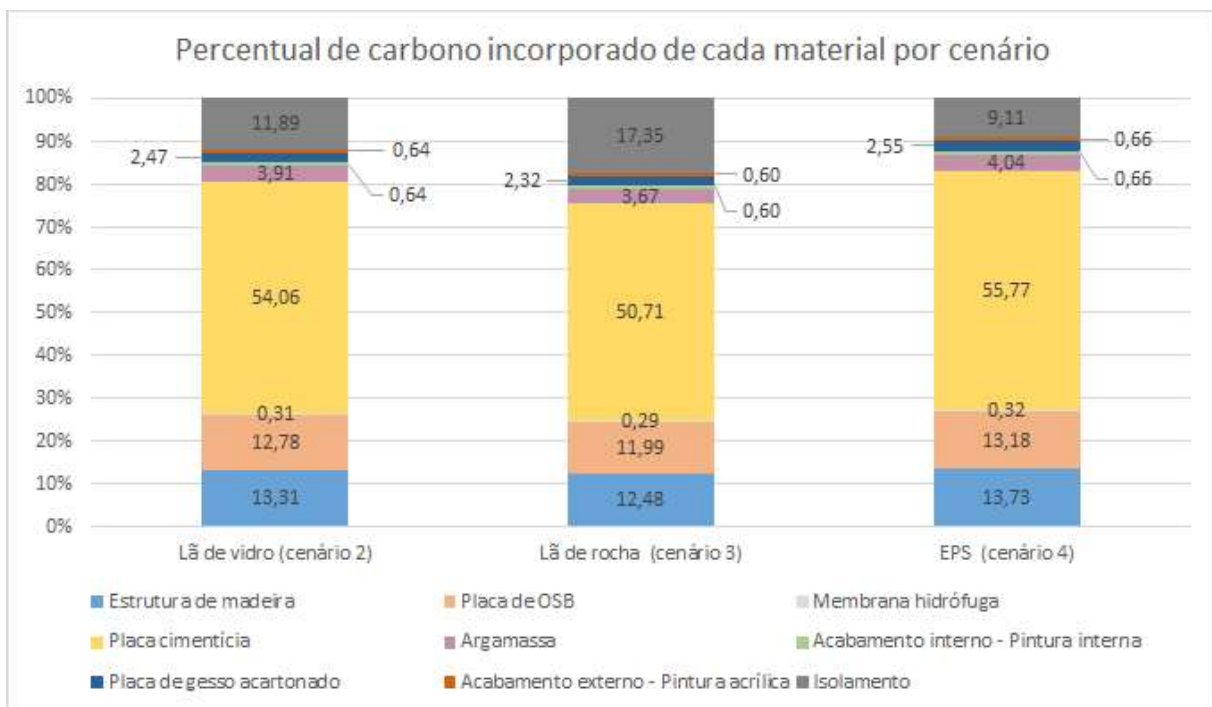
Considerando a EI, o cenário menos impactante foi o da lã de vidro, que apesar do seu alto fator equivalente de energia, requer pouca massa para alcançar o mesmo desempenho térmico das demais opções. Analisando os materiais, nota-se que a placa cimentícia, a estrutura de madeira e a placa OSB necessitam quantia significativa de energia para serem produzidos. Quanto ao CI, a opção menos impactante é o cenário do EPS, pois há um equilíbrio entre a densidade necessária para o desempenho térmico estipulado e o CI. A placa cimentícia apresenta o maior valor de CI, pois a produção do cimento Portland é responsável por emitir 8% dos gases responsáveis pelas mudanças climáticas (OLIVIER et al., 2016).

Figura 3 – Valores de EI para os cenários.



Fonte: Autoras.

Figura 4 – Valores de CI para os cenários.



Fonte: Autoras.

De acordo com Habib (2014), os materiais de isolamento ainda são a principal ferramenta para a melhoria do comportamento energético de um edifício e seu uso de forma eficiente pode promover uma diminuição do consumo geral de energia elétrica. As paredes com isolamento apresentaram maior impacto ambiental com 30% de EI e 11% de CI a mais



que a parede de referência, sem isolamento. Entretanto, a resistência térmica da parede referência é aproximadamente 5 vezes menor, podendo acarretar aumento do consumo de energia com climatização na fase de uso e operação do edifício. De acordo com Sharma et al. (2011), apesar de todas as fases do CV terem aspectos ambientais significativos, a fase operacional possui o maior percentual (80-85%) de consumo de energia no CV de um edifício. Dessa forma, um acréscimo de energia e carbono incorporados pode ser justificado para alcançar economia de energia operacional e diminuição dos impactos associados (RODRIGUES e FREIRE, 2015).

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto da envoltória requer escolhas adequadas visto que podem influenciar direta ou indiretamente no consumo de energia e contribuir para impactos ambientais. Avaliando diferentes isolantes termoacústicos para o Sistema LWF, pode-se concluir que apesar do uso desses contribuir para o aumento de energia e carbono incorporados no sistema estudado, também possuem grande potencial para o aumento da resistência térmica da parede e conseqüentemente para a economia de energia com climatização na fase operacional da edificação. Concluiu-se que a lã de vidro foi o material que menos apresentou EI e que o EPS foi a melhor opção quando analisado o CI. Os resultados podem ser diferentes caso outras fases do CV sejam consideradas. Para trabalhos futuros sugere-se que:

- a metodologia seja aplicada numa edificação inteira e considerando outras fases do CV;
- seja feita simulação energética para comparar energia incorporada e operacional de uma edificação com os cenários propostos, para uma análise consistente da melhor opção considerando a ACV e o consumo energético;
- realize comparação com outros sistemas construtivos de parede.

#### REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2. Desempenho Térmico de Edificações.** Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3. Desempenho Térmico de Edificações.** Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

CABEZA, L. F.; RINCÓN, L.; VILARIÑO, V.; PÉREZ, G.; CASTELL, A. **Life cycle assessment(LCA) and life cycle energy analysis(LCEA) of buildings and the building sector : A review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. p. 394-416. 2014.



INSTITUTO FALCÃO BAUER DA QUALIDADE (IFBQ). **Documento de Avaliação Técnica (DATec) Nº 020- C**. Proponente: TECVERDE Engenharia S.A. 2017. Disponível em:<<http://www.tecverde.com.br/wp-content/uploads/2016/07/Datec020C.pdf>>. Acessado em: 26/03/2018.

HABIB, R. C. M. M. **Tempo de retorno energético de isolantes térmicos na climatização de edificações: Estudo de caso da lã de rocha na zona bioclimática 1 do Brasil**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

HAMMOND, G. P. ; JONES, C. I. 2008, **Embodied energy and carbon in construction materials**, Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Energy, 161 (2), pp. 87-98.

MASCARÓ, Juan Luis. **O custo das decisões arquitetônicas**. Editora Masquatro, Porto Alegre. 2010. 5 ed. 192 p.

OLIVIER, J.G.J., MUNTEAN, M., PETERS, J.A.H.W., 2016. **Trends in Global CO2 Emissions 2016 Report**. PBL Netherlands Environ. Assess. Agency Eur. Comm. Jt. Res. Cent. 6–86.

RODRIGUES, C.; FREIRE, F. **Environmental Impact Trade-offs in Building Envelope Retrofit Strategies**. Proceedings of CILCA 2015, VI Conferencia Internacional de Análisis de Ciclo de Vida en Latinoamérica - Lima, Peru, 13 to 16 July, 2015, p. 1–6, 2015.

SHARMA A., SAXENA A., SETHI M., SHREE V., VARUN. **Life cycle assessment of buildings: A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. p. 871-875. 2011.

UNEP, 2014. **Intergovernmental Panel on climate change - Summary for Policymakers and Technical Summary**. UNEP DTIE, Sustainable Consumption & Production Branch, 15 Rue de Milan, 75441 Paris CEDEX 09, France.