

## AVALIAÇÃO PRELIMINAR COMPARATIVA DE MATERIAIS UTILIZADOS PARA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL NA COSTA DO CACAU, BA

CALLINE CHAVES DE JESUS<sup>1</sup>, LÍLIAN MARA SALES BUONICONTRO<sup>2</sup>, SILVIA KIMO COSTA<sup>3\*</sup> 

*1 Discente de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Sul da Bahia, Campus Jorge Amado – UFSB. Rua Itabuna, s/n, Rod. Ilhéus, Vitória da Conquista, km 39, BR 415, Ferradas, Itabuna-BA, CEP 45613-204.*

*2 Professora assistente do Instituto de Humanidades, Artes e Ciências e do Centro de Formação em Tecnociências e Inovação da Universidade Federal do Sul da Bahia, Campus Jorge Amado – UFSB. Rua Itabuna, s/n, Rod. Ilhéus, Vitória da Conquista, km 39, BR 415, Ferradas, Itabuna-BA, CEP 45613-204.*

*3 Professora adjunto do Instituto de Humanidades, Artes e Ciências e do Centro de Formação em Ciências Agroflorestais da Universidade Federal do Sul da Bahia. Campus Jorge Amado – UFSB. Rua Itabuna, s/n, Rod. Ilhéus – Vitória da Conquista, km 39, BR 415, Ferradas, Itabuna-BA, CEP 45613-204.*

*\*Autor para correspondência: skcosta@hotmail.com*

**Recebido em 22 de junho de 2019. Aceito em 06 de julho de 2020. Publicado em 31 de julho de 2020.**

**RESUMO** - Este artigo apresenta um estudo comparativo preliminar entre materiais convencionais e materiais alternativos para construção de Habitações de Interesse Social em município situado na região da Costa do Cacao, Bahia. Tomou-se como estudo de caso uma das habitações do Programa Habitar Brasil, localizado em Ilhéus. Os materiais foram analisados considerando a pegada de CO<sub>2</sub>, uso da água e energia incorporada durante o processo de produção primária do material; durabilidade e fim do ciclo de vida. A análise foi realizada por meio do *Software Cambridge Engineering Selector* (2018) com *Eco Audit*. Os resultados mostraram que os materiais alternativos, no que tange a energia de produção primária, pegada de CO<sub>2</sub> e consumo da água são ambientalmente sustentáveis em relação aos materiais convencionais utilizados na construção da Habitação de Interesse Social pois causam menor impacto ambiental e apresentam massa térmica que, associada a estratégias projetuais bioclimáticas, possibilitam eficiência energética.

**PALAVRAS-CHAVE:** Habitações de Interesse Social; Materiais; Sustentabilidade.

### PRELIMINARY COMPARATIVE ASSESSMENT OF MATERIALS USED TO BUILD SOCIAL INTEREST HOUSING IN COSTA DO CACAU, BA

**ABSTRACT** - This article presents a preliminary comparative study between conventional materials and alternative materials for the construction of Social Interest Housing in municipalities located in the Costa do Cacao region, Bahia. The case study was one of the dwellings of the *Habitar Brasil* Program, located at Ilhéus. The materials were analyzed considering the Carbon Footprint, use of water and energy incorporated during the production process of the material, durability end of life cycle. The analysis was performed using the *Cambridge Engineering Selector Software* (2018) with *Eco Audit*. The results showed that the alternative materials correlated to the primary production energy, Carbon Footprint and water consumption are environmentally sustainable compared to conventional materials used in the construction of Social Interest Housing, once they cause a lower environmental impact and have a thermal mass, which, together with bioclimatic design strategies, enable energy efficiency.

**KEY WORDS:** Social Interest Housing; Materials; Sustainability.

### EVALUACIÓN PRELIMINAR COMPARATIVA DE MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL EN LA COSTA DO CACAU, BA

**RESUMEN** - Este artículo presenta un estudio comparativo preliminar entre materiales convencionales y materiales alternativos para la construcción de Viviendas de Interés Social en municipios situados en la región de la Costa do

Cacau, Bahia. Se tomó como estudio de caso una de las viviendas del Programa Habitar Brasil, ubicado en Ilhéus. Se han analizado los materiales considerando la huella de CO<sub>2</sub>, uso del agua y energía incorporada durante el proceso de producción primaria del material, durabilidad y fin del ciclo de vida. El análisis fue realizado a través del *software Cambridge Engineering Selector* (2018) con *Eco Audit*. Los resultados mostraron que los materiales alternativos, en lo que se refiere a la energía de producción primaria, huella de CO<sub>2</sub> y consumo del agua, son ambientalmente más sostenibles en relación con los materiales convencionales utilizados en la construcción de la Vivienda de Interés Social, pues causan menor impacto ambiental y presentan masa térmica que, asociada a estrategias de los proyectos bioclimáticos, permiten una eficiencia energética.

**PALABRAS-CLAVE:** Viviendas de Interés Social; Materiales; Sostenibilidad.

---

## INTRODUÇÃO

O termo Habitação de Interesse Social (HIS) refere-se a uma série de soluções de moradia voltadas para a população de baixa renda e está diretamente relacionado ao atendimento do déficit por reposição de estoque e déficit por incremento de estoque de moradias. Entretanto, o padrão arquitetônico das HIS não vem considerando aspectos projetuais pautados na sustentabilidade arquitetônica, tais como, estratégias bioclimáticas que viabilizem eficiência energética e uso de materiais de baixo impacto ambiental (Santos e Santana 2017, Cardoso 2012).

A “Habitação” pode ser entendida como um lugar, espaço dotado de significado e sentido, construído diariamente por meio de microrritualizações e pelas relações sociais (Carlos 2007). Para Valença (2003) a habitação é uma necessidade básica e:

(...) antes de mais nada, coisa, objeto, produto, bem durável, mercadoria, ou seja, algo que se compra e vende no mercado imobiliário. Porém, a habitação não é uma mercadoria qualquer, como ventilador ou sapatos: a habitação não é como as demais mercadorias. É uma mercadoria com características especiais, peculiares e complexas, que têm implicações diversas e profundas sobre a forma como ocorrem a sua produção e o seu consumo (Valença 2003 p.166).

É nesse contexto que a “Habitação de Interesse Social” (HIS), como mencionada anteriormente, relaciona-se ao atendimento do Déficit Habitacional que, segundo a Fundação João Pinheiro (2016), refere-se à população de baixa renda que reside em áreas urbanas não adequadas para fins residenciais; em habitações extremamente precárias; em habitações coabitadas por várias famílias e, em habitações cujo custo do aluguel é excessivamente alto em relação à renda do/a morador/a.

Já a expressão “Sustentabilidade Arquitetônica” pode ser compreendida como aquela que se expressa através de um *design* que objetiva minimizar o consumo de recursos naturais e o impacto sobre os sistemas ecológicos (Kibert 2013, Duran 2011). Segundo Corbella e Yannas (2009), o termo é entendido como uma continuidade da Bioclimática que integra o edifício à totalidade do meio ambiente, consumindo a menor quantidade de energia necessária para o conforto ambiental.

Por fim, a expressão “Avaliação do Ciclo de Vida” refere-se a todas as etapas e processos de um sistema de produtos ou serviços, englobando toda a cadeia de produção e consumo, considerando fatores como a aquisição de energia, matérias primas e produtos auxiliares; aspectos dos sistemas de transportes e logística; características da utilização, manuseio, embalagem e consumo; sobras e resíduos; e sua respectiva reciclagem ou destino final (Passuello et al. 2014, Akadiri et al. 2013, Ramesh et al. 2010, Mora 2007).

A arquitetura da HIS que leve em consideração estratégias que viabilizem a sustentabilidade da edificação contribui para melhoria do conforto ambiental da moradia, redução do impacto ambiental advindo do processo construtivo, eficiência energética, bem-estar e melhoria da qualidade de vida.

Considerando o exposto, o presente artigo objetivou realizar uma avaliação comparativa preliminar entre materiais convencionais e materiais alternativos para construção de HIS.

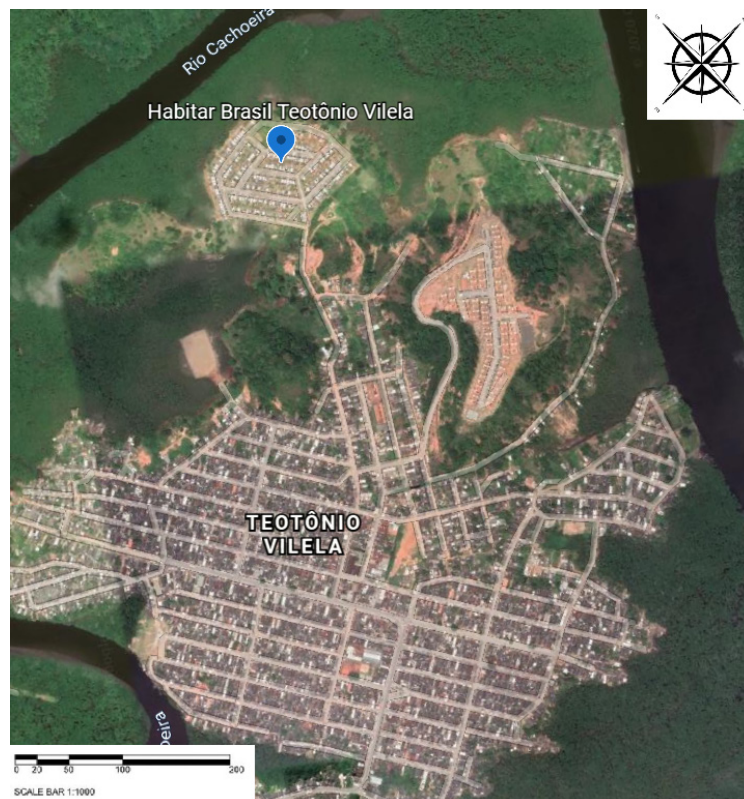
## METODOLOGIA

### *A Comunidade Estudada e o Programa Habitacional*

O Habitar Brasil (BID) é um Programa Habitacional em âmbito municipal cujo agente financeiro, técnico e operacional é a Caixa Econômica Federal. O Programa teve início em 1999, objetivando incentivar a geração de renda e melhorias habitacionais em assentamentos precários localizados em áreas de risco (Amorim Silva 2013).

O Habitar Brasil em Ilhéus, BA teve início no ano de 2004 e o empreendimento foi construído no Bairro Teotônio Vilela (Figura 1). O município de Ilhéus está situado na Região da Costa do Cacau no Estado da Bahia. O Programa Habitacional objetivou atender uma parcela da população que se enquadra na faixa de renda de 0 a 3 salários mínimos e que ocupava área de Mangue destinada à recuperação e proteção ambiental no referido município.

**Figura 1. Bairro Teotônio Vilela e o Habitar Brasil, Ilhéus BA.**



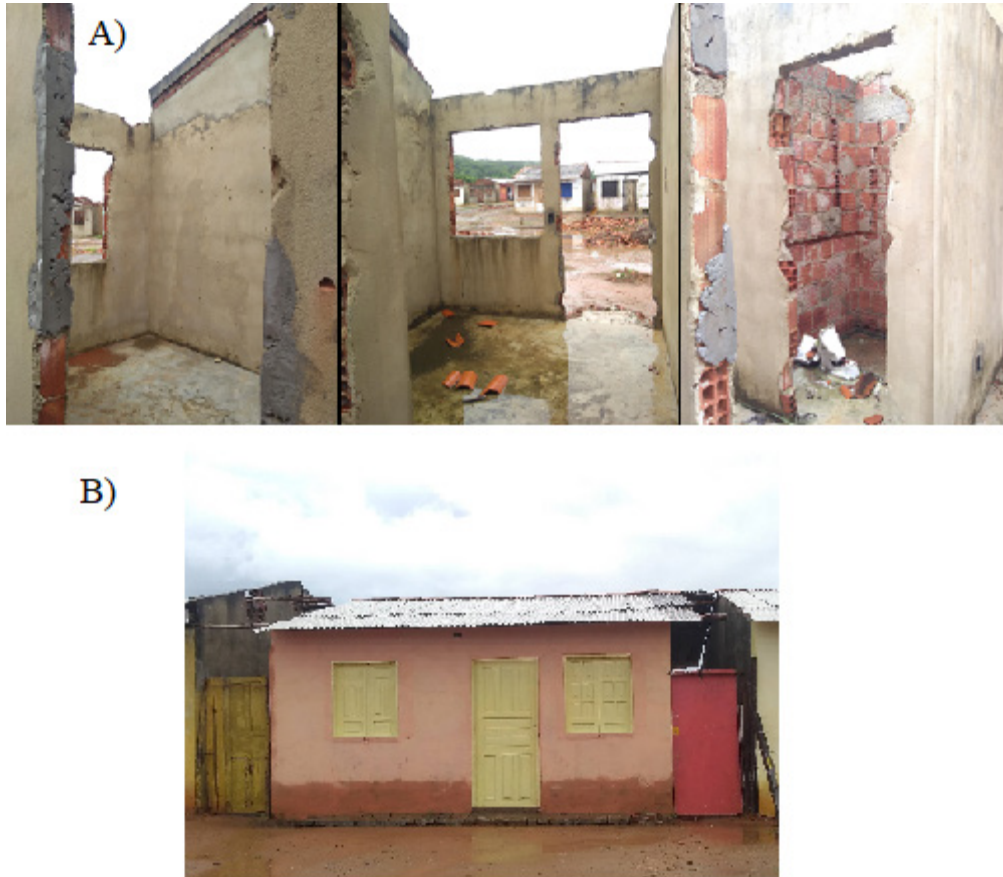
Fonte: Elaborado com base no Google Earth (2020).

Entretanto, a obra não foi totalmente concluída e parcela significativa das habitações encontra-se em processo de deterioração (Figura 2A). Há cerca de 256 edificações construídas, destas 153 estão habitadas e 103 deterioradas. Cada habitação possui área equivalente de 36,84m<sup>2</sup> e apresenta 2 quartos, 1 cozinha e 1 banheiro.

Boa parte das edificações foram ocupadas por pessoas que não necessariamente fazem parte do público alvo do Programa.

Das 153, cerca de 80 habitações ainda apresentam características construtivas do projeto original padrão do Habitar Brasil, porque foram concluídas. As 73 habitações restantes foram finalizadas por seus ocupantes e os materiais usados na cobertura e esquadrias não seguiram as especificações originais do empreendimento (Figura 2B).

**Figura 2. A) Conjunto de imagens de uma das habitações do Programa Habitar Brasil; B) Fachada frontal de uma das habitações do Programa Habitar Brasil, Ilhéus, BA, reformada por seu ocupante.**



### *Coleta de dados*

O padrão construtivo das habitações do Habitar Brasil Ilhéus, BA, conforme projeto original, tem as seguintes características gerais:

- estrutura de fundação: sapatas, vigas baldrame em concreto e contrapiso,
- estrutura de sustentação: pilares e vigas superiores em concreto,
- elementos de vedação (paredes): alvenarias de blocos cerâmicos,
- cobertura: telhas cerâmicas
- esquadrias (portas e janelas): alumínio
- acabamentos: piso cerâmico; paredes revestidas com argamassa de cimento/ areia e pintura e revestimento cerâmico até meia parede em áreas molhadas (banheiro e parede da cozinha).

Como já mencionado, a obra não foi totalmente concluída. Das 256 edificações construídas, 153 encontram-se habitadas e 103 deterioradas.

Das 153 habitações, cerca de 60% ainda apresentam cobertura com telha cerâmica e algumas esquadrias em alumínio. O restante das habitações foi concluído por seus ocupantes. Os elementos estruturais existentes (fundação, estrutura de sustentação), paredes em alvenaria e contrapiso foram preservados. Já a cobertura com telha cerâmica foi substituída por fibrocimento e as esquadrias em alumínio por esquadrias de madeira confeccionadas pelos ocupantes. O piso cerâmico foi substituído por cimento queimado.

Sendo assim, para fins da análise comparativa, optou-se pela escolha das edificações que ainda apresentavam os materiais propostos no projeto original. Já que este último segue a arquitetura padrão e construtiva do Habitar Brasil que foi replicada em outros municípios do país (Fittipaldi 2008).

A análise foi realizada por meio do Software Cambridge Engineering Selector (CES) versão 2018 com o Eco Audit, considerando as seguintes variáveis: a) pegada de CO<sub>2</sub> (produção primária); b) uso da água (produção primária); c) energia incorporada (produção primária); d) durabilidade; e) fim do ciclo de vida.

A visita de campo foi realizada para fotografia, desenhos *in loco* e levantamento cadastral da habitação entre os meses de agosto de 2018 e janeiro de 2019. Como referência para análise da edificação utilizou-se os seguintes procedimentos, conforme Kowaltowski et al. (2011):

- a) Análise da planta baixa e vistas – distribuição das janelas e portas considerando as características bioclimáticas do local;
- b) Entrelaçamento entre a edificação e o lugar – nível do solo; conexões da habitação por meio de ruas, caminhos;
- c) Caminhos e lugares – marcos visíveis;
- d) Melhoramento do terreno – edifício e terreno como um ecossistema único.

#### *Cambridge engineering selector (CES) versão 2018 com o Eco Audit*



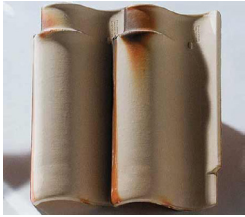



Foram selecionados para análise os materiais utilizados como elemento de vedação (paredes), cobertura (telhado) e esquadrias (portas e janelas) que constam nas especificações do projeto original do Habitar Brasil Ilhéus. Tais materiais foram analisados e comparados com materiais alternativos de predominância natural por meio do Software Cambridge Engineering Selector (CES) versão 2018 com o Eco Audit.

Considerou-se as seguintes variáveis para análise:

- a) pegada de CO<sub>2</sub> (carbono) que diz respeito à quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> emitida ao longo do ciclo de vida completo de um processo ou produto (Oliveira et al. 2014);
- b) consumo da quantidade de água durante o processo de produção do material;
- c) energia incorporada que se refere a “energia que foi usada desde as fontes primárias (extração) até o processo de manufatura e transporte ao local, assim como a energia usada no processo de fabricação/construção” (Manfredini e Sattler 2005 p.26);
- d) durabilidade/ resistência do material às intempéries (água doce, salgada, incidência solar etc.) e,
- e) degradação do material (se o material é ou não biodegradável) e fim do ciclo de vida (descarte do material).

O Quadro1 apresenta a descrição dos materiais, que constam nas especificações para construção da habitação do Habitar Brasil Ilhéus, e dos materiais alternativos selecionados para a Pesquisa.

**Quadro 1. Materiais selecionados para análise que foram especificados para a construção da habitação do Programa Habitar Brasil, Ilhéus, BA e materiais alternativos selecionados para a Pesquisa.**

Item	Descrição do material	Imagem de referência	Descrição do material	Imagem de referência
Elemento de vedação (paredes)	Alvenaria de blocos cerâmicos 10 furos 10x20x20cm, assentados com argamassa de cimento, barro e areia no traço 1:1.5.5, espessura das juntas 12mm e esp. das paredes, sem revestimento, 10 cm	 <p>Fonte: <a href="https://www.pinterest.fr/pin/237564949078556682/">https://www.pinterest.fr/pin/237564949078556682/</a></p>	Parede de bambu	 <p>Fonte: <a href="https://www.pinterest.fr/pin/397442735849548449/">https://www.pinterest.fr/pin/397442735849548449/</a></p>
Cobertura (telhado)	Telhas cerâmicas tipo capa e canal incluindo cumeeiras	 <p>Fonte: <a href="https://www.pinterest.fr/pin/141089400802586220/">https://www.pinterest.fr/pin/141089400802586220/</a></p>	Taubilha de Pequia	 <p>Fonte: <a href="https://www.pinterest.fr/pin/426364289718772724">https://www.pinterest.fr/pin/426364289718772724</a></p>
Esquadrias (janelas e portas)	Esquadria em alumínio na cor natural, tipo veneziana	 <p>Fonte: <a href="https://www.pinterest.fr/pin/458170962084663776/">https://www.pinterest.fr/pin/458170962084663776/</a></p>	Esquadria em madeira (cedro) na cor natural, com vidro translúcido 6mm.	 <p>Fonte: <a href="https://www.pinterest.fr/pin/157977899410849438">https://www.pinterest.fr/pin/157977899410849438</a></p>

Fonte: elaborado com base em Fittipaldi (2008 p.101-102), em observações *in loco* e com base no Cambridge engineering selector (2018).

Destaca-se que o Bambu, a Taubilha de Pequia e a Esquadria de Madeira tipo Cedro, foram escolhidos por se tratarem de materiais que apresentam baixo impacto ambiental não só durante o processo de fabricação, mas também como elemento construtivo - incluindo extração, tratamento, moldagem e montagem (no caso das esquadrias) -, transporte, construção, manutenção, demolição e reciclagem ou disposição final (Durante et al. 2019, Avilés et al. 2019). Além disso, segundo Costa (2019), tais materiais são abundantes na área de abrangência da Pesquisa e apresentam técnica construtiva conhecida para treinamento de novos facilitadores em caso de processo de construção que envolve autogestão (mutirões); que é o contexto no qual, atualmente, se encontram as habitações do Habitar Brasil Ilhéus.

Pontua-se que foi realizada consulta quanto ao custo de cada material. Para a cotação do tijolo cerâmico, telha cerâmica, esquadria em alumínio e esquadria de madeira em cedro foi utilizada a base orçamentária SINAPI de maio de 2020 (publicada em junho). Considerou-se as seguintes especificações:

a) Tijolo cerâmico 10x20x20cm.

b) Telha cerâmica, não esmaltada, tipo colonial, canal, plan, comprimento de 44 a 50 cm, rendimento de cobertura de 26 telhas/m<sup>2</sup>.

c) Esquadria de alumínio (dimensões: 1,00 X 1,20m) de correr, 2 folhas para vidros, com vidros, batente, acabamento com acetado ou brilhante e ferragens, incluindo alizar, contramarco e fornecimento.

d) Janela de abrir em madeira imbuia/cedro arana/cedro rosa ou equivalente da região, caixa do batente/marco 10cm, 2 folhas de abrir tipo veneziana e 2 folhas de abrir para vidro, com guarnicao/alizar, com ferragens, (sem vidro e sem acabamento).

O bambu foi cotado na região de abrangência da área de estudo entre os meses de novembro de 2019 e janeiro de 2020, uma vez que o referido material não apresenta cotação em bases orçamentárias tais como SINAPI e ORSE.

O procedimento para cotação envolveu a visita à cinco fazendas produtoras entre os municípios de Itacaré e Una, BA. Considerou-se paredes confeccionadas com painéis de bambu (diâmetro nº 4) de 1m<sup>2</sup>. O mesmo procedimento foi realizado para determinar o custo estimado de 1m<sup>2</sup> de taubilhas de Pequira para uso em cobertura de edificações.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Características dos materiais selecionados para a pesquisa (elemento de vedação, cobertura e esquadrias)*

A sustentabilidade ambiental de uma habitação está diretamente associada ao uso de estratégias bioclimáticas ativas e passivas durante o processo projetual (Ribeiro e Ribeiro 2018). Tais estratégias possibilitam a melhoria do conforto higrotérmico com menor dispêndio de energia, viabilizando a eficiência energética (Corbella e Corner 2011). Dentre as estratégias bioclimáticas ativas está a escolha de materiais que reduzem o impacto ambiental do processo construtivo.

Sendo assim, os materiais escolhidos como alternativa aos materiais que foram especificados para construção da habitação do Programa Habitar Brasil, Ilhéus, BA, foram selecionados por apresentarem níveis menores de energia incorporada, pegada de CO<sub>2</sub> e consumo de água durante o processo de produção primária.

A Tabela 1 apresenta a síntese das informações referentes aos materiais selecionados para a Pesquisa que foram originalmente especificados para construção da habitação: tijolo cerâmico, telha cerâmica e esquadrias de alumínio.

**Tabela 1. Síntese das informações referentes aos materiais selecionados para a Pesquisa, originalmente usados para construção da habitação do Habitar Brasil, Ilhéus, BA.**

Material	Composição	Energia incorporada (produção primária)	Pegada de CO <sub>2</sub> (produção primária)	Consumo de água (produção primária)	Durabilidade	Fim de vida	
Tijolo cerâmico	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (alumina) 58-78%	Varia de 2,86 a 3,15 MJ/Kg	Varia de 0,229 a 0,252 Kg/Kg	Varia de 5,27 a 5,83 L/Kg	Água doce	Excelente	Apresenta <i>Downcycle</i>
					Água salgada	Excelente	
	Ácidos fracos				Aceitável	Não é combustível para recuperação de energia	
	Ácidos fortes				Não aceitável		
	Solventes Orgânicos				Excelente		
	SiO <sub>2</sub> (sílica) 23-33%				Álcalis forte	Não aceitável	Descarte em aterro
					Álcalis fraco	Aceitável	
Oxidação a 500 C		Excelente					
					Raio ultravioleta	Excelente	
					Inflamável	Não inflamável	Não é biodegradável

Material	Composição	Energia incorporada (produção primária)	Pegada de CO <sub>2</sub> (produção primária)	Consumo de água (produção primária)	Durabilidade	Fim de vida	
<b>Telha cerâmica</b>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (alumina) 63%	Varia de 13 a 14,4 MJ/Kg	Varia de 1,82 a 2,01 Kg/Kg	Varia de 5,27 a 5,83 L/Kg	Água doce	Excelente	
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (óxido de ferro) 0,27%				Água salgada	Excelente	Apresenta <i>Downcycle</i>
	K <sub>2</sub> O (óxido de potássio) 0,027%				Ácidos fracos	Aceitável	Não é combustível para recuperação de energia
	MgO (magnésio) 0,016%				Solventes Orgânicos	Excelente	
	SiO <sub>2</sub> (sílica) 36,7%				Ácidos fortes	Não aceitável	
					Álcalis forte	Não aceitável	
		Álcalis fraco	Aceitável	Descarte em aterro			
		Oxidação a 500 C	Excelente				
		Raio ultravioleta	Excelente	Não é biodegradável			
		Inflamável	Não inflamável				

Material	Composição	Energia incorporada (produção primária)	Pegada de CO <sub>2</sub> (produção primária)	Consumo de água (produção primária)	Durabilidade	Fim de vida	
<b>Esquadria em alumínio</b>	Al (alumínio) 97,5 a 99,4%	Varia de 190 a 210 MJ/Kg	Varia de 12,5 a 13,8 Kg/Kg	Varia de 1,14 a 1,26 L/Kg	Água doce	Excelente	
	Cr (Cromo) 0,1%				Água salgada	Aceitável	
	Cu (Cobre) 0,1%				Ácidos fracos	Excelente	Pegada de CO <sub>2</sub> varia de 2,54 a 2,81 Kg/Kg
	Fe (Ferro) 0,35%				Ácidos fortes	Excelente	Apresenta <i>Downcycle</i>
	Mg (Magnésio) 0,45 a 0,90%				Solventes Orgânicos	Excelente	Não é combustível para recuperação de energia
	Mn (Manganês) 0,1%				Álcalis forte	Inaceitável	
	Si (Silício) 02 a 0,6%				Álcalis fraco	Aceitável	Descarte em aterro
	Ti (Titânio) 0,1%				Oxidação a 500 C	Inaceitável	Não é biodegradável
Zn (Zinco) 0,1%	Raio ultravioleta	Excelente					
	Inflamável	Não inflamável					

Fonte: informações obtidas através do Cambridge Engineering Selector (CES), 2018.

Quanto ao custo do material, de acordo com a base orçamentária SINAPI (relatório de insumos e composições/ maio de 2020) o custo do tijolo cerâmico fica em torno de R\$11,32/m<sup>2</sup>. A telha cerâmica, não esmaltada, tipo



colonial, canal, plan, comprimento de 44 a 50 cm, rendimento de cobertura de 26 telhas/m<sup>2</sup>, apresenta estimativa da ordem de R\$625,00 o milheiro. E a esquadria de alumínio (dimensões: 1,00 X 1,20m) de correr, 2 folhas para vidros, com vidros, batente, acabamento com acetado ou brilhante e ferragens, incluindo alizar, contramarco e fornecimento custa em torno de R\$150,20/m<sup>2</sup>.

A Tabela 2 apresenta a síntese das informações referentes aos materiais alternativos para a construção da habitação escolhida para análise: Bambu, taubilha de Pequia e esquadrias em madeira (Cedro).

**Tabela 2. Síntese das informações referentes aos materiais alternativos selecionados através do Cambridge Engineering Selector (CES), 2018.**

Material	Composição	Energia incorporada (produção primária)	Pegada de CO <sub>2</sub> (produção primária)	Consumo de água (produção primária)	Durabilidade	Fim de vida	
<b>Bambu</b>	Celulose/ Hemicelulose/ Lignina/ 12%H <sub>2</sub> O  Família do material (Natural)  Material Base (Madeira)  Conteúdo renovável (100%)	Varia de 0,0143 a 0,0158 MJ/Kg	Varia de 0,00194 a 0,0021 Kg/Kg	Varia de 665 a 735 L/Kg	Água doce	Uso limitado	Apresenta <i>Downcycle</i>
					Água salgada	Uso limitado	Descarte em aterro
					Ácidos fracos	Uso limitado	
					Ácidos fortes	Inaceitável	É combustível para recuperação de energia
					Solventes Orgânicos	Excelente	
					Álcalis forte	Inaceitável	
					Álcalis fraco	Aceitável	CO <sub>2</sub> de combustão varia de 1,69 a 1,78 Kg/Kg
Oxidação a 500 C	Inaceitável						
Raio ultravioleta	Bom						
Inflamável	Altamente inflamável	É biodegradável					
Material	Composição	Energia incorporada (produção primária)	Pegada de CO <sub>2</sub> (produção primária)	Consumo de água (produção primária)	Durabilidade	Fim de vida	
<b>Taubilha de Pequia</b>	Celulose/ Hemicelulose/ Lignina/ 12%H <sub>2</sub> O  Família do material (Natural)  Material Base (Madeira)  Conteúdo renovável (100%)	Varia de 11,6 a 12,8 MJ/Kg	Varia de 0,574 a 0,633 Kg/Kg	Varia de 665 a 735 L/Kg	Água doce	Uso limitado	Apresenta <i>downcycle</i>
					Água salgada	Uso limitado	Descarte em aterro
					Ácidos fracos	Uso limitado	
					Ácidos fortes	Inaceitável	É combustível para recuperação de energia
					Solventes Orgânicos	Excelente	
					Álcalis forte	Inaceitável	Calor de combustível varia de 19,8 a 21,3 MJ/Kg
					Álcalis fraco	Aceitável	
Oxidação a 500 C	Inaceitável	CO <sub>2</sub> de combustão varia de 1,69 a 1,78 Kg/Kg					
Raio ultravioleta	Bom						
Inflamável	Altamente inflamável	É biodegradável					

Material	Composição	Energia incorporada (produção primária)	Pegada de CO <sub>2</sub> (produção primária)	Consumo de água (produção primária)	Durabilidade	Fim de vida	
<b>Esquadria em madeira (cedro)</b>	Celulose/ Hemicelulose/ Lignina/ 12%H <sub>2</sub> O  Família do material (Natural)  Material Base (Madeira tropical)  Conteúdo renovável (100%)	Varia de 11,6 a 12,8 MJ/Kg	Varia de 0,574 a 0,633 Kg/Kg	Varia de 665 a 735 L/Kg	Água doce	Uso limitado	Apresenta <i>downcycle</i>
					Água salgada	Uso limitado	Descarte em aterro
					Ácidos fracos	Uso limitado	É combustível para recuperação de energia
					Ácidos fortes	Inaceitável	
					Solventes Orgânicos	Aceitável	
					Álcalis forte	Aceitável	Calor de combustível varia de 19,8 a 21,3 MJ/Kg
					Álcalis fraco	Inaceitável	
					Oxidação a 500 C	Inaceitável	CO <sub>2</sub> de combustão varia de 1,69 a 1,78 Kg/Kg
					Raio ultravioleta	Boa	
					Inflamável	Altamente Inflamável	É biodegradável

Fonte: informações obtidas através do Cambridge Engineering Selector (CES), 2018.

Quanto ao custo do material, a dúzia do bambu n° 4 (para montar o painel de parede) varia de R\$20,00 a R\$45,00. Considerando que 1m<sup>2</sup> equivale a cerca de duas dúzias de Bambu, o valor do m<sup>2</sup> poderá variar entre R\$40,00 e R\$90,00. Já o custo estimado de 1m<sup>2</sup> de taubilhas de Pequia para uso em cobertura de edificações apresenta estimativa de preço/m<sup>2</sup> variando de R\$50,00 a R\$65,00.

No que se refere à esquadria em madeira de cedro, de acordo com a base orçamentária SINAPI (relatório de insumos e composições/ maio de 2020), a janela de abrir em madeira imbuia/cedro arana/cedro rosa ou equivalente da região, caixa do batente/marco 10cm, 2 folhas de abrir tipo veneziana e 2 folhas de abrir para vidro, com guarnição/alizar, com ferragens, (sem vidro e sem acabamento) custa em torno de R\$ 548,50/m<sup>2</sup>.

## ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MATERIAIS

*Elemento de vedação (parede): Tijolo Cerâmico x Bambu*

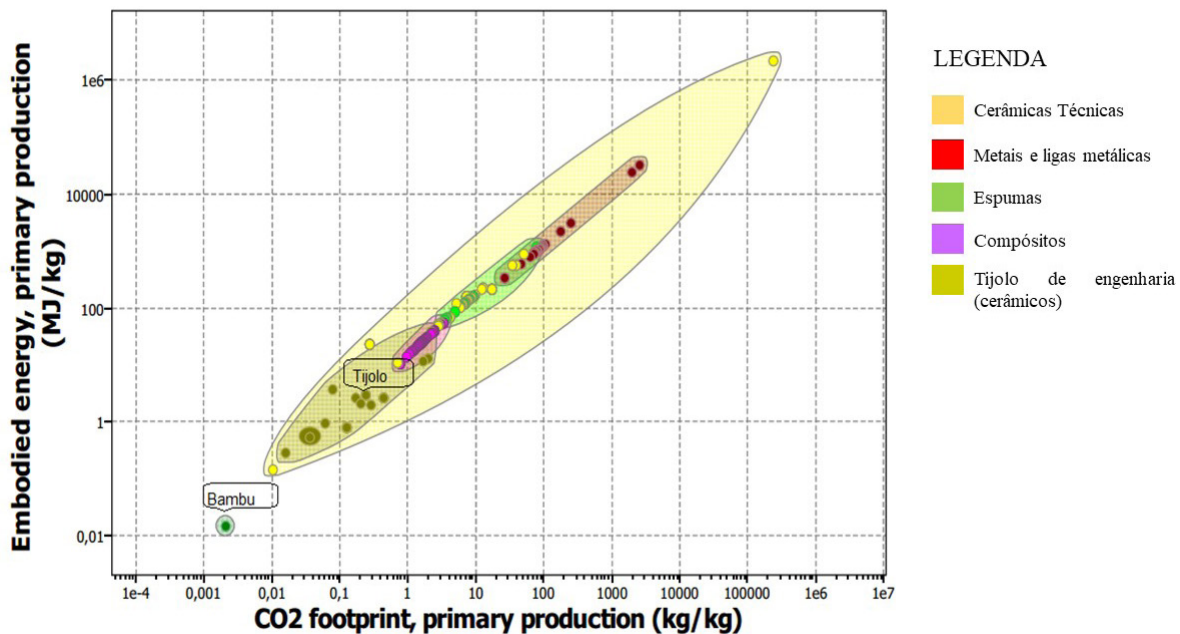
Comparando as composições e características físico-químicas do Bambu com o Tijolo Cerâmico, observou-se que o primeiro é um material natural e 100% renovável. Quanto à durabilidade, o Bambu é menos resistente em relação ao Tijolo Cerâmico, este último apresenta excelente resistência à água doce e salgada, solventes orgânicos, oxidação e à incidência de raios ultravioletas. Entretanto, o Bambu pode ser queimado para fornecer energia e também é biodegradável. O Bambu consome consideravelmente maior quantidade de água (durante o processo de produção primária) em relação ao Tijolo Cerâmico. O quantitativo varia de aproximadamente 665 a 735 L/kg, enquanto que o Tijolo Cerâmico apresenta quantitativos da ordem de 5,27 a 5,83 L/kg. Essa diferença

ocorre porque o Bambu consome água durante o ciclo de vida, mas essa água retorna ao meio ambiente sem causar danos ao mesmo.

No que se refere a energia incorporada e a pegada de CO<sub>2</sub> de produção primária, constatou-se que o Bambu apresenta índices consideravelmente inferiores tanto em relação ao Tijolo Cerâmico quanto em relação a diversos outros materiais. A Figura 3 apresenta o gráfico de dispersão de materiais, lavando-se em consideração o Tijolo Cerâmico e o Bambu, no quesito energia incorporada e pegada de CO<sub>2</sub>.

Além disso, o Bambu está disponível em várias regiões do Brasil (incluindo a região da Costa do Cacaú), e como painel de vedação (parede) em Habitações de Interesse Social, proporciona melhor conforto higrotérmico em relação ao Tijolo Cerâmico e condições satisfatórias de habitabilidade (Barbosa et al. 2008, Teixeira 2006).

Figura 3. Gráfico de dispersão dos materiais (fibras naturais e cerâmicos) – tijolo cerâmico e bambu.



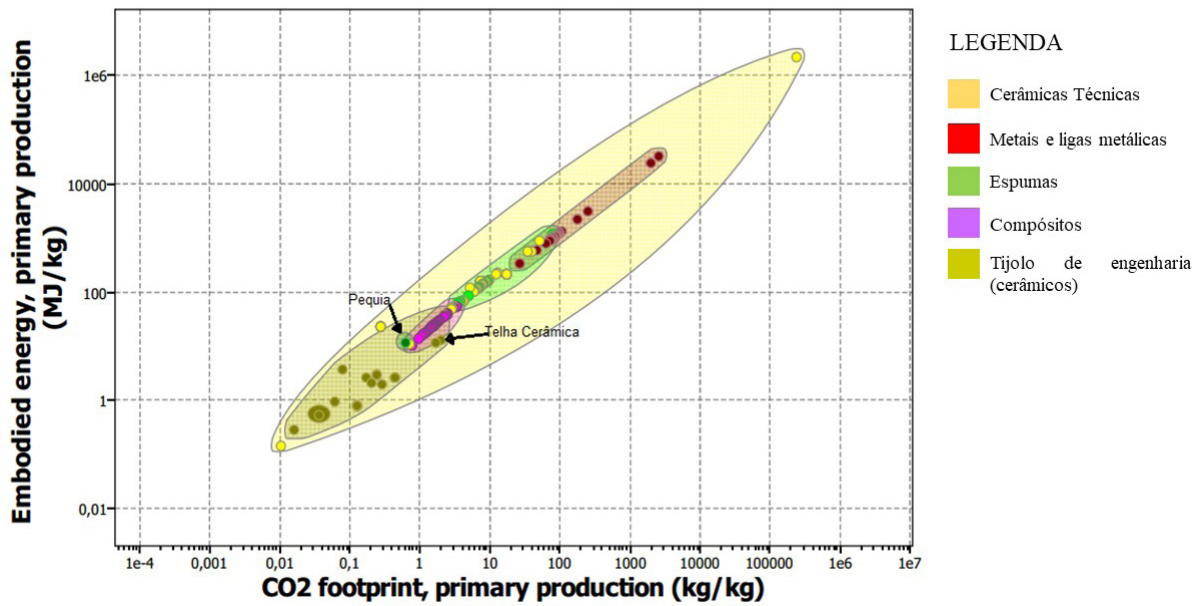
#### *Elemento de cobertura: Telha cerâmica x Taubilha de Pequia*

Comparando as composições e características físico-químicas da Taubilha de Pequia com a Telha Cerâmica, observou-se que assim como o Bambu a Taubilha é um material 100% natural, biodegradável e pode ser queimada para fornecer energia.

A Taubilha consome consideravelmente uma maior quantidade de água em relação à telha cerâmica. Cerca de 665 a 735 L/kg (produção primária) e a telha cerâmica aproximadamente de 5,27 a 5,83 L/kg. Isso acontece porque a Pequia consome água durante todo seu ciclo de vida.

Ao analisar a energia incorporada e pegada de CO<sub>2</sub> de produção primária. A Figura 4 apresenta o gráfico de dispersão dos materiais, levando-se em consideração a telha cerâmica e a Pequia para taubilha, no quesito de energia incorporada e pegada de CO<sub>2</sub>, verificou-se que ambos materiais têm valores próximos quanto a energia incorporada. Todavia, a Taubilha apresenta pegada de CO<sub>2</sub> (na produção primária) variando entre 0,574 e 0,633 kg/kg, enquanto que a telha cerâmica apresenta variação entre 1,82 e 2,01 kg/kg.

Figura 4. Gráfico de dispersão dos materiais (fibras naturais e cerâmicos) - telha cerâmica e a Pequia.



Segundo Durante et al. (2019 p.42) a fabricação das telhas cerâmicas envolve a queima, extrusão ou galvanização, caracterizando-as como materiais de elevado impacto ambiental, com elevada energia incorporada.

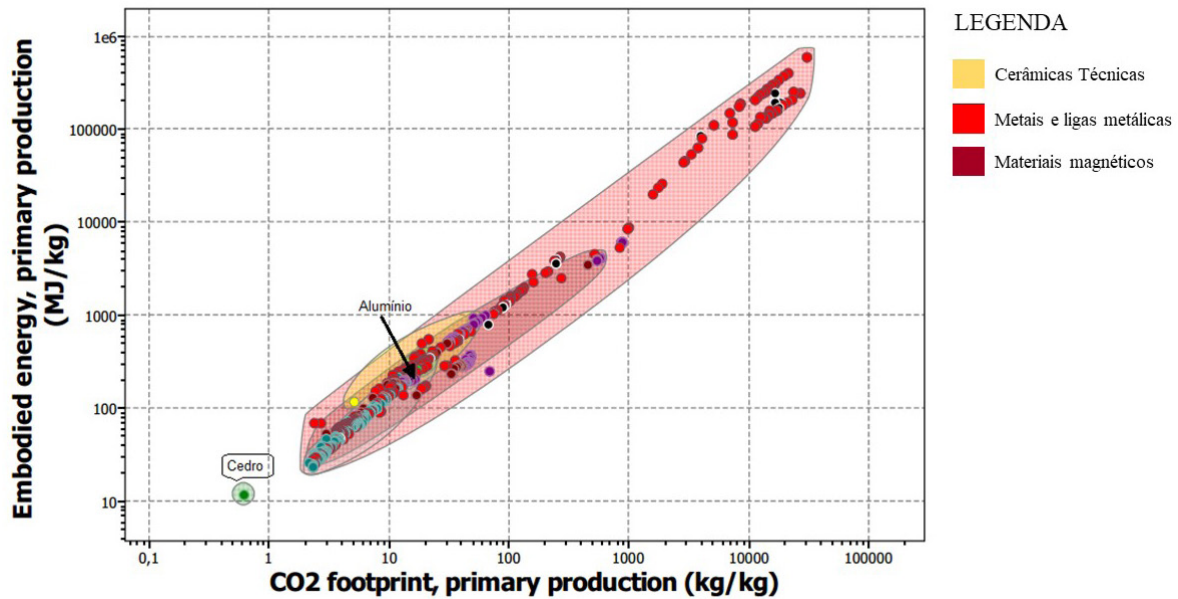
Já a Taubilha de madeira além de apresentar pegada de CO<sub>2</sub> (na produção primária) menor em relação à telha cerâmica e em relação a outros materiais comumente usados em coberturas (tais como fibrocimento, zinco ou alumínio), viabiliza excelente isolamento térmico e manutenção do conforto higrotérmico da habitação em localidades de clima quente e/ou frio (Alves 2018).

Esquadrias: Alumínio x Cedro (madeira)

Ao comparar as composições e características físico-químicas entre o alumínio e o cedro observou-se que a madeira, por ser um material natural, é biodegradável e pode ser incorporado para produzir energia.

O alumínio consome cerca de 1.140 a 1.260 L/kg de água e a madeira cerca de 665 a 735 L/kg. O fato do alumínio consumir maior quantidade de água, durante a produção primária, mostra o alto grau de impacto que esse material causa ao meio ambiente, pois a madeira consome água durante o tempo de vida da árvore, sendo assim, boa parte desse consumo retorna ao meio ambiente sem causar dano algum, diferente do alumínio. Quanto a energia incorporada e pegada de CO<sub>2</sub> de produção primária, constatou-se que o cedro apresenta baixos índices em relação aos metais e não metais como o alumínio. A Figura 5 apresenta o gráfico de dispersão de materiais dos metais e não metais, alumínio e em relação a madeira Cedro, no quesito de energia incorporada e pegada de CO<sub>2</sub>.

Figura 5. Gráfico de dispersão dos metais e não metais - alumínio e madeira.



De acordo com Fernandes (2004) as esquadrias em madeira são confeccionadas com matéria prima sustentável, já que pode ser cultivada (reflorestamento), é altamente biodegradável, e envolve um processo de secagem natural que gera economia de energia elétrica. Além disso, os produtos químicos e de tratamento superficial de proteção são menos impactantes ao meio ambiente, o que contribui para agregar valor ecológico ao produto.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As Habitações de Interesse Social (HIS) vem sendo construídas objetivando sanar o déficit habitacional quantitativo. Entretanto, os empreendimentos quando concluídos e entregues à população demandante, seguem projetos arquitetônicos padrão que não contemplam estratégias mínimas de sustentabilidade arquitetônica. Também não há aplicação dos resultados de estudos relacionados às tecnologias que reduzem o impacto ambiental advindo do processo construtivo e de estudos referentes à avaliação de ciclo de vida de materiais.

As habitações do Programa Habitar Brasil, localizadas no bairro Teotônio Vilela, Ilhéus-BA, são um exemplo de empreendimento de Habitação de Interesse Social não concluído. Cerca de 40% das habitações encontram-se inacabadas e em processo de deterioração. Parte das habitações ocupadas foram reformadas pelos moradores que não necessariamente fazem parte do público alvo primário do empreendimento.

Com a realização da análise comparativa durante a pesquisa, constatou-se que os materiais alternativos possuem características sustentáveis do ponto de vista ambiental, pois apresentam energia incorporada de produção primária, pegada de CO<sub>2</sub>, bem como consumo de água consideravelmente inferiores aos materiais que foram especificados para a construção da habitação do Habitar Brasil, Ilhéus, BA.

No que tange a estimativa de custos, verificou-se que o Bambu apresenta custo/ m<sup>2</sup> maior do que o Tijolo Cerâmico, porém o Bambu é abundante na área de abrangência da Pesquisa e pode ser cultivado pela própria comunidade. O mesmo ocorre em relação à Taubilha de Pequia e a telha cerâmica, a primeira apresenta custo/m<sup>2</sup> maior do que a segunda. Todavia, a Pequia pode ser substituída pelo Eucalipto tratado, madeira que apresenta custo mais acessível para ser empregada em Habitações de Interesse Social e que vem sendo cultivada em abundância nas proximidades do município de Eunápolis, BA que dista cerca de 200km de Ilhéus.

Quanto à esquadria de alumínio, verificou-se que o custo/ m<sup>2</sup> é inferior ao custo da esquadria de madeira (Cedro). Entretanto, o alumínio consome maior quantidade de água e apresenta alta energia incorporada de produção primária e pedaga de CO<sub>2</sub>, provocando impactos negativos consideráveis ao meio ambiente.

Em suma, os materiais alternativos são naturais, constituem matéria prima advinda de plantas tropicais; podem ser cultivados (reflorestamento); apresentam propriedades físico-químicas semelhantes, consomem quantidade de água similar em função de seu ciclo de vida e são biodegradáveis. Dessa forma, a utilização desses materiais implicaria numa redução considerável do impacto ambiental do processo construtivo da habitação.

## AGRADECIMENTOS

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Instituição de fomento da Pesquisa intitulada: “Habitações de Interesse Social e Sustentabilidade: estudos de tipologias arquitetônicas, eficiência energética e avaliação do ciclo de vida dos materiais” contemplado no Edital Universal. Processo: 402387/2016-3.

## REFERÊNCIAS

Akadiri PO, Olomolaiye PO, Chinyio EA. 2013. Multi-criteria evaluation model for the selection of sustainable materials for building projects. **Automation in Construction**, 30: 113 - 125.

Alves J. 2018. Habitação popular em madeira: avaliação pós-ocupação na cidade de Rio Branco. **Revista Amazônia Moderna, Palmas**, 1 (2): 72-85.

Amorim Silva F de O. 2013. PROGRAMA HABITAR BRASIL BID: sua trajetória na cidade de Cuiabá. VI Jornada Internacional de Políticas Públicas. **Anais do VI Jornada Internacional de Políticas Públicas**, 1-10. Disponível: <http://www.joinpp.ufma.br/jornadas/joinpp2013/JornadaEixo2013/anais-eixo13-questaurbanaegestaodascidades/oprogramahabitarbrasilbid-suatrajetorianacidadedecuiaba.pdf>. Acesso em jan. 2019.

Avilés HEM, Bustamante EMM, Del Salto JMR. 2019. Potencial económico de los cañaverales de bambú de la zona 5 del Ecuador en el comercio de emisiones. **Universidad y Sociedad**, 11 (2): 377-386

Barbosa A da S. 2008. Avaliação do uso do Bambu como material alternativo para execução de habitação de interesse social. **Ambiente Construído**, 8 (1): 115-129.

Carlos AFA. 2007. **O lugar no/do mundo**. São Paulo: FFLCH.

Cardoso LA, Vagheti MAO. 2012. O. Habitação popular sustentável: sustentabilidade econômica e ambiental. **Revista de Arquitetura da IMED**, 1 (2):133-140.

Corbella O, Corner V. 2011. **Manual de Arquitetura Bioclimática Tropical para redução do consumo energético**. Rio de Janeiro: Editora Revan.

Corbella O, Yannas S. 2009. **Em busca de uma Arquitetura Sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Editora Revan.

Costa SK. 2019. Sustentabilidade do processo construtivo habitacional vernacular na aldeia Indígena Itapoã Tupinambá de Olivença/BA/Brasil. **Revista Iberoamericana de Ciências Ambientais**, 10 (1): 65-76. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2019.001.0006

Duran SC. 2011. **Architecture and Energy Efficiency**. Barcelona: FKG.

Durante LC, Alencar SG, Venere PC, Callejas IJA, Rabelo O da S, Rossetti K de AC. 2019. Coberturas ecológicas para aplicação em moradias dos assentamentos da reforma agrária: alternativas deecoinovação. **E&S - Engineering and Science**, 1: 41-61. DOI: <http://dx.doi.org/10.18607/ES201988148>

Fernandes AG. 2004. **Esquadrias residenciais em madeira**: contextualização de variáveis para otimização de projetos. 181fl. Dissertação (Mestrado em Engenharia modalidade profissionalizante) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

Fittipaldi M. 2008. **Habitação Social e arquitetura sustentável em Ilhéus/BA, Ilhéus/BA**. 159fl. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) - Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA.

Fundação João Pinheiro. 2016. **Déficit habitacional no Brasil**: municípios selecionados e microrregiões geográficas. Brasília: Ministério das Cidades/Secretaria Nacional de Habitação.

Kibert CJ. 2013. **Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery**. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.

Kowaltowski DCC, Moreira D de C, Petreche JRD, Fabrício MM. 2011. **O processo de projeto em arquitetura**: da teoria à tecnologia. São Paulo: Oficina de Textos.

Manfredini C, Sattler MA. 2005. Estimativa da energia incorporada a materiais de cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul. **Ambiente Construído**, 5 (1): 23-37.

Mora EP. 2007. Life cycle, sustainability and the transcendent quality of building materials. **Building and Environment**, 42: 1329 - 1334.

Oliveira VCHC, Damineli BL, Agopyan V, John VM. 2014. Estratégias para a minimização da emissão de CO<sub>2</sub> de concretos. **Ambiente Construído**, 14 (4): 167-181.

Passuello ACB, Oliveira AF de; Costa EB da, Kirchheim AP. 2014. Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de clínqueres alternativos. **Ambiente Construído**, 14 (4): 7-20.

Ramesh T, Prakash R, Shukla KK. 2010. Life cycle energy analysis of buildings: an overview. **Energy and Buildings**, 42: 1592-1600.

Ribeiro MGS, Ribeiro RA de S. 2018. Casa sustentável modular para a Amazônia. **Inc. Soc**, 12 (1): 128-133.

Santos RL dos, Santana JCS. 2017. Materiais de construção sustentáveis em empreendimentos de habitação de interesse social financiados pelo PMCMV. **Mix Sustentável**, 3 (3): 49-58.

Teixeira AA. 2006. **Painéis de Bambu para habitações econômicas**: avaliação do desempenho de painéis revestidos com argamassa. 204fl. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Distrito Federal.

Valença MM. 2003. Habitação: notas sobre a natureza de uma mercadoria peculiar. **Cad. Metrop.**, 9: 165-171.