

CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO DE MADEIRA PARA EXECUÇÃO DE SISTEMA ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO

CHARACTERIZATION OF WOOD CONSUMPTION FOR CONSTRUCTION OF A STRUCTURAL SYSTEM IN REINFORCED CONCRETE

CÁSSIO GOMES DE OLIVEIRA | UNILA

ERIK SOUTO DE MORAES | UNILA

LUANA CAROLINE ORLANDINI, MA. | UFPR/UNIOESTE

EDNA POSSAN, DRA. | UNILA

KATIA REGINA GARCIA PUNHAGUI, DRA. | UNILA

RESUMO

No Brasil observa-se a subutilização e ciclo de vida reduzido da madeira que é empregada na execução de sistemas estruturais em concreto armado moldados in loco. Por não se tratar do material que caracteriza a técnica construtiva, o perfil de consumo da madeira é discutível pela literatura que apresenta escassez de dados. Neste contexto, o objetivo desta pesquisa é analisar o consumo de madeira associado à execução de obras térreas residenciais em concreto armado moldado in loco com vedação em alvenaria, avaliando também a geração e destinação final do resíduo. Para isto, empregou-se pesquisa quali-quantitativa com abordagens teórica e prática. A análise teórica consistiu na caracterização do estoque habitacional brasileiro, levantamento de plantas com tipologia representativa e quantificação da madeira empregada em fôrmas de concretagem. A análise prática considerou estudos de caso na cidade de Foz do Iguaçu-PR e levantou informações por meio de entrevistas com responsáveis técnicos e consultas a documentos das construções. Os resultados indicam que 100 m² de obra residencial com sistema estrutural em concreto armado moldado in loco consome de 4,2 a 7,6 m³ de madeira (0,042 e 0,076 m³/m²), sendo 100% desta madeira convertida em resíduos dispostos em aterro, caracterizando um uso temporário do material.

PALAVRAS CHAVE: Madeira; Sistemas Convencionais; Fluxo Material; Resíduos; Processo Construtivo.

ABSTRACT

There is an underutilization and reduced life cycle of the wood used in the Brazilian conventional construction system, made of masonry, and cast in place reinforced concrete. As it is not the main material that characterizes the construction technique, the literature discusses its consumption profile, which presents a lack of data. Thus, this research aims to analyze the consumption of wood associated with the execution of residential one-story works in cast in place reinforced concrete with sealing in masonry, also evaluating the generation and destination of the residue. For this, we used hybrid research (qualitative and quantitative) with theoretical and practical approaches. The theoretical analysis consisted of the characterization of the Brazilian housing stock, a survey of plants with representative typology, and quantification of the wood used in concrete formwork. The practical analysis considered case studies in Foz do Iguaçu-PR and collected information through interviews with technicians in charge and consultation of construction documents. The results indicate that 100 m² of residential construction with a structural system of reinforced concrete consumes from 4.2 to 7.6 m³ of wood (0.042 and 0.076 m³/m²), with 100% of this wood converted into waste disposed of in landfills, featuring temporary use of the material.

KEY WORDS: Wood; Masonry; Material Flow; Waste; Construction.



1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material de construção renovável, reciclável, biodegradável (ZUBIZARRETA et al., 2019), capaz de capturar CO₂ da atmosfera e estocar o carbono temporariamente durante seu ciclo de vida (BRUNET-NAVARRO; JOCHHEIM; MUYS, 2016). Estas características têm sido consideradas por países que buscam mitigar emissões de gases de efeito estufa no setor da construção, como é o caso da Suécia, França, Reino Unido, Japão, África do Sul, Argentina, Canadá e Estados Unidos que têm incentivado o uso da madeira como material permanente em edificações (ROVARIS, 2019).

O Brasil, embora seja um dos maiores produtores mundiais de madeira, com produtividade de 34 m³/ha (média - floresta nativa) (IBA, 2020) e 31 – 35 m³/ha (pinus e eucalipto respectivamente - florestas plantadas) (IBA, 2019), apresenta baixo consumo per capita de madeira serrada e aplacados (0,08 m³) em comparação a países com mesmo porte como Canadá (0,67 m³), Estados Unidos (0,56 m³) China (0,22 m³) e Rússia (0,19 m³). A maior parte do volume de madeira nacional (53,5% de um total de 265,4 milhões de metros cúbicos consumidos em 2019) é destinada ao uso industrial, a exemplo das toras para serrar e folhear, madeira para trituração, outras toras industriais, aparas e partículas e resíduos de madeira (FAO, 2021). O consumo de madeira serrada e aplacada pelo setor da construção responde apenas por 6,4% (volume) de todo o consumo de madeira do país (FAO, 2021).

Ainda que a madeira possua variada aplicabilidade no setor como material de construção (ABEYSUNDRA et al., 2007; BUKAUSKAS et al., 2019; ORLOWSKI, 2020; STEFFENS; STEFFENS; OLIVEIRA, 2017) com potencial de uso em sistemas estruturais, vedação, pisos, revestimento, acabamentos e até na decoração, no Brasil segundo o IBGE, (2020a), apenas 6,6% do estoque habitacional possui envoltória em madeira, com decréscimo desde a década de 1970 (PUNHAGUI, 2014). Pode-se dizer que na indústria da construção a madeira possui emprego de fim transitório/provisório ou permanente. Entende-se como madeira de uso transitório (ou temporário) aquela que é empregada para subsidiar uma técnica construtiva e/ou elementos de poio à execução de uma construção (escoras, tapumes, depósitos, etc.), não sendo incorporada à edificação ao final do processo. A madeira de uso permanente é aquela que ao final da construção permanece incorporada à edificação ou foi especificada e instalada com alguma funcionalidade (estrutural, vedação, esquadrias, pisos, cobertura, etc.), devendo atender os períodos de vida útil definidos na NBR 15575 (ABNT, 2013), se empregadas em edificações habitacionais.

Atualmente, no Brasil, a maior parte de Domicílios Particulares Permanentes – DPP são casas (88,3%) que, em geral, possuem envoltória em alvenaria (95,2%) e sistema estrutural em concreto armado moldado in loco (IBGE, 2020a; IBGE, 2021). Neste método construtivo a

madeira é empregada em fins transitórios de apoio à construção, para produtos que se restringem ao beneficiamento primário do recurso natural (madeira serrada e em toras), com reduzido valor agregado (JAILLON; POON; CHIANG, 2009; KERN et al., 2018), prevalecendo a aplicação em sistemas de fôrmas, andaimes, escoramentos etc. (ZENID, 2009; ARAUJO, 2018; KERN et al., 2018). De modo permanente, a madeira, majoritariamente, é empregada em sistema de cobertura para apoio de telhas (81,2% das casas) (IBGE, 2020b), esquadrias e pisos (ZENID, 2009).

No estado de São Paulo (ano de 2001), as principais aplicações da madeira nativa na construção civil foram: estrutura de cobertura de casas (48%); fôrmas e andaimes (28%); forros, pisos e esquadrias (11%); e casas pré-fabricadas (3%). De toda madeira plantada consumida no Brasil em 2019 (210,3 milhões de m³), menos de 13% poderia ter destinação para o setor da construção (4,9% piso laminado; 4,7% madeira serrada; 3,3% painéis geralmente usados em mobiliário) (IBA, 2020). Para edifícios verticais, 80% da madeira consumida na cidade de São Paulo foram para fins provisórios e 20% em fins permanentes (SOBRAL, 2002). Em edifícios, a geração de resíduos de madeira pode variar de 12 a 21 kg/m²ac (BORJA et al., 2018). A intensidade da produção destes resíduos está relacionada ao número de pavimentos, intensidade de concretagem in loco e do uso de equipamentos de segurança em madeira (KERN et al., 2018). Para construções do tipo casas, estudos com abordagem teórica (baseados em plantas/projetos e área de forma, sem considerar notas fiscais ou medidas no local.), estimaram o uso da madeira de modo provisório de 0,031 – 0,19 m³/m²ac (KOBAYASHI JÚNIOR, 2019; ORLANDINI, 2021).

A preferência pela utilização da madeira para fôrmas de concreto armado é, geralmente, decorrente do baixo custo de aquisição, leveza para a logística das peças, montagem e facilidade do corte, possibilitando uma flexibilidade na personalização in loco dos moldes para concretagem de elementos estruturais (LI et al., 2013), além de exigir equipamentos leves e baratos para corte. Contudo, verifica-se que estudos que caracterizam o perfil de consumo de madeira nas obras brasileiras são escassos e pontuais, não refletindo a importância dos impactos econômico-ambientais que a utilização com curto ciclo de vida e baixo valor agregado deste recurso material gera. Face ao cenário de consumo de materiais, sobretudo madeira, geração de resíduos e necessidade de promover a circularidade no setor da construção, este estudo expõe a seguinte questão: no Brasil, qual o consumo de madeira para se edificar com o sistema estrutural em concreto armado moldado in loco com envoltória de alvenaria?

Dessa maneira, o objetivo deste trabalho é caracterizar o consumo, geração e destinação de resíduos de produtos de madeira empregados em fins transitórios na execução de obras residenciais térreas, concreto armado moldado in loco no território nacional.

2. MÉTODO

A Figura 1 apresenta a síntese do método de pesquisa empregado, que possui abordagens teórica e prática para a estimativa e quantificação do consumo de madeira na execução de habitações térreas em concreto armado moldado in loco no Brasil. A primeira abordagem teve objetivo exploratório, de âmbito nacional e a segunda pontual, com estudos de caso para dar sensibilidade aos resultados teóricos; bem como, colaborar com a geração de indicadores reais de consumo, produção e destinação de resíduos de madeira.

2.1. Abordagem teórica

A abordagem teórica consistiu na determinação do Indicador Teórico de Consumo da madeira (ITC) e das perdas, seguindo as seguintes etapas: a) caracterização tipológica do estoque habitacional brasileiro; b) coleta de projetos segundo tipologia característica; c) pressupostos de cálculo para estimativa do consumo de madeira; c) estimativa do consumo de madeira para fôrmas de concretagem de elementos estruturais em concreto armado moldados in loco (vigas, pilares e cintas de amarração).

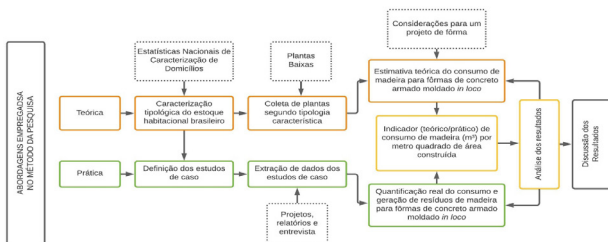


Figura 1: Síntese do método geral da pesquisa.
Fonte: Autores (2021).

2.1.1 Caracterização do setor habitacional e definição de tipologia característica

Esta etapa objetivou definir uma tipologia construtiva, característica da habitação brasileira (Domicílios Particulares Permanentes – DPP), sobre a qual foram feitas as estimativas teóricas de consumo de madeira por metro quadro de área construída (m^2ac). Para isto, foram levantados dados sobre os tipos de domicílios, materiais das envoltórias/vedações e área construída, dados disponíveis e extraídos da Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios (PNAD) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), acessíveis pelo Banco Multidimensional de Estatística (BME) entre os anos de 1981 à 2015 (primeiro e último dado disponível) (IBGE, 2021).

O estoque nacional de habitação caracteriza-se com 88,3% de casas, 11,5% de apartamentos e menos de 1% de quartos ou cômodos (ano 2015) (Figura 2a). As casas térreas podem ser geminadas ou não, e os apartamentos encontram-se normalmente em edifícios de múltiplos pavimentos (TRIANA; LAMBERTS; SASSI, 2015). É predominante

o uso de envoltória em alvenaria, representando quase 94% da amostra (ano 2015) (Figura 2b). Mais da metade das habitações (53,6%) possuem área construída entre 21 e 110 m^2ac (ano 2003, último ano disponível para a caracterização da categoria de área construída.), (Figura 2c).

2.1.2 Coleta dos projetos segundo tipologia característica

Com base na tipologia característica dos DPP, que compõem o estoque habitacional brasileiro (casas de alvenaria entre 21 e 110 m^2), iniciou-se o levantamento de plantas baixas em sites governamentais e não governamentais de acesso livre, como COHAB (Companhias de Habitação Popular), MCMV (Minha Casa, Minha Vida, atualmente nominado Minha Casa Verde e Amarela), Prefeituras (Belo Horizonte - MG, Bauru - SP e Volta Redonda - RJ com informações disponíveis), CDHU (Companhias de Desenvolvimento Habitacional e Urbano), HIS (Habitação de Interesse Social), FUNASA (Fundação Nacional de Saúde), Núcleos Habitacionais e sites de empresas privadas (Monte Sua Casa e Tudo Construção).

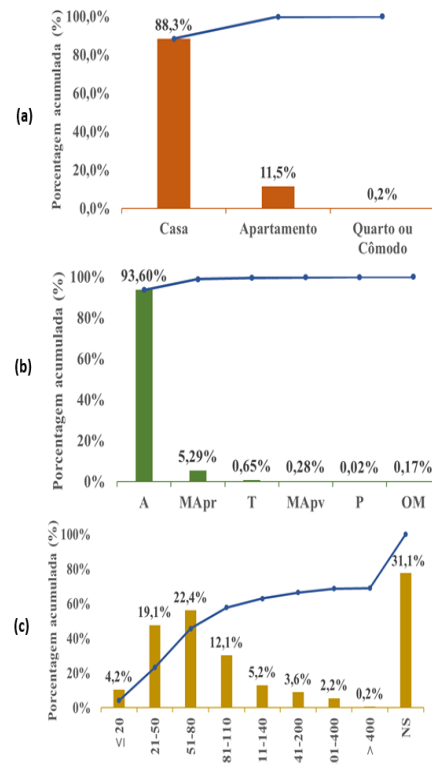


Figura 2: Estoque nacional de habitação (a) por tipo de domicílio; (b) por área construída (m^2ac); (c) por material das paredes
Legenda: Alvenaria; MApr – Madeira Aparelhada; T – Taipa; MApv – Madeira Aproveitada; P – Palha; OM – Outro Material; NS – Não sabe.
Fonte: Autores (2021)

O levantamento resultou em 138 projetos, dos quais 32 foram descartados por apresentarem má qualidade visual e que, eventualmente, poderiam prejudicar a leitura de informações. Dos 106 restantes, optou-se por utilizar

apenas 50% da amostra para viabilizar a execução da pesquisa dentro do tempo e orçamento disponíveis. Os 53 projetos foram selecionados com o auxílio da função “aleatória entre”, do Excel®, e distribuídos entre as classes de área de 21 a 50 m², 51 a 80 m² e 81 a 110 m², resultando em 19, 22 e 12 plantas, respectivamente.

2.1.3 Pressupostos de cálculo para estimativa do consumo teórico de madeira

As plantas arquitetônicas coletadas não possuem informações específicas dos elementos estruturais (pilares e vigas). As dimensões usuais destes, bem como a altura do pé-direito quando ausente, foram definidas por meio de consulta à literatura. Assim, adotou-se a altura do pilar de 2,5 metros (ABCP, 2013a; ABNT, 2013); pilares nos encontros das alvenarias com dimensões na seção transversal 15x20 cm e 15x30 cm (Admitiu-se seções transversais iguais para todos os pilares de um mesmo cenário, considerando o cenário mínimo (15x20) e máximo (15x30), estabelecendo-se uma faixa de variação); vigas baldrame de 20x40 cm e 30x40 cm (admitiu-se seções transversais iguais para todas as vigas de um mesmo cenário, considerando o cenário mínimo (20x40) e máximo (20x40), estabelecendo-se uma faixa de variação); e vigas sobre paredes de 15x20 cm (ABCP, 2013b), (e vigas sobre paredes de 15x20 cm (ABCP, 2013b). Foram desconsideradas as fundações devido à sua variabilidade conforme tipo de solo, e áreas da garagem e varanda por não possuírem envoltória.

O pressuposto considerado para a composição e quantidade de peças (tábuas e enrijecedores) para a execução das fôrmas é detalhado na Tabela 1 e ilustrado na Figura 3.

2.1.4 Estimativa de perdas e do consumo teórico de madeira para produção de fôrmas

Considerando o pressuposto da execução das fôrmas para concretagem dos elementos estruturais descrito anteriormente e com base nas plantas baixas levantadas, prosseguiu-se a estimativa do Indicador Teórico de Consumo de madeira (ITC) dado pela equação (1), expresso em volume de madeira por área construída (m³/m²ac).

$$ITC = \frac{Ct+P}{Ac} \quad (1)$$

Onde,

ITC é o Indicador Teórico de Consumo (m³/m²ac); Ac é a área construída da planta (m²); Ct é o consumo global de madeira (m³); P é a perda de madeira (m³).

O consumo global de madeira (Ct) para a execução das fôrmas de todos os elementos estruturais, prosseguido pelo somatório dos volumes totais de todos os elementos a serem executados, é dado pela equação (2). A estimativa das porcentagens de perdas (P), considera material que não chegou a ser utilizado em canteiro, resultado de corte para adaptação ao formato de cada elemento em concreto armado moldado in loco, com aplicação de uma taxa

de 10% (TCPO, 2017) sobre o consumo global, dada pela equação:

$$Ct = \sum_i^n C_i \quad (2)$$

$$P = IP \times Ct \quad (3)$$

Onde,

Ci é o Consumo de madeira para o elemento i (m³); IP é o Indicador de perda (%);

O consumo de madeira (Ci) para execução da fôrma de um elemento estrutural (elemento i), é dado pelas equações de (4) a (8):

$$C_i = (Ac_i + At_i) \times e + Cte_i \quad (4)$$

$$Ac_i = L_i \times h_i \quad (5)$$

$$At_i = Lt_i \times h_i \quad (6)$$

$$Q_i = \frac{(L_i \text{ ou } n_i)}{s} \quad (7)$$

$$Cte_i = Q_i \times Ce_i \quad (8)$$

Onde,

Ac_i é área de contato da fôrma do elemento i (m²); L_i é o comprimento do elemento i (m); h_i é a Altura do elemento i (m); At_i é a área de transpasse para amarração da fôrma do elemento i (m²); Lt_i é o comprimento de transpasse para o elemento i (m); e é a espessura da tábuas (m); Q_i é a quantidade de conjuntos enrijecedores necessários para o elemento i (unid.); s é o espaçamento entre enrijecedores (m); Ce_i é o consumo para um conjunto de enrijecedor do elemento i (m³); Cte_i é o Consumo total de enrijecedores para o elemento i (m³); e Ci é o consumo de madeira para o elemento i (m³).

2.2 Abordagem prática

A quantificação do Indicador Real de Consumo de madeira (IRC) e de geração de resíduos (IGR) seguiu as seguintes etapas: a) definição dos estudos de caso; b) coleta de dados primários; c) quantificação do consumo real para fôrmas

2.2.1 Definição dos estudos de caso

A delimitação dos estudos de caso considerou as características do estoque nacional de habitação levantadas na parte teórica, onde o foco foram casas residenciais térreas, com estrutura em concreto armado moldada in loco e vedações em alvenaria. Devido às limitações impostas pela pandemia COVID-19 e as dificuldades de acesso às obras, limitou-se a área geográfica de levantamento a cidade de Foz do Iguaçu-PR, selecionada devido à possibilidade de verificação in loco das informações, bem como definiu-se que a área construída não seria um requisito de exclusão dos possíveis estudos de caso.

Peça	Dimensões (cm)	Viga baldrame 30x40 cm	Viga baldrame 20x40 cm	Cinta de amarração 15x20 cm	Pilar 15x20 cm	Pilar 15x30 cm	Espaçoamento (cm)
Tábua	2,54x20,0	-	-	2	2	-	-
	2,54x30,0	-	-	-	-	2	-
	2,54x40,0	2	2	-	-	-	-
Sarrafo	2,5x7,7x50,0	2	2	-	-	-	50
	2,5x5,5x30,0	-	-	3	2	-	50
	2,5x5,0x40,0	3	-	-	-	2	50
	2,0x5,0x30,0	-	2	-	-	-	50
	2,0x5,0x40,0	-	1	-	-	-	50

Tabela 1: Especificação da quantidade e tipo de peças de madeira na estimativa do consumo material para o sistema de fôrmas
 Fonte: Autores (2021)

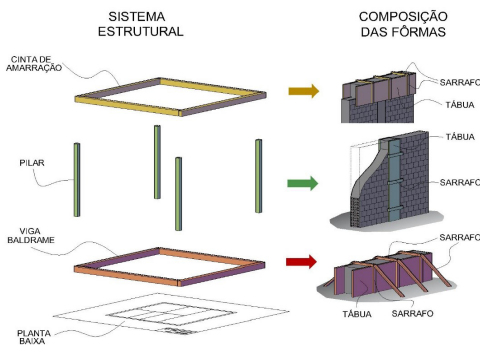


Figura 3: Representação ilustrativa do pressuposto do sistema estrutural e composição das fôrmas para a estimativa do consumo de madeira.
 Fonte: Autores (2021).

2.2.2 Coleta de dados das residências unifamiliares

A busca de dados foi realizada por meio de contato direto com arquitetos, engenheiros e responsáveis de obras em Foz do Iguaçu – PR, resultando em três residências de alto padrão (AP)10, denominadas Caso - A (187,18 m²), Caso - B (162,90 m²) e Caso - C (153,69 m²); e 13 de baixo padrão (BP), classificação segundo NBR 12.721/2006, fazendo parte de uma construção em escala (condomínio) com 2 modelos de habitações, com áreas de 55,65 m² e 63,25 m². Para estas últimas, os resultados de consumo e geração de resíduos representam resultados pela área média das 13 residências e são apresentadas como Caso - D (59,5 m²).

A extração das informações das características dos projetos (área construída, número de pavimentos, tipo de envoltória, tipo de estrutura e padrão da construção) e de compra de material, foram realizados através do acesso direto aos projetos arquitetônicas e estruturais disponibilizadas pelos responsáveis. A complementação das informações se deu por meio de entrevistas realizadas aos engenheiros e arquitetos das obras onde questionou-se sobre as características da obra, do canteiro, do sistema construtivo, dos tipos de madeiras utilizadas, dos fins de utilização, da existência de incorporações do material (cobertura), da reutilização e do descarte.

2.2.3 Estimativa do consumo real de

madeira para produção de fôrmas e resíduos gerados

A partir das informações extraídas das notas fiscais e entrevistas sobre a aplicação das peças na obra, suas dimensões geométricas e quantidade comprada, fez-se a determinação do indicador de geração de resíduos (IGR) pela equação (9), considerando a relação entre o volume de madeira descartado como resíduo pela área construída (m³/m²ac); e a taxa de geração de resíduos pela equação (10), que determina a porcentagem de madeira consumida que se transformou em resíduo (IGR (%)).

Onde,

$$IGR = \frac{R}{Ac} \quad (9)$$

$$IGR (\%) = \frac{R}{CRT} \times 100 \quad (10)$$

IGR é o Indicador de Geração de Resíduos (m³/m²ac); Ac é Área construída (m²); R é a quantidade de resíduo de madeira gerado (m³); IGR (%) é a taxa de geração de resíduos; CRT é o consumo total das peças destinadas as fôrmas (m³);

A quantificação do Indicador Real de Consumo (IRC) expresso em volume de madeira por área construída (m³/m²ac) é dada pela equação (11), relação entre o Consumo total das peças destinadas às fôrmas, em m³ (CRT) e a Área construída da planta, em m² (Ac).

$$IRC = \frac{CRT}{Ac} \quad (11)$$

O cálculo do consumo total das peças destinadas às fôrmas (CRT) em m³, é dado pelo somatório dos consumos das madeiras com geometria i (CRi), conforme a equação (12).

$$CRT = \sum_i^n CR_i \quad (12)$$

O consumo de uma peça de madeira comprada com geometria i, em m³ (CRi), determinando-se o volume da peça a partir da sua geometria (comprimento, largura e espessura), é obtido pela equação 13.

Onde,

$$CR_i = L_i \times B_i \times e_i \quad (13)$$

CRi é o Consumo de uma peça de madeira comprada com geometria i (m³); Li é o comprimento da peça de geometria i (m); Bi é a largura da peça de geometria i (m); e ei é a espessura da peça de geometria i (m).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Consumo de Madeira

O Indicador Teórico de Consumo (ITC) das residências térreas unifamiliares de área construída entre 21 e 110 m²ac variou entre 0,042 - 0,076 m³/m²ac, (mediana de 0,057 m³/m²ac), considerando as perdas (10%) na execução das

fôrmas. O Indicador Real de Consumo (IRC), levantado em obras de 59,5 a 187,2 m²ac na cidade de Foz do Iguaçu-PR variou de 0,011 – 0,091 m³/m²ac, (mediana de 0,066 m³/m²ac). Percebe-se que as faixas de variação, composta por valores mínimos e máximos, são sobrepostas (Figura 4). Tendo o caso real apresentado maior variação devida à composição heterogênea da amostra em relação ao padrão construtivo das obras.

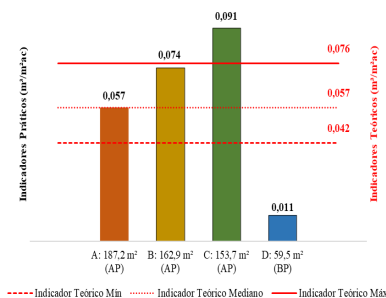


Figura 4: Indicadores de consumo de madeira teórico (RTC) e prático/real (IRC)

Legenda: AP – Alto Padrão; BP – Baixo Padrão

Fonte: Autores (2021)

O pressuposto de cálculo para a estimativa do ITC apresenta uma variação de 0,034 m³/m²ac entre os limites mínimo e máximo. O valor é decorrente das considerações dos intervalos nas geometrias dos elementos estruturais, que admite a execução do mesmo tipo de geometria (pilar, viga baldrame e viga sobre paredes), em toda a planta, sem ponderar as variações por dimensionamento de tensões, e das limitações impostas pelas hipóteses simplificadoras do modelo, como a consideração do uso de gravatas como único tipo de elemento de rigidez, desconsiderando montantes, gastalhos, apuradores, etc.

Indica-se que, devido às limitações, ao não considerar o consumo de madeira empregado na execução das fundações, de pilares individuais (sem contato com paredes), de fôrmas para vergas e contravergas, de vigas flutuantes (necessário tábuas inferior), dos apoios para as vigotas na execução das lajes, andaimes, caixaria para beirais, escoramento (vigas flutuantes e beirais), estruturas de tapumes, áreas de vivência (BRASIL, 2018) e gabarito, os valores das faixas teóricas poderiam ser deslocados para cima. Além disso, a ocorrência de reuso das peças de madeira para mais de um elemento (com ou sem ajustes) e a redução da taxa de perdas por corte (de 10%), poderiam deslocar a faixa para baixo.

No entanto, o modelo compreende o entendimento da aplicação do material e indica um valor útil para a estimativa de parte do fluxo de madeira em obras residenciais, especialmente ao verificar que os valores mínimos e máximos estão estritamente relacionados à intensidade de elementos estruturais em concreto armado moldado in loco.

A análise dos projetos reais, indica aspectos importantes, tanto para explicar a heterogeneidade dos valores de consumo entre os casos (variação de 0,080 m³/m²ac),

quanto em comparação aos ITC deste estudo. O Caso - D ficou consideravelmente abaixo da interposição das faixas de variação devido, sobretudo, ao aproveitamento das fôrmas no canteiro de obras, viabilizado pela repetição do projeto considerando mesmas dimensões dos elementos estruturais.

Não se obteve dados do número de vezes em que os jogos de fôrmas foram reutilizados, mas houve uma confirmação de que a reposição das peças se dava à medida em que elas se deterioravam (Caso - D). As peças das fôrmas de madeira possuem taxas de reuso de até 8 vezes (HAO et al., 2021), a depender da qualidade do produto de madeira, manuseio, e forma de estocagem em canteiros (LING; LEO, 2000), além do layout dos projetos, o que facilita a reutilização do material (KERN et al., 2018).

Para a residência do Caso - A, de padrão e execução semelhante aos dos Casos - B e C (sem repetição), observou-se menor consumo real, sugerindo que a padronização e geometria reduzida dos elementos estruturais (pilares e vigas de seção transversal “14x20” cm, com exceção de 3 pilares com “20x30” cm) é um ponto importante para a redução do consumo material.

Em contrapartida, os demais casos apresentaram variação geométrica e maiores dimensões, sendo para o Caso - B cinco tipos de pilares (“12x30”, “15x30”, “15x25”, “12x25” e “14x30” cm) e 3 tipos de vigas (“15x30”, “15x40” e “15x45” cm); e para o Caso - C quatro tipos de pilares (“15x40”, “15x20”, “15x50” e “15x15” cm) e dois tipos de vigas (“15x30” e “15x40” cm), implicando maior necessidade de corte e dificuldade no reuso das peças.

Ademais, constatou-se para a residência do Caso - C, a ocorrência de beiral em intensidade superior aos dos Casos - A e B (2 e 4 vezes, respectivamente), além da execução de brises, pergolados e pilares individualizados, todos em concreto armado moldado in loco, resultando em um volume de madeira global maior para execução destes elementos. A medida da complexidade do projeto e de seus elementos de base cimentícia moldados in loco influenciam diretamente no consumo e possibilidade de reuso das fôrmas de madeira.

Sobre a perspectiva dos indicadores de consumo de madeira, em território nacional, constata-se uma escassez de literatura que avalie as madeiras em fins transitórios (valores teóricos ou práticos), na execução de residências térreas em alvenaria com estrutura em concreto armado moldado in loco.

A Figura 5, aponta dois estudos encontrados, comparando-os aos ITC e IRC desta pesquisa. Orlandini (2021), que estimou o consumo teórico a partir de 30 plantas baixas de até 1 pavimento, com áreas construídas que variavam de 30 a 80 m², considerando um projeto de fôrma simplificado com tábuas e sarrafos (horizontais e verticais) para baldrame e vigas; e tábuas e sarrafos para pilares, apresenta variações em seu estudo entre 0,050

– 0,055 m³/m²ac (mediana de 0,052 m³/m²ac). Kobayashi Júnior (2019), que estimou o consumo teórico a partir de 30 projetos de residências de até 2 pavimentos, com área construída que variavam de 102 a 1490 m², em Maringá – PR, considerando área de fôrmas das vigas e pilares constantes em projeto e escoras para as lajes, apresenta variações entre 0,03 – 0,19 m³/m²ac (mediana de 0,13 m³/m²ac). Tais intervalos corroboram com a faixa de valores teóricos encontrados nesta pesquisa, e dão sensibilidade aos valores reais, uma vez que se sobrepõem aos indicadores quantificados, com exceção do Caso - D (0,011 m³/m²ac), que apresenta valor de consumo muito abaixo do esperado devido a repetição de projeto.

Do ponto de vista de dimensionamento, execução e gerenciamento dos projetos, considerando as afirmações dos gerentes de obra nas entrevistas realizadas, aponta-se que devido as diferentes possibilidades de geometria das fôrmas (variações nas dimensões dos elementos estruturais e procedimento de instalação), habilidades dos profissionais responsáveis pelos cortes e montagens e falta de planejamento na gestão do material, são as principais causas do aumento do consumo e geração de resíduos. Aliado aos apontamentos, a quantidade de vezes possível na reutilização das peças das fôrmas (devido a qualidade, manuseio e ajustes), que variam para cada obra, pode provocar divergências consideráveis em uma comparação entre os valores quantificados.

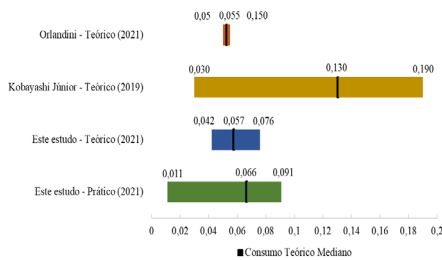


Figura 5: Comparação dos indicadores teóricos de consumo de madeira (m³/m²ac)
Fonte: Autores (2021)

O manuseio das peças (transporte, montagem e desforma) são causas da diminuição da eficiência e de danificações do material, que diminuem a possibilidade de reuso (LING; LEO, 2000). Em um canteiro estudado por Li et al. (2013), somente os grandes painéis de madeira eram revendidos, devido a inviabilidade de separar as peças menores de madeira misturadas a os outros resíduos sólidos. Formoso et al. (2002) afirma ainda pontos sobre a influência de grandes estoques desorganizados, deficiência dos projetos de fôrmas de concreto, execução de elementos de concreto de geometrias diferentes do especificado em projeto, falhas no processo de montagem e ferramentas de medição imprecisas.

Estas questões também são de importância para a promoção da Economia Circular nos canteiros de obra. O beneficiamento do material pode ser uma alternativa, que ao subverter o processo comum desempenhado,

uma vez que pode voltar à cadeia de valor, garantiria o aumento do ciclo de vida do produto, sendo possível apenas quando viabilizada a gestão correta dos canteiros e resíduos gerados.

Na Tabela 2 apresenta-se uma síntese dos indicadores de três estudos (China, Líbano e Brasil), encontrados na literatura, sobre o consumo de madeira de uso provisório na construção de residência em concreto armado, com envoltória em alvenaria convencional (sem limitação de pavimentos). Entretanto, sem o intuito de comparar os valores, o que seria inviável, devido as diferenças tecnológicas, construtivas e de procedimentos metodológicos de estimativa, busca-se esclarecer e identificar boas práticas na gestão do material (benchmark) pela certa semelhança dos canteiros e sistema construtivo.

A Figura 6 apresenta os valores encontrados na literatura, em kg/m², harmonizados com densidades de compensado e madeira serrada, resultando numa faixa de valores, para apreciação com os resultados obtidos nesta pesquisa. As densidades utilizadas variam de 550 a 750 kg/m³ para madeiras separadas em canteiros de obra (HAO et al., 2021).

Bakshan et al. (2015) e Li et al. (2013) apontam, principalmente, a importância da repetição de layout na diminuição da intensidade do consumo de madeira. Sendo evidenciado que, ao interpor os IRC, o consumo do Caso - D (0,011 m³/m²) mostra-se como único valor que se sobrepõe à faixa de variação obtida na literatura (0,006 – 0,038 m³/m²). Para o estudo de Borja et al. (2018), não houve ocorrência de reuso das peças, o que explica os valores ligeiramente mais altos entre os benchmarks.

Referência	País	Escopo Geográfico	Casos (nº)	Indicadores de Consumo	Pavimentos				
					Total	Subsolo	Garagem	Residencial	Comércio/ serviço/ coletivo
Bakshan et al. (2015)	Líbano	País	28	4,35 kg/m ²	nº	nº	nº	nº	nº
Li et al. (2013)	China	Canteiro de obra	1	9,5 kg/m ²	34	0	2	32	0
Borja et al. (2018)	Brasil	Canteiro de obra	2	12,0 a 21,0 kg/m ²	23 a 29	0	2 a 3	30 a 25	1
Este estudo (real)	Brasil	Canteiro de obra	3	0,011 a 0,091 m ³ /m ²	1	0	0	1	0

(*) Não mencionado
 **Mediana, com 75% dos casos com indicadores abaixo dos 15 kg/m².

Tabela 2: Características dos benchmarks e indicadores de consumo de madeira de uso provisório em construções residenciais da literatura e deste estudo.
Fonte: Autores (2021).

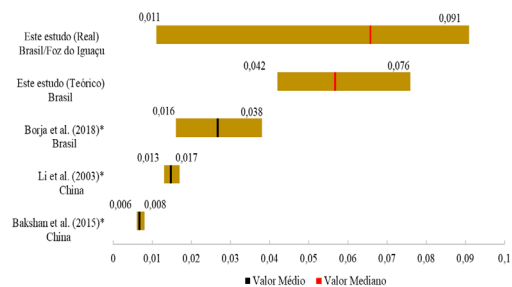


Figura 6: Valores dos benchmarks de Indicadores de Consumo de madeira em algumas economias e os indicadores estimados neste estudo.
Fonte: Autores (2021).

O estudo de Punhagui (2014) sobre sistema construtivo em macho-fêmea, tapajunta, woodframe e madeira roliça aponta variação de consumo de 0,020 – 0,034 m³/m²ac e Araujo et al. (2020) sobre sistema construtivo em woodframe em balão, plataforma, misto e modular, madeira roliça, pranchas horizontais entre esteios, pranchas pregadas na horizontal, pranchas pregadas na vertical, estrutura em exaimel, Cross Laminated Timber (CLT), e outros aponta variação de consumo de 0,08 – 1,50 m³/m²ac.

A avaliação sobre os valores do ITC e IRC apontados neste estudo em contraponto ao consumo do material para construir uma casa de madeira, evidencia que a cada casa de alvenaria, o consumo de madeira de uso provisório pode equivaler até 4 casas com envoltória em madeira, uma vez que a literatura nacional aponta intervalos de consumo que variam de 0,02 – 1,5 m³/m²ac (intervalo de valores mínimo e máximo entre os estudos) (ARAUJO et al., 2020; PUNHAGUI, 2014).

3.2 Resíduos

Das entrevistas com os responsáveis pelas obras estudadas, obteve-se informações de que toda madeira utilizada para fins provisórios foi enviada para seu destino de descarte (aterro sanitário) ao final da obra, não havendo incorporação ou reuso (em outros canteiros). Deste modo, os indicadores de consumo e geração de resíduo para os estudos práticos são exatamente os IRC apresentados na Figura 5, de 0,011 – 0,091 m³/m²ac (mediana de 0,066 m³/m²ac).

Assim como para o IRC, são escassos os estudos que apontam valores sobre o IGR para residências com características objeto deste estudo. No entanto, encontram-se estudos como o de Hao et al. (2021), Li et al. (2013) e Lu et al. (2011), na China; Bakshan et al. (2015), no Líbano; Sáez, Merino e Porras-Amores (2012), na Espanha; Mah, Fujiwara e Ho (2016), na Malásia; Kern et al., (2018) e Borja et al. (2018), no Brasil, que cobrem prédios de múltiplos pavimentos e apresentam construções em alvenaria com estrutura em concreto armado moldado in loco, sendo os andares inferiores dedicados a estacionamentos (LI et al., 2013; LU et al., 2011; MAH; FUJIWARA; HO, 2016) ou misto, onde o primeiro pavimento é comercial e os demais são compostos de apartamentos residenciais (BAKSHAN et al., 2015; SÁEZ; MERINO; PORRAS-AMORES, 2012) (Tabela 3)

Referência	País	Escopo Geográfico	Casos (n°)	Indicador de Geração de Resíduos	Pavimentos				
					Total	Subsolo	Garagem	Residencial	Comercial/ serviços/ canteiro
Lu et al. (2011)	China	Canteiro de obra	1	1,905 kg/m ²	27	1	-	26	-
Bakshan et al. (2015)	Líbano	Pais	28	4,35 kg/m ²	-	-	-	-	-
Li et al. (2013)	China	Canteiro de obra	1	7,6 kg/m ²	34	0	2	32	0
Hao et al. (2021)	China	Canteiro de obra	1	10,52 kg/m ²	26	-	-	-	-
Sáez et al. (2012)	Espanha	Canteiro de obra	-	0,022 m ³ /m ²	2 # 6	1 # 2	-	-	1
Kern et al. (2018)	Brasil	Regional	14	0,002 – 0,03 m ³ /m ²	4 # 15	0 # 2	-	-	-
Mah et al. (2016)	Malásia	Canteiro de obra	6	8,72 – 20,9 kg/m ²	-	-	-	-	-
Borja et al. (2018)	Brasil	Canteiro de obra	2	12,0 – 23, kg/m ²	23 # 29	0	2 # 3	30 # 25	1
Este estudo	Brasil	Pais	-	-	1	0	0	1	0

(-) Não mencionado

Tabela 3 – Características dos Benchmarks e Indicadores de Geração de Resíduos de madeira em alguns países deste estudo
 Fonte: Autores (2021)

Apesar da falta de comparabilidade entre os valores de diferentes estudos, as semelhanças entre os canteiros pontuam benchmarks de interesse para a discussão desta pesquisa (Figura 7).

O estudo de Mah, Fujiwara e Ho (2016) apresenta densidade de 390 kg/m³ para as madeiras do estudo. Para as demais conversões utilizou-se a faixa de densidade de 550 a 750 kg/m³ (HAO et al., 2021), assim como descrito no item Consumo de Madeira.

Estes estudos apresentam uma faixa de variação do IGR de 0,002 – 0,054 m³/m²ac, com harmonização (de peso para volume) dos dados destacados, sendo a madeira um dos principais fluxos de materiais (além dos materiais cimentícios e cerâmicos), apresentando variações, em peso, de 10,2 a 18,7% do total de resíduos gerados (BAKSHAN et al., 2015; LI et al., 2013; MAH; FUJIWARA; HO, 2016).

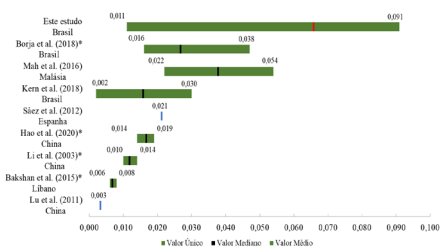


Figura 7: Valores dos benchmarks de Indicadores de Geração de Resíduos de madeira em alguns países e os indicadores estimados neste estudo

Legenda: *Valores obtidos pela conversão dos indicadores (de peso para volume) pela densidade do material.

Fonte: Autores (2021).

A faixa de variação do IGR deste estudo encontra-se sobreposta aos valores do benchmark. Os estudos de Borja et al. (2018), Hao et al. (2021) e Lu et al. (2011), assim como neste, também apontam até 100% de conversão do consumo do material em geração de resíduos. Sendo o baixo valor do material apontado como motivo de tal resultado em relação ao custo da mão de obra, derivando da não adoção de estratégias para conservação da madeira utilizada como fôrma e não previsão de seu reuso em outros canteiros ou atividades. Dessa forma, a madeira se mistura em canteiro com outros resíduos (materiais cerâmicos, cimentícios, gesso etc.), tendo um ciclo de vida reduzido e sendo destinada ao aterro municipal.

A literatura destaca que a previsão de incorporações, uso em outros canteiros e a própria redução de taxas de desperdícios, como aqueles relacionados à perda por corte, que podem variar de 1,79% - 20% (mediana de 4,01%) (TAM et al., 2007) ou 5% - 15%, sendo os menores valores para residências privadas e os maiores para públicas (POON et al., 2001); com valor usual no território nacional de 10% (TCPO, 2017), poderiam reduzir a taxa de resíduos pela alteração da destinação ou aplicação em função durável. Esta destinação poderia ocorrer também para utilização do material como lenha para olarias e outras indústrias, a exemplo de obras na região metropolitana de

Porto Alegre - RS (MOSSMANN, 2011).

Os valores dos indicadores de consumo teórico, real e de geração de resíduos obtidos neste estudo ilustram a maneira de consumo da madeira em fins temporários para fôrmas de concreto armado moldado in loco em residências unifamiliares térreas. Quando comparado ao consumo de madeira em aplicações duráveis (40 anos), como paredes, verifica-se alta quantidade de material sendo descartada com curto ciclo de vida (cerca de 6 meses). Os impactos econômico-ambientais decorrentes do uso da madeira são potencializados em até 80 vezes ao se escolher um uso em detrimento do outro.

Sobre a intensidade do uso do material, o volume de concreto consumido no canteiro (KERN et al., 2018) e a falta de padronização dos formatos dos projetos privados (TAM; SHEN; TAM, 2007), têm implicação direta na quantidade de consumo e geração de resíduos de madeira. Para o primeiro fator, o aumento da necessidade de execução de elementos estruturais e de cortes das peças aumentam para moldagem dos elementos estruturais, em maior quantidade e para o segundo, o número de possibilidade de reuso é facilitada, por haver repetição dos elementos de concreto armado moldados in loco.

O aumento do consumo e da geração de resíduos de madeira são apontados na literatura como sendo provenientes também pela falta de padronização dos formatos dos projetos privados (TAM; SHEN; TAM, 2007), além da baixa qualidade do material (LI et al., 2013), carência de planejamento para gerenciamento do uso da madeira provisória, resultando em manuseio e estocagem inadequada no canteiro (FORMOSO, 2002; LU et al., 2011) e falta de planejamento na gestão dos resíduos sólidos gerados (LI et al., 2013); material impregnado na madeira resultante da concretagem. Deste estudo, aponta-se ainda a falta de projetos de fôrmas e gestão do uso do material da compra ao descarte.

Segundo a literatura nacional, quando considerada a quantidade de resíduos gerados nas atividades da construção dentro do canteiro de obra, a participação da madeira corresponde de 16,3 - 34%, do total de resíduos em volume, correspondendo a um dos principais materiais, juntamente com concreto, argamassa e blocos cerâmicos (ALBERTINI, 2019; TOZZI, 2006). Além disso, resíduos de madeira não tratada, descartados em aterros, correspondem a uma das maiores porcentagens em massa (de 0,42 a 10%) de todos os resíduos gerados na construção, superado por materiais derivados de terra e materiais de construção misturados (tijolos, argamassas, madeira etc.) que representam 0,35 a 50,34% e 19 a 93,15% respectivamente (ROSADO et al., 2017, 2019). Isto evidencia o mal uso do recurso material, mas principalmente a necessidade de mudança tecnológica. A técnica construtiva convencional determina processos que inviabilizam intervenções substanciais para o uso eficiente dos materiais de construção.

A ineficiência no manuseio (estocagem, transporte,

montagem e desforma), na compra do produto e gestão dos resíduos gerados aumentam os problemas decorrentes do baixo desempenho no uso das fôrmas e das peças, interferindo na possibilidade de reutilização da madeira empregada após desmontagem, incorporações e beneficiamento pós-uso (LU et al., 2011). Assim, uma recomendação sobre a aquisição de madeira de melhor qualidade e seca, para que haja menores variações dimensionais, deformações, empenamentos e rachaduras que interferem na sua aplicação segundo função na obra e inviabilizam ou dificultam o reuso. Também, separação dos resíduos gerados no canteiro para deposição adequada ou reutilização, quando possível, poderiam colaborar para a redução da intensidade de consumo e geração de resíduos.

Todos os projetos investigados neste estudo usam tradicionalmente fôrmas de madeira em tábuas maciças de madeira serrada ou compensado, como apoio na execução dos elementos estruturais em concreto armado. Tecnologias como o uso de fôrmas OSB (Oriented Strand Board), de papelão, Rib-Loc, poliméricas, mistas (metal e compensado) ou metálicas podem ser alternativas à diminuição do uso da madeira serrada, a exemplo da última, que garantem um reuso muito superior (100 a 200 vezes) as de madeira (menos de 10 vezes) (DING et al., 2020; DONG et al., 2015), sendo de interesse em projetos repetitivos ou modulares. A componente econômica destas possibilidades não foi analisada neste estudo.

Aliado a esta alternativa, o uso de softwares de desenho e modelagens de planos de corte, metodologias de gestão de projetos e informações, como o BIM (Building Information Modeling) garantiriam prever uma otimização dos recortes do material podendo chegar até 31,8% de redução no consumo (MOSSMANN, 2011) e a criação de espaços modulares (OLIVEIRA, 2019), o que facilitaria a reutilização das peças no canteiro ou do material em outras obras. Além disso, a modularidade é uma alternativa que padronizaria o corte das peças e incentivaria a pré-fabricação e, conseqüentemente, a industrialização dos processos de execução (off-site), uma redefinição dos limites do sistema construtivo.

Adoção de outras tecnologias construtivas para a diminuição do consumo de madeira, tais quais a pré-fabricação dos elementos em concreto (FORMOSO, 2002), onde a substituição dos sistemas de fôrmas de madeira pode reduzir em peso de 30 a 70% dos resíduos gerados em obra (HAO et al., 2021; JAILLON; POON; CHIANG, 2009); alvenaria estrutural, excluindo a necessidade da execução dos elementos em concreto moldados in loco; o uso de sistemas de envoltório ou estrutura em madeira (Wood Frame, Cross Laminated Timber, Glued Laminated Timber, Nail Laminated Timber, etc.) que empregam o próprio material em função duráveis, geralmente sob processos e controle fabril bem definidos, apenas com montagem in situ, possibilitando reduzir a geração de resíduos intrínsecos aos canteiros molhados.

3.3 Conclusão

A análise das abordagens teórica e prática (estudos de caso) sobre o consumo de madeira em obras residenciais térreas, em alvenaria e concreto armado moldado in loco, proposta nesta pesquisa, revelou que há importantes variações na quantidade empregada de madeira para fins transitórios (caixaria para concretagem), apresentando faixas de consumo entre 0,042 e 0,076 m³/m²ac (mediana, 0,06 m³/m²ac) na estimativa teórica e de 0,011 a 0,091 m³/m²ac (mediana, 0,07 m³/m²ac) nos estudos de caso. Ou seja, cada 100 m² construídos de um domicílio permanente com sistema estrutural em concreto armado moldado in loco consome de 4,2 a 7,6 m³ de madeira.

Estas variações se dão devido às limitações do método teórico em relação às características de uma construção real (reuso e elementos de concreto não considerados). Sendo os valores mínimos referentes à menor intensidade dos elementos em concreto armado considerados na estimativa (teórico) e a existência de repetição das características geométricas dos elementos de concreto armado (real); e os valores máximos da ocorrência de maior intensidade de elementos em concreto armado moldado in loco (teórico) e de elementos estruturais em concreto armado não considerados na estimativa teórica, tais como beirais, pergolado, brises, etc. (real).

Dentro das estimativas apresentadas neste estudo, ressalta-se que o consumo (em volume) de madeira com aplicação em uso transitório para caixarias utilizado em casas de alvenaria e concreto moldado in loco, que pode corresponder até 4 vezes a quantidade de madeira necessária para construir-se uma casa com envoltória em madeira se produzida com sistemas construtivos inovadores.

Nas obras analisadas 100% da madeira empregada foi convertida em resíduos, não sendo relatado reuso em obra ou fora dela; tão pouco encaminhamento para fins energéticos como é relatado em outras localidades. A reutilização da madeira ou direcionamento para outros fins não ocorreu devido à percepção da madeira como material de baixo valor agregado, não sendo de interesse dos investidores, nem dos gerentes de obra, a sua reutilização em outros canteiros.

Ressalta-se a falta de gerenciamento no uso da madeira, com elevada deterioração do material dentro do canteiro, sem a preocupação de adoção de medidas de conservação (para outros usos), mistura com outros resíduos após seu emprego e manuseio não adequado, dificultando sua separação (com exceção do Caso – D).

Redução do consumo global de madeira e geração de resíduos no canteiro, quando houve repetição ou padronização dos elementos estruturais a serem moldados com o material, em contraponto as residências que apresentam projetos estruturais singulares (maiores variações das seções transversais), apresentando significativa elevação dos indicadores apontados.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao suporte financeiro concedido: pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – código de financiamento 001; pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) nº do processo 436997/2018-5; pela PRPPG - Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA).

REFERÊNCIAS

ABCP, Associação Brasileira de Cimento Portland. **Mãos à Obra 2 - O guia profissional da construção**. São Paulo: [s. n.], 2013a. (Estrutura. Alvenaria. Coberturas e Forros), v. 1

ABCP, Associação Brasileira de Cimento Portland. **Mãos à Obra 2 - O guia profissional da construção**. São Paulo: [s. n.], 2013b. (Estrutura. Alvenaria. Coberturas e Forros), v. 2

ABEYSUNDRA, U. G. Y.; BABEL, S.; GHEEWALA, S.; SHARP, A. Environmental, economic and social analysis of materials for doors and windows in Sri Lanka. **Building and Environment**, Oxford, v. 42, n. 5, p. 2141-2149, Maio 2007. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.04.005>. Acesso em: 30 Mar. 2021.

ALBERTINI, Felipe Mattos. **Avaliação do desempenho ambiental em termos de consumo hídrico, energético e geração de resíduos em canteiros de obras de edificações**. 2019. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS, São Leopoldo - Rs, 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/8976>. Acesso em: 18 nov. 2021.

ARAUJO, V.A. de; VASCONCELOS, J. S.; MORALES, E. A. M.; SAVI, A. F.; HINDMAN, D. P.; O'BRIEN, M. J.; NEGRÃO, J. H. J. O.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R.; CORTEZ-BARBOSA, J. Difficulties of wooden housing production sector in Brazil. **Wood Material Science & Engineering**, Abingdon, v. 15, n. 2, p. 87-96, 10 jun. 2018. Informa UK Limited. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/17480272.2018.1484513>. Acesso em: 30 Mar. 2021.

ARAUJO, V. A. de.; VASCONCELOS, J. S.; CORTEZ-BARBOSA, J.; MORALES, E. A. M.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R.; GARCIA, J. Wood consumption and fixations of carbon dioxide and carbon from timber housing techniques: a Brazilian panorama. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 216, n. 109960, Jun. 2020. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109960>. Acesso em: 30 Mar. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, ed. 4, 71 p. 2013. ISBN 978-85-07-04036-1

- BAKSHAN, A.; SROUR, I.; CHEHAB, G.; EL-FADEL, M. A field based methodology for estimating waste generation rates at various stages of construction projects. **Resources, Conservation and Recycling**, Ann Arbor, v. 100, p. 70-80, Jul. 2015. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.04.002>. Acesso em: 30 Mar. 2021.
- BORJA, L. C.; CÉSAR, S.; CUNHA, R.; KIPERSTOK, A. A quantitative method for prediction of environmental aspects in construction sites of residential buildings. **Sustainability**, Basel, v. 10, n. 1870, 4 Jun. 2018. MDPI AG. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/su10061870>. Acesso em: 30 Mar. 2021.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 18: condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção**. 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-18.pdf>. Acesso em: 2 Nov. 2021.
- BUKAUSKAS, A.; MAYENCOURT, P.; SHEPHERD, P.; SHARMA, B.; MUELLER, C.; WALKER, P.; BREGULLA, J. Whole timber construction: a state-of-the-art review: a state-of-the-art review. **Construction and Building Materials**, Kidlington, v. 213, p. 748-769, Jul. 2019. Elsevier BV. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.13235>. Acesso em: 30 Mar. 2021.
- BRUNET-NAVARRO, P.; JOCHHEIM, H.; MUYS, B. Modelling carbon stocks and fluxes in the wood product sector: a comparative review. **Global Change Biology**, Oxford, v. 22, n. 7, p. 2555-2569, 4 mar. 2016. Wiley. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.13235>. Acesso em: 18 nov. 2021.
- DING, Z.; LIU, S.; LUO, L.; LIAO, L. A building information modeling-based carbon emission measurement system for prefabricated residential buildings during the materialization phase. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 264, p. 121728, ago. 2020. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121728>. Acesso em: 30 Mar. 2021.
- DONG, Y. H.; JAILLON, L.; CHU, P. y.; POON, C. s. Comparing carbon emissions of precast and cast-in-situ construction methods – A case study of high-rise private building. **Construction and Building Materials**, Oxford, v. 99, p. 39-53, Nov. 2015. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.145>. Acesso em: 30 Mar. 2021.
- FAO. 2021. **FAO Yearbook of Forest Products 2019**. Roma, No. 73, 436 p. Disponível em: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb3795m>
- FORMOSO, C. T.; SOIBELMAN, L.; CESARE, C. de; ISATTO, E. L. Material Waste in Building Industry: main causes and prevention. **Journal of Construction Engineering and Management**, Reston, v. 128, n. 4, p. 316-325, Ago. 2002. American Society of Civil Engineers (ASCE). Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2002\)128:4\(316\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2002)128:4(316)). Acesso em: 30 Mar. 2021.
- HAO, J.; CHEN, Z.; ZHANG, Z.; LOEHLEIN, G. Quantifying construction waste reduction through the application of prefabrication: a case study in Anhui, China. **Environmental Science Pollution Research**, Heidelberg, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09026-2>. Acesso em: 30 Mar. 2021.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório Anual 2019**, São Paulo: Instituto Brasileiro de Economia (IBRE), da Fundação Getúlio Vargas (FGV), 2019. 122 p. Translation: Tracy Smith Miyake. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>. Acesso em: 30 Mar. 2021.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório Anual 2020**, São Paulo: Instituto Brasileiro de Economia (IBRE), da Fundação Getúlio Vargas (FGV), 2020. 122 p. Translation: Tracy Smith Miyake. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>. Acesso em: 30 Mar. 2021.
- IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua anual**, 2019. Tabela 6822 - Domicílios e Moradores, por material predominante nas paredes. 2020a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6822> Acesso: 30 out 2021.
- IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua anual**, 2019. Tabela 6823 - Domicílios e Moradores, por material predominante na cobertura (telhado). 2020b. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6823>. Acesso: 30 out 2021.
- Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). **Banco Multidimensional de Estatística (BME)**. [online], 2021. Disponível em: <https://www.bme.ibge.gov.br/index.jsp?url=https%3A%2F%2Fwww.bme.ibge.gov.br%2Fapp%2Findex.jsp>. Acesso em: 6 Jul. 2021.
- JAILLON, L.; POON, C. s.; CHIANG, Y. H. Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong. **Waste Management**, Oxford, v. 29, n. 1, p. 309-320, Jan. 2009. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2008.02.015>. Acesso em: 30 Mar. 2021.
- KERN, A. P.; AMOR, L. V.; ANGULO, S. C.; MONTELONGO, A. Factors influencing temporary wood waste generation in high-rise building construction. **Waste Management**, Oxford, v. 78, p. 446-455, Ago. 2018. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2018.05.057>. Acesso em: 30 Mar. 2021.
- KOBAYASHI JÚNIOR, Yutaka Mario. **Estudo comparativo do consumo de madeira entre o sistema construtivo convencional e alvenaria estrutural**. 2019. 46 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limas, UNICESUMAR, Maringá

- PR, 2019. Disponível em: <http://rdu.unicesumar.edu.br/handle/123456789/5991>. Acesso em: 18 nov. 2021.

LI, J.; DING, Z.; MI, X.; WANG, J. **A model for estimating construction waste generation index for building project in China**. *Resources, Conservation and Recycling*, Ann Arbor, v. 74, p. 20-26, Maio 2013. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.02.015>. Acesso em: 30 Mar. 2021.

LING, Y.y.; LEO, K.C. Reusing timber formwork: importance of workmen's efficiency and attitude. **Building and Environment**, Oxford, v. 35, n. 2, p. 135-143, Fev. 2000. Elsevier BV. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0360-1323\(99\)00008-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0360-1323(99)00008-6). Acesso em: 30 Mar. 2021.

LU, W.; YUAN, H.; LI, J.; HAO, J. J.L.; MI, X.; DING, Z. An empirical investigation of construction and demolition waste generation rates in Shenzhen city, South China. **Waste Management**, Oxford, v. 31, n. 4, p. 680-687, Abr. 2011. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2010.12.004>. Acesso em: 30 Mar. 2021.

MAH, C. M.; FUJIWARA, T.; HO, C. S. Construction and demolition waste generation rates for high-rise buildings in Malaysia. **Waste Management & Research**, London, v. 34, n. 12, p. 1224-1230, 28 set. 2016. SAGE Publications. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1177/0734242x16666944>. Acesso em: 30 Mar. 2021.

MOSSMANN, Arlete Simone. **Levantamento do Gerenciamento do Resíduo de Madeira Utilizada para a Confecção de Estruturas de Concreto Armado**. 2011. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale dos Sinos - Unisinos, São Leopoldo - Rs, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-9AEKHD>. Acesso em: 18 nov. 2021.

OLIVEIRA, Fábio Silveira Martins de. **Plano de Corte Otimizado para Cofragens e Constraplacado**. 2019. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Engenharia Civil, Construção e Reabilitação Sustentáveis, Universidade do Minho. Portugal. 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1822/64352>. Acesso em: 22 nov. 2021.

ORLANDINI, L. C. **Estratégias para redução das emissões de CO₂ e o aumento de estoque de carbono do setor da construção por meio do uso da madeira**. 2021. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Ppg-Eci), Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu - PR, 2021.

ORLOWSKI, K. Automated manufacturing for timber-based panelized wall systems. **Automation in Construction**, Amsterdam, v. 109, n. 102988, Jan. 2020. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2019.10298>. Acesso em: 30 Mar. 2021.

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. 2014. 289 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Construção Civil, Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.11606/T.3.2014.tde-29042015-164644>. Acesso em: 30 Mar. 2021.

POON, C.S.; YU, Ann T.W.; NG, L.H. On-site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 32, n. 2, p. 157-172, jun. 2001. Elsevier BV. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344901000520?via%3Dihub>. Acesso em: 18 Nov. 2021.

ROSADO, L. P.; VITALE, P.; PENTEADO, C. S. G.; ARENA, U. Life cycle assessment of natural and mixed recycled aggregate production in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 151, p. 634-642, Maio 2017. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.068>. Acesso em: 30 Mar. 2021.

ROSADO, L. P.; VITALE, P.; PENTEADO, C. S. G.; ARENA, U. Life cycle assessment of construction and demolition waste management in a large area of São Paulo State, Brazil. **Waste Management**, Oxford, v. 85, p. 477-489, Fev. 2019. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2019.01.011>. Acesso em: 30 Mar. 2021.

ROVARIS, C. **Estudo para a ampliação do uso da madeira na construção de habitações no Brasil**. Masters dissertation—Foz do Iguaçu - Brasil: UNILA - Federal University of Latin American Integration, 2019.

SOBRAL, Leonardo; VERÍSSIMO, Alberto; LIMA, Eirivelthom; AZEVEDO, Tasso; SMERALDI. **Acertando o Alvo 2: consumo de madeira amazônica e certificação florestal no Estado de São Paulo**. Belém: Imazon, 2002. 72p. ISBN: 85-86212-05-9. Disponível em: <https://www.imaflora.org>. Acesso em: 30 Mar. 2021.

STEFFENS, F.; STEFFENS, H.; OLIVEIRA, F. R. Applications of natural fibers on architecture. **Procedia Engineering**, Cambridge, v. 200, p. 317-324, Jun. 2017. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.045>. Acesso em: 30 Mar. 2021.

TABELA DE COMPOSIÇÃO DE PREÇOS PARA ORÇAMENTOS - BIM. 15 ed. São Paulo: Pini, 2017. 920 p. Inclui índice; il. color.; 28cm. ISBN 9788572664813.

TOZZI, Rafael Fernando. **Estudo da influência do gerenciamento na geração de resíduos da construção civil (RCC): estudo de caso de duas obras em Curitiba-PR**. 2006. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba - Pr, 2006. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1884/8815>. Acesso em: 18 nov. 2021.

TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterization of representative building typologies for social

housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy**, Oxford, v. 87, p. 524-541, Dez. 2015. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.041>. Acesso em: 30 Mar. 2021.

TAM, V. W. y.; SHEN, L.; TAM, C.M. Assessing the levels of material wastage affected by sub-contracting relationships and projects types with their correlations. **Building and Environment**, Oxford, v. 42, n. 3, p. 1471-1477, mar. 2007. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.12.023>. Acesso em: 30 Mar. 2021.

SÁEZ, P. V.; DEL RÍO MERINO, M.; PORRAS-AMORES, C. Estimation of construction and demolition waste volume generation in new residential buildings in Spain. **Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy**, London, v. 30, n. 2, p. 137-146, 11 Nov. 2011. SAGE Publications. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1177/0734242x11423955>. Acesso em: 30 Mar. 2021.

ZENID, Geraldo José. **Madeira: Uso sustentável na construção covil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2009.

ZUBIZARRETA, M.; CUADRADO, J.; ORBE, A.; GARCÍA, H. Modeling the environmental sustainability of timber structures: a case study. **Environmental Impact Assessment Review**, New York, v. 78, n. 106286, Set. 2019. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2019.106286>. Acesso em: 30 Mar. 2021.

AUTORES

ORCID: 0000-0003-4570-9577

CÁSSIO GOMES DE OLIVEIRA. Mestrando em Engenharia Civil | Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA) | Programa de pós-graduação em Engenharia Civil (PPGECI) | Foz do Iguaçu, Paraná (PR) - Brasil | Correspondência para: Avenida Silvio Américo Sasdelli, 1842, Bairro Itaipu A, Edifício Comercial Lorivo, CEP: 85866-000, caixa postal 2044, Foz do Iguaçu, PR, Brazil | E-mail: cassiogomesoliveira@hotmail.com

ORCID: 0000-0003-1747-6884

LUANA CAROLINE ORLANDINI. Doutoranda em Engenharia e Tecnologia Ambiental | Universidade Federal do Paraná (UFPR)/Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) | Programa de Pós-graduação em Engenharia e Tecnologia Ambiental | Palotina - PR Brasil | Correspondência para: Rua Pioneiro, 2153 Dallas - Palotina (PR) - Brasil - CEP: 85950000 | E-mail: luanacorlandini@gmail.com

ORCID: 0000-0002-4956-3440

KATIA REGINA GARCIA PUNHAGUI. Doutora em Engenharia Civil | Universidade Federal da Integração Latino-Americana | Programa de pós-graduação em Engenharia Civil (PPGECI) | Foz do Iguaçu, Paraná (PR) - Brasil | Correspondência para: Avenida Silvio Américo Sasdelli, 1842, Bairro Itaipu A, Edifício Comercial Lorivo,

CEP: 85866-000, caixa postal 2044, Foz do Iguaçu, (PR) - Brasil | E-mail: katia.punhagui@unila.edu.br

ORCID: 0000-0002-7798-1156

ERIK SOUTO DE MORAES. Engenheiro Civil | Universidade Federal da Integração Latino-Americana | Foz do Iguaçu, Paraná (PR) - Brasil | Correspondência para: Avenida Silvio Américo Sasdelli, 1842, Bairro Itaipu A, Edifício Comercial Lorivo, CEP: 85866-000, caixa postal 2044, Foz do Iguaçu, (PR) - Brasil | E-mail: erikmoraes_dm@hotmail.com

ORCID: 0000-0002-3022-7420

EDNA POSSAN. Doutora em Engenharia Civil | Universidade Federal da Integração Latino-Americana | Programa de pós-graduação em Engenharia Civil (PPGECI) | Foz do Iguaçu, Paraná (PR) - Brasil | Correspondência para: Av. Tancredo Neves 6731, Bloco 6, espaço 1, sala 5 85867970 - Foz do Iguaçu (PR) - Brasil - CEP: 85867-000 | E-mail: epossan@gmail.com

COMO CITAR ESTE ARTIGO

DE OLIVEIRA, Cássio Gomes; ORLANDINI, Luana Caroline; PUNHAGUI, Katia Regina Garcia; POSSAN, Edna . Caracterização do Consumo de Madeira para Execução de Sistema Estrutural em Concreto Armado . **MIX Sustentável**, [S.l.], v. 8, n. 4, p. 119-131, set. 2022. ISSN 24473073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2022.v8.n4.119-131>.

DATA DE ENVIO: 16/12/2021

DATA DE ACEITE: 19/08/2022

PUBLICADO EM: 01/09/2022

EDITOR RESPONSÁVEL: Lisiane Ilha Librelotto

Registro da contribuição de autoria:

Taxonomia CRediT (<http://credit.niso.org/>)

Declaração de conflito: nada foi declarado.