



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO Em
ENGENHARIA CIVIL (PPGECI)**

**ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ E O AUMENTO DE
ESTOQUE TEMPORÁRIO DE CARBONO DO SETOR DA CONSTRUÇÃO POR
MEIO DO USO DA MADEIRA**

LUANA CAROLINE ORLANDINI

Foz do Iguaçu

2021



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO Em
ENGENHARIA CIVIL (PPGECI)**

**ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ E O AUMENTO DE
ESTOQUE TEMPORÁRIO DE CARBONO DO SETOR DA CONSTRUÇÃO POR
MEIO DO USO DA MADEIRA**

LUANA CAROLINE ORLANDINI

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Dra. Kátia Regina Garcia Punhagui

Foz do Iguaçu

2021

LUANA CAROLINE ORLANDINI

**ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ E O AUMENTO DE
ESTOQUE TEMPORÁRIO DE CARBONO DO SETOR DA CONSTRUÇÃO POR
MEIO DO USO DA MADEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof.^a Doutora Kátia Regina Garcia Punhagui
UNILA

Prof.^a Doutora Edna Possan
UNILA

Prof. Doutor Ailson Augusto Loper
UFPR

Prof. Doutor Vanderley Moacyr John
USP

Foz do Iguaçu, 09 de setembro de 2021.

Catálogo elaborado pelo Setor de Tratamento da Informação
Catálogo de Publicação na Fonte. UNILA – BIBLIOTECA LATINO-AMERICANA - PTI

O71

Orlandini, Luana Caroline.

Estratégias para redução das emissões de CO₂ e o aumento de estoque temporário de carbono do setor da construção por meio do uso da madeira / Luana Caroline Orlandini. - Foz do Iguaçu-PR, 2022.

133 f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana. Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Foz do Iguaçu-PR, 2022.

Orientador: Kátia Regina Garcia Punhagui.

1. Carbono - Fluxo e estoque. 2. Dióxido de carbono - Mitigação. 3. Ciclo de vida. 4. Produtos de madeira. 5. Consumo de materiais. 6. Construção civil. I. Punhagui, Kátia Regina Garcia. II. Título.

CDU 69:624.011.1

AGRADECIMENTOS

A Deus por me conceder a saúde, discernimento e sabedoria necessária para superar os obstáculos que surgiram ao longo desde percurso.

A minha mãe Rosi, meus irmãos Rodrigo e Diego e meus tios pelo apoio incondicional, por acreditarem em mim e não medirem esforços para que a obtenção desse título fosse possível.

Ao meu parceiro de vida Luís, pela paciência, incentivo e auxílio, foi essencial para que eu chegasse até aqui. E a nossa bebê Laura, que me permitiu terminar esta pesquisa.

As minhas amigas de longa jornada Lu, Ju e Dai por me apoiarem, me escutarem e manter-me animada para continuar a trilhar o meu caminho.

Aos meus colegas que se tornaram amigos Isa e Lucca pelo companheirismo desenvolvida ao longo do mestrado. Estendo ao Erick e Cassio pelo conhecimento e aprendizado compartilhado e ao Eduardo pela disponibilidade de dados primários.

A minha orientadora, Prof.^a. Doutora Katia Punhagui pela constante orientação, disposição, suporte e paciência em atender e entender minhas dúvidas e dificuldades.

A todos os professores do PPGEI, pelos ensinamentos, comprometimento e excelência nas atividades que conduzem.

E por fim, a UNILA e a CAPES pelo suporte financeiro, concedendo a bolsa de estudos e auxílio sempre que necessário.

A todos, os meus mais sinceros agradecimentos.

“Faça o teu melhor, na condição que você tem, enquanto você não tem condições melhores, para fazer melhor ainda.”
(Mario Sergio Cortella)

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar estratégias para reduzir as emissões de CO₂ e aumentar o estoque temporário de carbono do setor da construção civil estimulando o uso de componentes de madeira aplicados em fins de longo prazo. Para isso, dividiu-se o estudo em três etapas. 1) Avaliar o setor madeireiro nacional para identificar a cadeia produtiva da madeira com menores impactos ambientais e socioeconômicos, por meio de revisão bibliográfica e análise qualitativa e quantitativa. 2) Analisar a cadeia produtiva de madeira plantada e quantificar o carbono estocado (acima e abaixo do solo) e emitido em cada fase do seu ciclo de vida, aplicando o método de fluxo de massa. 3) Analisar estratégias para reduzir as emissões de CO₂ e aumentar o estoque temporário de carbono do setor da construção, por meio do melhoramento de desempenho na etapa de manufatura do produto de madeira, e de seu uso em fins de longo prazo na fase da construção de edificações térreas com diferentes técnicas construtivas em madeira. Os resultados indicam que no Brasil a cadeia produtiva de madeira plantada apresenta melhores perspectivas de fornecimento sustentado de madeira para o mercado nacional. Com isso, analisou-se o fluxo de carbono da silvicultura de pinus e eucalipto e como resultados, considerando as etapas de operações florestais e processamento primário emitiu-se 1,0 – 1,25 tCO₂/t, as maiores emissões ocorreram no processamento primário e foram estocados 0,47 tC/t para produção de 1,0 tonelada de madeira plantada serrada bruta. Dessa forma, a primeira estratégia (E1) aumentou o desempenho no processamento primário da madeira serrada em 7,0% com a utilização de *software* de otimização e a segunda estratégia (E2) substituiu o *market share* dos produtos com curto ciclo de vida (1 ano) por produtos de longo ciclo de vida (40 anos). Como resultados, com a efetivação da E1 pode-se mitigar 4% (28,3 MtCO₂) das emissões de modo acumulado (2022-2050). E na E2 mitigou-se 133,1 MtCO₂ e pode-se elevar o estoque temporário de carbono em 8% (10,1 MtC) com a inserção teórica e exclusiva por *wood frame* e 19% (24,7 MtC) se fossem construídas apenas residências em *CLT* (potencial máximo hipotético) (acumulado 2022 a 2050). Como considerações finais, nota-se que a implementação paulatina de estratégias conservadoras e factíveis de absorção de mercado é possível reduzir quantidade considerável de emissões de CO₂ e estocar carbono ao longo ciclo de vida do produto de madeira e ainda que a viabilização de tais estratégias seja um processo de múltiplos agentes, a disseminação de ganhos ambientais permite o planejamento voltado para a redução de impactos.

Palavras-chave: Setor da construção. Fluxo e estoque de carbono. Mitigação de CO₂. Ciclo de Vida. Produto de madeira. Consumo dos materiais.

ABSTRACT

This dissertation aimed to evaluate strategies to mitigate CO₂ emissions and increase the carbon sequestration in the construction industry, stimulating the use of wood products for long-term purposes. Thus, the dissertation has three steps. 1) Assess the national wood industry to identify the wood production chain with lower environmental and socioeconomic impacts through literature review and qualitative and quantitative analysis. 2) Analyze the planted wood production chain and quantify the carbon stocked (aboveground and underground) and released into the atmosphere at each phase of its life cycle, applying the mass flow analysis method. 3) Analyze strategies to reduce CO₂ emissions and increase temporary carbon stock in the construction industry by improving the efficiency in the wood product manufacturing phase and its long-term use in the construction phase of one-story buildings with different wood construction techniques. In Brazil, the wood production chain of products from planted forests presents good prospects for sustainable wood supply for the national market. Thus, the indicators for carbon flow for Pinus and Eucalyptus forestry shows that when considering the phases of forestry harvesting and primary processing, the range was 1.0 - 1.25 tCO₂/t released into the atmosphere, with the highest carbon emissions occurring during the primary processing phase and 0.47 tC/t stored to produce 1.0 ton of dry raw sawn wood. Thus, the first strategy (E1) increased the performance in the primary processing of sawn wood by 7.0% using optimization software, and the second strategy (E2) replaced the market share of products with a short life cycle (1 year) for long-life cycle products (40 years). As a result, with the efficiency of E1, it is possible to mitigate 4% (28.3 MtCO₂) of accumulated emissions (2022-2050). And in E2 133.1 MtCO₂ was mitigated, and the temporary carbon stock could be increased by 8% (10.1 MtC) with the theoretical and exclusive insertion by wood frame and 19% (24.7 MtC) if they were built only in CLT (maximum hypothetical potential) (cumulative 2022 to 2050). Finally, the gradual implementation of conservative and feasible market sequestration strategies may reduce considerable amounts of CO₂ emissions and store carbon throughout the life cycle of wood products. Even if the feasibility of such approaches is processes of multiple agents, the spread of environmental betterments allows the planning to reduce impacts.

Keywords: Construction sector. Carbon stock and flow analysis. CO₂ mitigation. Life cycle. Wood product. Consumption of materials.

Sumário

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	14
1.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS	14
1.2 IMPACTOS AMBIENTAIS DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL E SETOR FLORESTAL BRASILEIRO	15
1.3 OBJETIVOS	17
1.3.1 Objetivo geral	17
1.3.2 Objetivos específicos	17
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	17
1.5 REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 1	18
2. CADEIAS PRODUTIVAS DA MADEIRA NO BRASIL	21
2.1 MÉTODO.....	22
2.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
2.2.1 Dados socioeconômicos	22
2.2.2 Dados Ambientais	28
2.2.3 Carbono acima e abaixo do solo	30
2.2.4 Emissões de CO ₂	31
2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO 2	36
2.6 REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 2.....	36
3. AVALIAÇÃO DO FLUXO DE CARBONO DA CADEIA PRODUTIVA DE MADEIRA DE FLORESTA PLANTADA PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL	40
3.1 MÉTODO.....	40
3.1.1 Descrição das etapas consideradas para execução do fluxo de carbono da madeira plantada	41
3.1.2 Cálculo de captura e estoque temporário carbono e emissão de CO ₂	45
3.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
3.2.1 Biomassa e captura de carbono acima e abaixo do solo proveniente das operações florestais	47
3.2.2 Fluxo de carbono e emissão de CO ₂ da madeira plantada	52
3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO 3	56
3.4 REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 3.....	57

4. ESTRATÉGIAS PARA REDUZIR AS EMISSÕES DE CO₂ E AUMENTAR O ESTOQUE TEMPORÁRIO DE CARBONO NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL PELO USO DA MADEIRA.....	64
4.1 MÉTODO.....	65
4.1.2 ESTRATÉGIA 1: AUMENTO DO RENDIMENTO DO PROCESSAMENTO DA MADEIRA PLANTADA SERRADA BRUTA.....	65
4.1.3 Cenário de Referência (CR1)	66
4.1.4 Cenário Estratégico (CE1)	67
4.1.5 Emissões de CO ₂ e estoque temporário de carbono (ETC)	68
4.1.6 ESTRATÉGIA 2: VARIAÇÃO DO <i>MARKET SHARE</i> DAS HABITAÇÕES COM PAREDES DE MADEIRA.....	69
4.1.7 Cenário de Referência (CR2)	70
4.1.8 Cenário Estratégico (CE2)	70
4.1.9 Domicílios Particulares Permanentes (DPP) com paredes em alvenaria	72
4.1.10 Domicílios Particulares Permanentes (DPP) com paredes de madeira	74
4.1.11 Emissões de CO ₂ e estoque temporário de carbono	77
Limitações do estudo	80
4.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES	81
4.2.1 Estratégias para mitigar as emissões de CO ₂ no setor da construção civil do Brasil	81
4.2.2 Estratégias para elevar o estoque temporário de carbono no setor da construção civil do Brasil	83
4.2.3 Análise de Sensibilidade	87
4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO 4	90
4.4 REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 4.....	91
5. CONCLUSÕES FINAIS DA PESQUISA.....	100
6. APÊNDICE A – PLANTAS BAIXAS DAS CASAS DE ALVENARIA E CONCRETO ARMADO.....	102
7. APÊNDICE B – PLANTAS BAIXAS DAS CASAS EM MADEIRA	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Avaliação quantitativa dos impactos socioeconômicos das cadeias produtivas de madeira nativa e plantada	28
Tabela 2: Avaliação quantitativa dos impactos ambientais das florestas nativas e plantadas.....	33
Tabela 3: Dados de biomassa seca acima do solo separados por componente da árvore (t/ha).....	43
Tabela 4: Dados de biomassa seca acima e abaixo do solo do gênero de eucalipto e pinus para composição do fluxo de carbono	44
Tabela 5: Dados de rendimento e resíduos (%) de biomassa encontrados para processamento primário da madeira plantada serrada bruta	45
Tabela 6: Teor médio de carbono na biomassa seca nos diferentes componentes das árvores	46
Tabela 7: Dados de biomassa seca e carbono acima e abaixo do solo de diferentes países, nas unidades de toneladas por hectare (t/ha) e seus respectivos percentuais	50
Tabela 8: Intervalos de variação do rendimento da madeira plantada, proveniente das etapas de operações florestais e processamento primário, obtidos nas (Tabela 4 e Tabela 5).....	52
Tabela 9: Intervalos de variação dos resíduos da madeira plantada, proveniente das etapas de operações florestais e processamento primário obtidos nas (Tabela 4 e Tabela 5).....	53
Tabela 10: Intervalos de variação de rendimento e resíduos, encontrados nas etapas de operações florestais e processamento primário da madeira serrada plantada para pinus e eucalipto	66
Tabela 11: Comparação entre o método convencional do processamento primário da madeira serrada seca e métodos de otimização	68
Tabela 12: Resíduos gerados para produção de 1,0 tonelada de madeira serrada bruta seca (CR1)	68
Tabela 13: Resíduos gerados para produção de 1,0 tonelada de madeira serrada bruta seca (CE1)	69

Tabela 14: Características dos elementos para quantificação dos consumos dos materiais.....	73
Tabela 15: Consumos dos materiais utilizados	74
Tabela 16: Diferentes técnicas construtivas em madeira (descrição e dados considerados).....	75
Tabela 17: Densidade das diferentes espécies dos gêneros de pinus e eucalipto (NBR 7190)	76
Tabela 18: Consumo dos diferentes materiais necessários para construção de residências com paredes em alvenaria de estrutura em concreto armado feito <i>in loco</i> (toneladas/m ² de área construída)	76
Tabela 19: Consumo de madeira para construção dos Domicílios Particulares Permanentes (DPP) no Brasil com base nas 30 plantas em alvenaria e 30 plantas das diferentes técnicas construtivas em madeira (toneladas/m ² de área construída).....	77
Tabela 20: Emissão de CO ₂ (kgCO ₂ /t) dos diferentes materiais utilizados na construção de residências em alvenaria de estrutura em concreto armado feito <i>in loco</i> e madeira	78
Tabela 21: Emissões de CO ₂ dos materiais para construção das residências com paredes de alvenaria com estrutura em concreto armado feito <i>in loco</i> (kgCO ₂ /m ² área construída)	79
Tabela 22: Emissões de CO ₂ para construção das residências com paredes de madeira plantada das diferentes técnicas construtivas por m ² de área construída (kgCO ₂ /m ² área construída)	79
Tabela 23: Emissões de CO ₂ do cenário estratégico 2 para construção das residências com paredes de madeira nativa em Wood Frame e CLT por m ² de área construída (kgCO ₂ /m ² área construída).....	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mudanças observadas na temperatura global e respostas modeladas.....	14
Figura 2: Quantidade produzida de madeira (m ³) por estado e por tipo floresta (Nativa e Plantada) (Dados de 2018).	23
Figura 3: Produção madeireira de florestas nativas e plantadas.....	24
Figura 4: Evolução da quantidade (m ³) de madeira extraída para uso industrial, e seu valor gerado (R\$) por tipo de floresta.....	25
Figura 5: Distribuição dos empregos, por segmento florestal em 2018.....	26
Figura 6: Área florestal (hectare) certificada com o selo FSC no Brasil por estado em 2017	27
Figura 7: Biomassa acima e abaixo do solo por tipo de floresta/bioma (dados de 2020)	29
Figura 8: Biomassa da Floresta Amazônica e Floresta Plantada (dados de 2020)	29
Figura 9: Carbono acima e abaixo do solo por tipo de floresta/bioma (dados de 2020)	31
Figura 10: Taxas de desmatamento da Amazônia Legal (hectare)	34
Figura 11: Taxas de desmatamento da Amazônia Legal por estado (hectare)	35
Figura 12: Etapas consideradas da cadeia produtiva da madeira plantada	42
Figura 13: Distribuição da biomassa acima do solo dos componentes florestais provenientes da Tabela 3. (2) Distribuição da biomassa arbórea (acima e abaixo) do solo dos componentes florestais provenientes da Tabela 4.....	47
Figura 14: Distribuição da biomassa seca e carbono acima e abaixo do solo separado por gênero (Eucalipto e Pinus) ao longo dos anos Tabela 4 (valores medianos).....	48
Figura 15: Distribuição de biomassa remanescente de tocos e raízes de florestas plantadas.....	52
Figura 16: Fluxo de carbono considerando as operações florestais (madeira em tora) acima e abaixo do solo, processamento primário (PP) (madeira serrada) de floresta de pinus e eucalipto (valores medianos)	54
Figura 17: Etapas consideradas para elaboração de estratégias de mitigação de CO ₂	65
Figura 18: Exemplos de diagramas de corte utilizando <i>softwares</i> de otimização.....	67

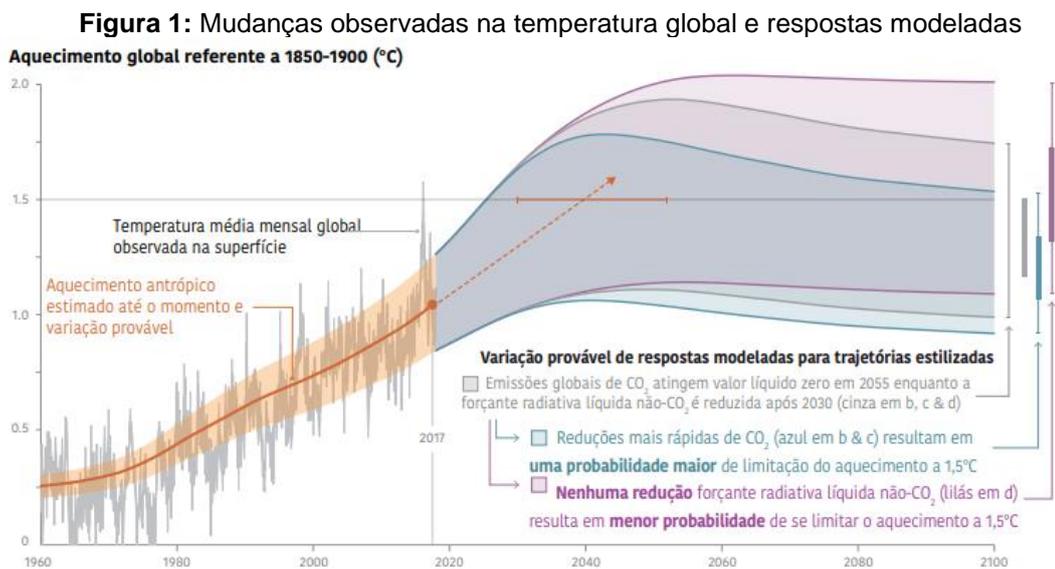
Figura 19: Etapas necessárias para definir os fatores de emissão de CO ₂ e modelar os cenários de referência e estratégico	71
Figura 20: Percentual de residências de acordo com a área construída, tipos de domicílios particulares permanentes (DPP) e quantidades de cômodos	71
Figura 21: Cenário estratégico 1 (CE1) – Emissões mitigadas com o aumento do rendimento do processamento primário da madeira plantada serrada bruta (valores medianos).....	81
Figura 22: Cenário estratégico 2 (CE2) - Emissões mitigadas com a variação do market share das habitações com paredes de alvenaria e concreto armado por habitações com paredes em madeira (wood frame e CLT) (valores medianos)Fonte: Autora (2021) ..	82
Figura 23: Potencial de estoque temporário de carbono promovido pelo cenário estratégico 2 (CR2) com o aumento do market share das habitações (casas) com paredes de madeira plantada em relação ao cenário de referência (CR2) (valores medianos).....	84
Figura 24: Consumo de madeira de diferentes técnicas construtivas (m ³ por m ² de área construída)	85
Figura 25: Incremento no estoque temporário de carbono com a implantação da estratégia 1 (CE1) e estratégia 2 (CE2) (valores medianos).....	86
Figura 26: Variações nas emissões de CO ₂ do cenário estratégico 2 (CR2) promovido pela substituição de madeira plantada por madeira nativa de extração seletiva convencional (ilegal) (valores medianos)	88
Figura 27: Balanço de carbono do cenário estratégico 2 (CE2) empregando paredes de madeira nativa de extração seletiva convencional (ilegal) e madeira plantada (valores medianos).....	89

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

1.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Nos últimos 50 anos muitas conferências e organizações governamentais¹ (GAETANI et al., 2012; MMA, 2019) vêm discutindo ações para minimizar as mudanças climáticas e reduzir os Gases de Efeito Estufa (GEE), principalmente os gases provenientes do dióxido de carbono (CO₂), que representam 70% (IPCC,2014). O mais recente, o Acordo de Paris, definiu ações para limitar o aquecimento global abaixo de 1,5°C - 2°C (MEINSHAUSEN et al., 2009; ROGELJ et al., 2015; TONG et al., 2019; WINCHESTER; REILLY, 2020).

A Figura 1, do relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) de 2019 exhibe a trajetória observada da temperatura global e as projeções caso sejam elaboradas estratégias ou não, para atenuar as emissões dos GEE.



Fonte: Relatório IPCC, 2019

¹ 1972 Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano - Estocolmo
 1972 Criação da UNEP - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
 1988 Criação do IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
 1992 Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – Agenda 21
 1997 Protocolo de Kyoto
 2010 Cúpula do Milênio
 2012 Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável - Rio +20
 2015 Cúpula das Nações Unidas – Agenda 2030
 2015 Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – COP 21

As variações em laranja (1960 a 2020) evidenciam o aquecimento global observado, onde a partir de 2017 as setas tracejadas demonstram estimativas do ritmo atual de aquecimento global, no qual deve-se atingir a temperatura de 1,5°C entre 2030 e 2050 (IPCC, 2019a). Os relatórios do *United Nations Environment Programme* (UNEP), concluem que as emissões estão aumentando, atingindo 55,3 GtCO₂ em 2018, dessa forma até 2030 as emissões precisarão ser 25% a 55% menores que as expostas para alcançar as metas governamentais estabelecidas (UNEP, 2019).

O Brasil em 2018 emitiu 1,94 bilhão tCO₂eq², sendo o 7º maior emissor GEE (2,9% do total mundial). Diferente dos outros países onde a maior parcela se concentra no setor de energia, no Brasil as maiores emissões estão na mudança do uso do solo, principalmente no desmatamento (44%), seguido agropecuária (25%) e energia (23%) (SEEG, 2019a). É necessário estratégias em todos os setores, seja de energia, processos industriais, mudança do uso da terra e agricultura para que as emissões de CO₂ diminuam e se aproximem de zero até o fim do século para a temperatura global estabilizar (DAVIS *et al.*, 2018; GASSER *et al.*, 2015; MATTHEWS; CALDEIRA, 2008; ROGELJ *et al.*, 2015).

1.2 IMPACTOS AMBIENTAIS DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL E SETOR FLORESTAL BRASILEIRO

A indústria da construção civil é o maior consumidor global de recursos e energia devido à natureza de sua atividade de transformação do meio. É caracterizado por contribuir significativamente nas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e emissões de dióxido de carbono (CO₂) em todo seu ciclo de vida (AHMAD; ZHAO; LI, 2019; LIU *et al.*, 2020; TALAEI; GEMECHU; KUMAR, 2020; ZHANG *et al.*, 2019).

De maneira global, devido a extração de matérias primas utilizados na construção civil consome com 30-40% dos recursos e utiliza 28-40% do uso final de energia (IEA; UN, 2018; UNEP; SBCI, 2009), sendo responsável por gerar 35-40% dos resíduos sólidos decorrentes da construção e demolição das edificações (CONSTRUCTION MATERIALS RECYCLING ASSOCIATION, 2005; HENDRIKS and. PIETERSEN, 2000 *apud* SOLÍS-GUZMÁN *et al.*, 2009; UNEP, 2012). Com isso, emite

² CO₂ equivalente é soma de todos os gases de efeito estufa, convertidos em gás carbônico.

aproximadamente 30-33% dos Gases de efeito estufa no mundo (HOXHA *et al.*, 2017; UNEP; SBCI, 2009).

No Brasil o setor industrial (1990-2015) praticamente dobrou as emissões de GEE, passando de 51,5 MtCO₂ para 96,0 MtCO₂ (SEEG, 2019a), o que compreende emissões diretas decorrentes de processos de transformação dos materiais (SEEG, 2019; EPA, 2017). Porém, as emissões de GEE podem ser reduzidas pelo uso de estruturas mais leves e pelo uso de materiais menos intensivos em carbono (HERTWICH *et al.*, 2019).

A utilização de produtos de madeira na construção civil é uma alternativa bem sucedida para diminuir os impactos climáticos do setor, além de ser um recurso renovável que captura e armazena carbono em todo seu ciclo de vida (BORJESSON; GUSTAVSSON, 2000; HERTWICH *et al.*, 2019). Em substituição ao aço e concreto pode-se reduzir 14-50% das emissões de GEE e apresentar uma redução no consumo de 20 a 80% de energia (BORJESSON; GUSTAVSSON, 2000; OLIVER *et al.*, 2014; UPTON *et al.*, 2008; WINCHESTER; REILLY, 2020).

O Brasil dispõe da segunda maior área florestal do mundo (FAO, 2019) com aproximadamente 500 milhões de hectares, sendo 59% do território coberto por florestas naturais representando (98%) e por florestas plantadas (2%) (MAPA, 2019; SNIF, S. F. B., 2019). Deste modo, com o vasto potencial florestal brasileiro evidencia-se oportunidades em reduzir as emissões dos Gases de Efeito Estufa e dióxido de carbono e aumentar o estoque de carbono no setor da construção civil utilizando produtos de madeira que é um material renovável e tem como aliado a bioeconomia e economia circular³.

³ Baseia-se na utilização de materiais de natureza biológica, buscando reduzir a extração dos recursos naturais, consumo, energia e desperdícios de materiais, visando estender o seu uso, através da transformação em novos produtos, recuperação e reutilização dos resíduos visando a economia sustentável dos setores (FOSTER, 2020; GLOBAL BIOECONOMY SUMMIT, 2018; PURKUS; LÜDTKE, 2020).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Avaliar estratégias para mitigar as emissões de CO₂ e aumentar o estoque temporário de carbono pelo setor da construção civil utilizando produtos de madeira a fins de longo prazo nas edificações residenciais térreas.

1.3.2 Objetivos específicos

- I. Avaliar o setor madeireiro nacional, florestas nativas e plantadas, buscando identificar a cadeia produtiva de madeira com menores impactos ambientais e socioeconômicos;
- II. Analisar o fluxo de carbono da cadeia produtiva da madeira plantada, afim de identificar as fases com maior potencial para estoque de carbono e redução das emissões de CO₂;
- III. Analisar estratégias para reduzir as emissões de CO₂ e aumentar o estoque temporário de carbono pelo setor da construção, por meio do uso da madeira em fins de longo prazo nas edificações residenciais.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação contém cinco capítulos e está estruturada em formato de artigos, onde:

- No capítulo 1 é apresentado a introdução e justificativa geral ao conteúdo e os objetivos propostos para a pesquisa e execução da dissertação;
- No capítulo 2 é analisado as cadeias produtivas de produtos de madeira nacional e identifica aquela com menos impactos ambientais e socioeconômicos;
- No capítulo 3 é avaliado o fluxo de carbono da cadeia produtiva de produtos de madeira destinados à construção civil e identifica as etapas do processo de produção com maior potencial para o estoque de carbono e mitigação das emissões de CO₂;

- No capítulo 4 é analisada estratégias para o aumento do estoque temporário de carbono e redução das emissões de CO₂ pelo setor da construção por meio de ações nas etapas de produção dos artefatos de madeira e uso dos produtos pela construção;
- No capítulo 5 é apresentado as conclusões finais da pesquisa.

1.5 REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 1

AHMAD, Munir; ZHAO, Zhen-Yu; LI, Heng. Revealing stylized empirical interactions among construction sector, urbanization, energy consumption, economic growth and CO₂ emissions in China. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 657, p. 1085–1098, 2019.

BORJESSON, Pal; GUSTAVSSON, Leif. Greenhouse gas balances in building construction: wood versus concrete from life-cycle and forest land-use perspectives. [s. l.], *Energy Policy*, p. 575–588, 2000.

DAVIS, Steven J. *et al.* Net-zero emissions energy systems. **Science**, [s. l.], v. 360, n. 6396, p. eaas9793, 2018.

EPA. Global Greenhouse Gas Emissions Data. **United States Environmental Protection Agency**, United States, 2017. Disponível em: <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>.

FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAO YEARBOOK OF FOREST PRODUCTS 2017 (MULTILINGUAL EDITION)**. S.I.: FOOD & AGRICULTURE ORG, 2019.

FOSTER, Gillian. Circular economy strategies for adaptive reuse of cultural heritage buildings to reduce environmental impacts. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 152, p. 104507, 2020.

GAETANI, Francisco *et al.* O Brasil na Agenda Internacional para o Desenvolvimento Sustentável. [s. l.], p. 199, 2012.

GASSER, T. *et al.* Negative emissions physically needed to keep global warming below 2 °C. **Nature Communications**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 7958, 2015.

GLOBAL BIOECONOMY SUMMIT. **Innovation in the Global Bioeconomy for Sustainable and Inclusive Transformation and Wellbeing**. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: https://gbs2018.com/fileadmin/gbs2018/Downloads/GBS_2018_Communique.pdf. Acesso em: 20 ago. 2019.

HERTWICH, Edgar G *et al.* Material efficiency strategies to reducing greenhouse gas emissions associated with buildings, vehicles, and electronics—a review. **Environmental Research Letters**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 043004, 2019.

HOXHA, Endrit *et al.* Influence of construction material uncertainties on residential building LCA reliability. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 144, p. 33–47, 2017.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Aquecimento Global de 1,5 °C (IPCC) - Sumário para Formuladores de Políticas**. [S. l.: s. n.], 2019. IPCC. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2020.

LIU, Bin *et al.* Analysis and comparison of embodied energies in gross exports of the construction sector by means of their value-added origins. **Energy**, [s. l.], v. 191, p. 116546, 2020.

LU, Hangyong Ray; EL HANANDEH, Ali; GILBERT, Benoit P. A comparative life cycle study of alternative materials for Australian multi-storey apartment building frame constructions: Environmental and economic perspective. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 166, p. 458–473, 2017.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Florestas do Brasil em resumo**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/documentos/publicacoes/4261-florestas-do-brasil-em-resumo-digital/file>.

MARKSTRÖM, Emilia *et al.* Use of wood products in multi-storey residential buildings: views of Swedish actors and suggested measures for an increased use. **Wood Material Science & Engineering**, [s. l.], v. 14, n. 6, p. 404–419, 2019.

MATTHEWS, H. Damon; CALDEIRA, Ken. Stabilizing climate requires near-zero emissions. **Geophysical Research Letters**, [s. l.], v. 35, n. 4, p. L04705, 2008.

MEINSHAUSEN, Malte *et al.* Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2 °C. **Nature**, [s. l.], v. 458, n. 7242, p. 1158–1162, 2009.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. United Nations Framework Convention on Climate Change ou UNFCCC. [s. l.], 2019. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas.html>.

OLIVER, Chadwick Dearing *et al.* Carbon, Fossil Fuel, and Biodiversity Mitigation With Wood and Forests. **Journal of Sustainable Forestry**, [s. l.], v. 33, n. 3, p. 248–275, 2014.

PURKUS, Alexandra; LÜDTKE, Jan. A systemic evaluation framework for a multi-actor, forest-based bioeconomy governance process: The German Charter for Wood 2.0 as a case study. **Forest Policy and Economics**, [s. l.], v. 113, p. 102113, 2020.

ROGELJ, Joeri *et al.* Zero emission targets as long-term global goals for climate protection. **Environmental Research Letters**, [s. l.], v. 10, n. 10, p. 105007, 2015.

SATHRE, Roger; O'CONNOR, Jennifer. Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. **Environmental Science & Policy**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 104–114, 2010.

SEEG. **Análise das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas implicações para as metas do Brasil - 1970 a 2018**: Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://seeg-br.s3.amazonaws.com/2019-v7.0/documentos-analiticos/SEEG-Relatorio-Analitico-2019.pdf>.

SNIF, Serviço Florestal Brasileiro. **Boletim SNIF - Serviço Florestal Brasileiro**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: http://snif.florestal.gov.br/images/pdf/publicacoes/Boletim-SNIF_Ed1_2019.pdf.

SOLÍS-GUZMÁN, Jaime *et al.* A Spanish model for quantification and management of construction waste. **Waste Management**, [s. l.], v. 29, n. 9, p. 2542–2548, 2009.

TALAEI, Alireza; GEMECHU, Eskinder; KUMAR, Amit. Key factors affecting greenhouse gas emissions in the Canadian industrial sector: A decomposition analysis. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 246, p. 119026, 2020.

TONG, Dan *et al.* Committed emissions from existing energy infrastructure jeopardize 1.5 °C climate target. **Nature**, [s. l.], v. 572, n. 7769, p. 373–377, 2019.

UNEP, United Nations Environment Programme. **The emissions gap report 2019**. [S. l.: s. n.], 2019. *E-book*. Disponível em: <https://www.unenvironment.org/resources/emissions-gap-report-2019>. Acesso em: 30 mar. 2020.

UNEP, United Nations Environment Programme; SBCI, Sustainable Buildings & Climate Initiative. **Buildings and Climate Change**. [S. l.: s. n.], 2009. Disponível em: <http://voyage.eco-logis.org/wp-content/uploads/2015/07/SBCI-building-and-climate-change.pdf>. Acesso em: 10 out. 2019.

UPTON, Brad *et al.* The greenhouse gas and energy impacts of using wood instead of alternatives in residential construction in the United States. **Biomass and Bioenergy**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 1–10, 2008.

WINCHESTER, Niven; REILLY, John M. The economic and emissions benefits of engineered wood products in a low-carbon future. **Energy Economics**, [s. l.], v. 85, p. 104596, 2020.

ZHANG, Lei *et al.* CO₂ emission linkage analysis in global construction sectors: Alarming trends from 1995 to 2009 and possible repercussions. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 221, p. 863–877, 2019.

2. CADEIAS PRODUTIVAS DA MADEIRA NO BRASIL

Estudos de áreas distintas têm evidenciado a importância das florestas para mitigar as emissões de dióxido de carbono (CO₂), que no processo de fotossíntese absorvem o CO₂ da atmosfera e armazenam carbono em diversas fases do seu ciclo de vida. No Brasil as florestas nativas representam 98% das florestas (MAPA, 2019), sendo 69% do total florestal passível de exploração, podendo ser explorada legalmente de terras públicas e privadas por meio do manejo florestal e o corte raso.

A extração por meio do manejo é regulamentado de acordo com os critérios e ações estabelecidos no documento chamado Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS), sendo fundamentado em critérios técnicos de impacto reduzido para que se promova a regeneração das espécies, seu ciclo de corte é de 25 ou 30 anos, com intensidade máxima de exploração de 30 m³ ha⁻¹ (PEREIRA *et al.*, 2010; (ESPADA *et al.*, [s. d.]; NUMAZAWA, 2019). A extração pelo corte raso é prevista no Código Florestal e o proprietário do território pode realizar a derrubada de até 20% da floresta nativa que existe no terreno desde que seja respeitada a proporção de reserva legal.

Já as florestas plantadas representam 2% do território nacional e o eucalipto é o gênero mais utilizado com 75,2% do total de produção (7,4 milhões de hectares), sendo utilizado na sua maioria para a indústria de celulose e papel (EMBRAPA, 2017; MENDES, 2016). O pinus por sua vez representa 20,6% da produção de árvores plantadas, um pouco mais de 2 milhões de hectares sendo mais utilizado para a construção civil na forma de madeira serrada, painéis, laminados, compensados e esquadrias (EMBRAPA, 2017; IBÁ, 2019; IBGE, 2019; SNIF, S. F. B., 2019).

No Brasil o incremento do uso de produtos de madeira no setor da construção pode aumentar ou diminuir as emissões de CO₂ conforme o tipo de extração da madeira (PUNHAGUI, 2014). Nesse contexto, **o objetivo deste capítulo é analisar e comparar as fontes de recursos dos produtos de madeira destinados à construção civil, provenientes de florestas nativa e plantada, e identificar a cadeia produtiva que apresenta menores impactos socioeconômicos e ambientais.**

2.1 MÉTODO

O método proposto para este capítulo, foi a análise qualitativa e quantitativa das cadeias produtivas de madeira no Brasil, com interesse em informações como: polos madeireiros, quantidade produzida de madeira, tipos de produtos gerados, vínculos empregatícios, biomassa e carbono acima e abaixo do solo, emissões de CO₂. Buscou-se estes dados através de consulta bibliográfica em livros, teses, dissertações, relatórios, publicações governamentais e artigos nacionais e internacionais.

Foram priorizados sites de instituições públicas e privadas tais como: *World Wildlife Fund* (WWF-Brasil), *Global Forest Resources Assessment (FRA)*, Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF) (inserida atualmente no IBÁ), Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), Serviço Florestal Brasileiro (SFB), Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Para o levantamento dos artigos, teses e dissertações foram realizadas pesquisas em bancos de dados, na Biblioteca Digital Brasileira, repositório das instituições de ensino e *Google Acadêmico* usando as palavras chaves: cadeias produtivas da madeira, cadeia produtiva da madeira nativa, exploração convencional da madeira, manejo florestal, silvicultura, desmatamento autorizado da madeira, madeira ilegal no Brasil, sustentabilidade nas cadeias produtivas da madeira, desenvolvimento sustentável, produção sustentável da madeira.

Posteriormente, as informações qualitativas foram sintetizadas e apresentadas de forma descritiva ao longo deste capítulo, e a análise quantitativa foi condensada em uma tabela de dados.

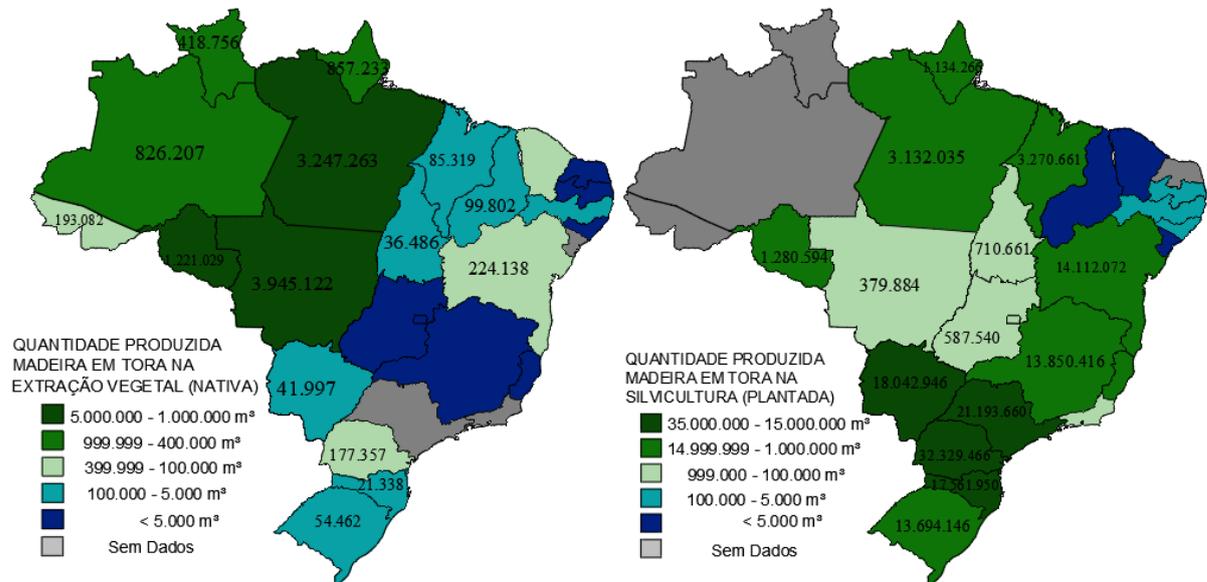
2.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES

2.2.1 Dados socioeconômicos

Os principais polos madeireiros das florestas nativas se encontram nos estados do Mato Grosso (33,96%), Pará (27,95%) e Rondônia (10,51%), estes são

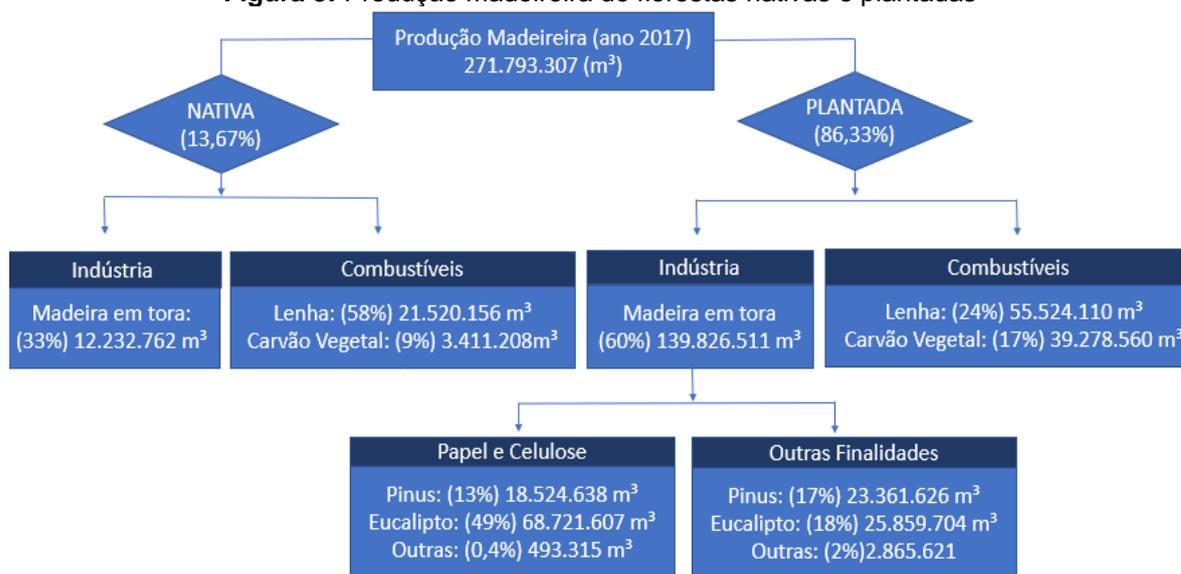
responsáveis 72,43% da exploração madeireira nacional (IBGE, 2018). Para as florestas plantadas os estados com maior representatividade são Paraná (22,07%), São Paulo (14,4%) e Santa Catarina (12 %) (IBGE, 2018; MENDES, 2016) (Figura 2).

Figura 2: Quantidade produzida de madeira (m³) por estado e por tipo floresta (Nativa e Plantada) (Dados de 2018).



Fonte: Autora com dados do (IBGE, 2018)

Os principais produtos madeireiros do setor florestal são a madeira em tora, lenha e carvão vegetal e as destinações são para uso industrial e combustíveis. A Figura 3 apresenta a quantidade produzida de madeira nativa e plantada no ano de 2017.

Figura 3: Produção madeireira de florestas nativas e plantadas

Fonte: Autora, adaptado (SNIF, 2019b)

A cadeia produtiva de madeira plantada apresentou 86,33% da quantidade produzida de madeira no setor florestal brasileiro, com 234,63 milhões de m³. A maior produção foi para o setor industrial, onde a madeira em tora representou 60% (139,83 milhões m³), seguido da lenha 24% (55,53 milhões m³) e carvão vegetal 17% (39,28 milhões m³) para combustíveis (SNIF, S. N. de I. F., 2019). Na extração da madeira nativa a maior quantidade produzida foi para o setor de combustíveis, onde a lenha representou 58% (21,52 milhões m³), seguido da madeira em tora para o setor industrial 33% (12,23 milhões m³) (MAPA, 2019; SNIF, S. N. de I. F., 2019).

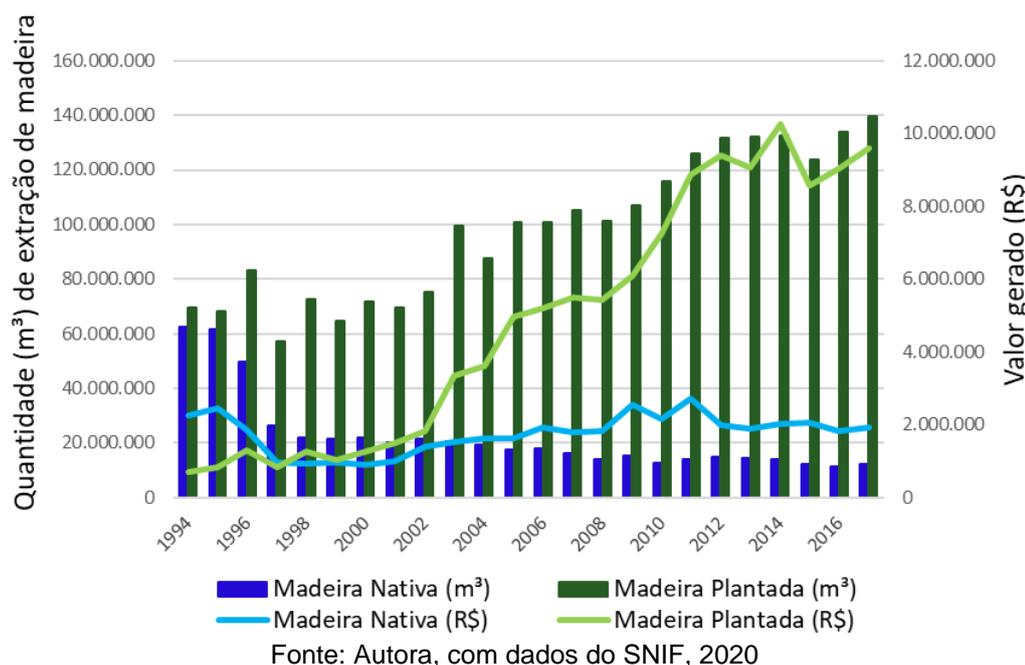
Quando se observa a quantidade produzida de madeira plantada para o uso industrial de outras finalidades⁴, que compreende o mercado da construção civil, produziu-se 52,09 milhões de m³, sendo 25,86 milhões de m³ (18%) do gênero eucalipto, 23,36 milhões de m³ (17%) de pinus e 2,86 milhões de m³ (2%) de outros gêneros.

Em 2017 a madeira serrada proveniente de florestas plantadas produziram 8,7 milhões de m³ de madeira e em 2018 aproximadamente 9,1 milhões de m³, já a madeira serrada de florestas naturais extraídas da Amazônia legal produziram 2,5 milhões de m³ de madeira (IBÁ, 2019; MAPA, 2019). O principal mercado consumidor deste tipo de madeira é a construção civil (APRE, 2018; IBÁ, 2019).

⁴ Produção de madeira destinada a construção civil, indústria moveleira, fabricação de paletes, painéis e chapas de madeira, laminados, entre outros. (Não incluiu celulose e papel).

O potencial produtivo da madeira nativa é 18 a 72 m³/ha, média de 35⁵ m³/ha (CAMPOS, 2012), já a madeira plantada tem potencial produtivo de 36 – 41 m³/ha, sendo um dos maiores do mundo (ABRAF, 2013; IBÁ, 2019). A Figura 4 apresenta a evolução da quantidade produzida da madeira para a indústria ao longo dos anos e o valor gerado de florestas nativas e plantadas

Figura 4: Evolução da quantidade (m³) de madeira extraída para uso industrial, e seu valor gerado (R\$) por tipo de floresta



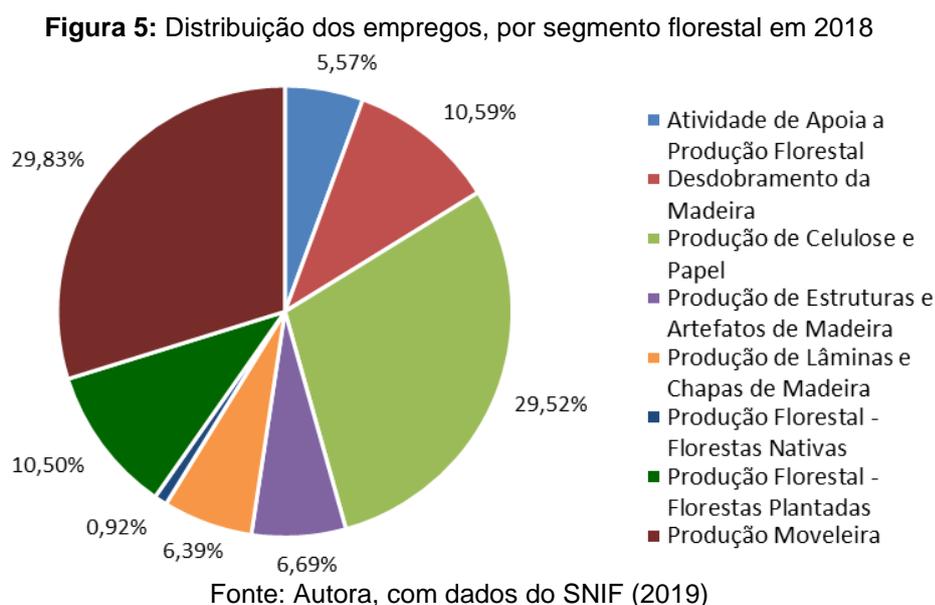
Evidencia-se que para o setor industrial a extração de produtos provenientes de madeira plantada vem ganhando espaço ao longo dos anos e em 2017 gerou um valor para o mercado de R\$ 9,59 milhões de reais (SNIF, 2020). Por outro lado, a extração de produtos de madeira nativa diminui gradativamente, representando um valor de mercado cada vez menor, sendo em 2017 R\$ 1,93 milhões de reais (SNIF, 2020).

Conseqüentemente, os empregos no setor de florestas nativas vêm diminuindo, de 2006 a 2018 houve uma redução de 0,47% nos empregos gerados na produção das florestas nativas e um aumento de 2,36% na produção de florestas plantadas. Em 2018 o setor florestal empregou 583.174 trabalhadores diretamente,

⁵ Valores encontrados na literatura para diferentes intensidades de extração de madeira em tora, obtidos nos seguintes estudos: Veríssimo et al., 1992; Nepstad et al., 1999; Asner et al., 2005 e Keller et al., 2001; Asner et al., 2005; Gerwing e Vidal, 2002; Johns, Barreto e Uhl 1996.

representando 1,25% do total de empregos formais gerados no Brasil (SNIF, S. F. B., 2019).

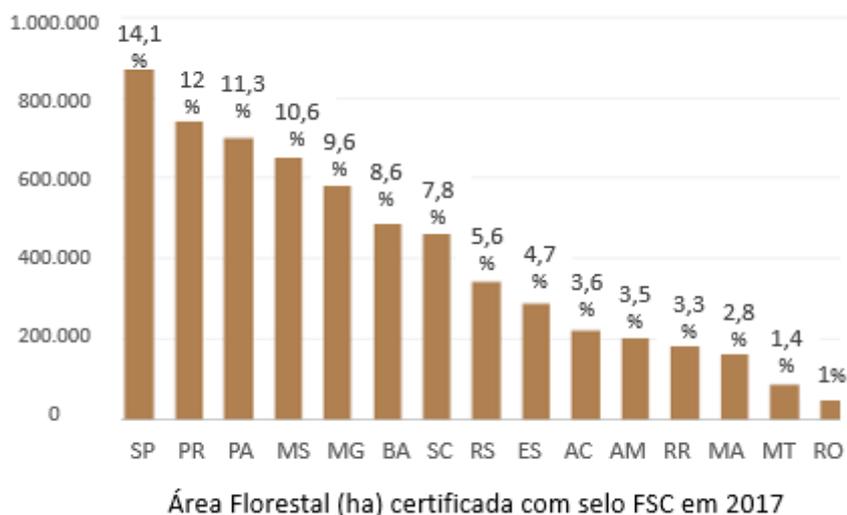
A produção moveleira, celulose e papel apresentaram as maiores quantidades de empregos gerados, seguido da produção de florestas plantadas, que representaram 10,50%, enquanto a produção de florestas nativas⁶ apenas 0,92%, conforme a Figura 5.



No que tange as certificações o Brasil participa do *Programme for the Endorsement of Forest Certification* (PEFC), por meio do Programa Brasileiro de Certificação Florestal (Cerflor) que visa a certificação do manejo florestal de acordo com os critérios estabelecidos pelas Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e integradas ao Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade e ao Instituto Nacional de Metrologia (Inmetro), e do Forest Stewardship Council (FSC) que é o modelo mais difundido no mundo, ambos garantem a qualidade e legalidade da madeira (MAPA, 2019; SILVA; MARQUES; SAMBUICHI, 2016). A Figura 6 aponta as áreas florestais certificadas por estado com o selo FSC de todas as florestas (nativa e plantada).

⁶ A produção florestal de florestas nativas abrange a extração de madeira, derrubada, coleta, produção de lenha, carvão vegetal e beneficiamento, e a produção de florestas plantadas, compreende o cultivo, plantio, replantio, raleamento, abate, viveiros e produção de madeira em tora para todos os usos (celulose, movelaria, indústria naval, de construção e outras) SNIF (2019) e o MAPA (2019).

Figura 6: Área florestal (hectare) certificada com o selo FSC no Brasil por estado em 2017



Fonte: MAPA (2019)

No selo FSC, São Paulo, Paraná e Pará apresentam maiores certificações e no Cerflor, Mato Grosso do sul, Bahia e São Paulo. Em 2018 o selo Cerflor contabilizou 3,07 milhões de hectares certificados e o FSC 6,3 milhões de hectare no Brasil (MAPA, 2019). Segundo o IBÁ (2019) a área certificada de madeira plantada com o selo FSC foi 3,5 milhões de hectare em 2018 e as áreas manejadas representarem 2,8 milhões de hectares.

Em síntese, a Tabela 1 apresenta de forma condensada os resultados encontrados na literatura referentes aos impactos socioeconômicos de ambas as fontes de recurso analisados.

Tabela 1: Avaliação quantitativa dos impactos socioeconômicos das cadeias produtivas de madeira nativa e plantada

	Floresta Nativa	Floresta Plantada
Área total	488.066.946 hectares (98%)	9.839.686 hectares (2%)
Área produtiva Total	336.766.200 hectares (69%)	9.839.686 hectares/ (2%)
Dados Socioeconômicos	Floresta Nativa	Floresta Plantada
Produção florestal madeireira	34.409.199 m ³ (14%)	247.532.469 m ³ (87%)
Valor de riqueza total gerada	R\$ 4,3 bilhões	R\$ 16,3 bilhões
Produção de madeira em tora para indústria ¹	12.232.762 m ³ (5%) ⁵	139.826.511 m ³ (52%) ⁵
Valor de riqueza gerada	R\$1,92 milhões	R\$ 9,58 milhões
Produção de madeira serrada ²	2,5 milhões de m ³	8,7 milhões m ³
Exportação madeira serrada ³	493.303 m ³	2,61 milhões de m ³
Valor de riqueza gerado	858 mil R\$	4,85 milhões de R\$
Empregos formais no Setor Florestal ⁴	5583.174 mil empregos formais em todo setor (1,25%)	
Empregos diretos na produção florestal	5.343 mil (0,92%)	61.212 mil (10,5%)
Área certificada ⁴	2,8 milhões hectares (0,08%)	3,5 milhões hectares (36%)

¹Madeira para uso industrial: madeira utilizada para a produção de celulose, serrados, laminados, chapas e outros usos (Dados de 2017)

² ³Dados de 2017, ⁴Dados de 2018.

⁵ Em relação a produção madeireira total (271.793.307 m³)

Referências: MAPA; SNIF; IBÁ (2019)

Fonte: Autora (2021)

2.2.2 Dados Ambientais

A *Global Forest Resources Assessment (FRA)* em parceria com Serviço Florestal Brasileiro (SFB) apresentaram valores de biomassa e carbono acima⁷ e abaixo do solo⁸ obtidos pelo Inventário Nacional Brasileiro (NFI)⁹. Os dados foram calculados com base no tipo de vegetação, por bioma, área e ano, estabelecendo um fator que representa o estoque dessa vegetação (m³/ha). Deste modo, foi possível

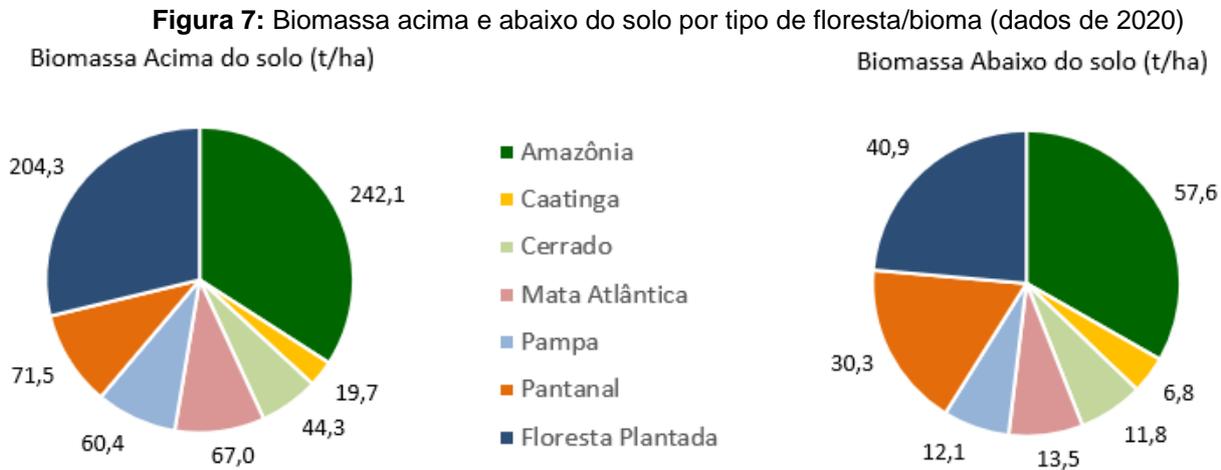
⁷ Toda a biomassa de vegetação viva, lenhosa e herbácea, acima do solo, incluindo caules, tocos, galhos, cascas, sementes e folhagens (FRA, 2020).

⁸ Toda biomassa de raízes vivas. As raízes finas com menos de 2 mm de diâmetro são excluídas porque frequentemente não podem ser distinguidas empiricamente da matéria orgânica do solo ou da serapilheira (FRA, 2020).

⁹ "O NFI é baseado em um desenho amostral sistemático, com conglomerados de quatro de 20m x 50m cada, distribuído em uma malha nacional de 20 km x 20 km. Os dados de árvores vivas com DAP com mais de 10 cm foram processados para calcular os estoques médios de volume (m³/ha) para cada bioma e para cada tipo de floresta dentro de cada bioma. Para os tipos de vegetação com baixo número de aglomerados no bioma considerado, foram utilizadas amostras totais para todos os biomas daquele tipo específico de floresta". (FRA, 2020, Pág. 36). Disponível em:

< <http://www.fao.org/3/ca9976en/ca9976en.pdf>>.

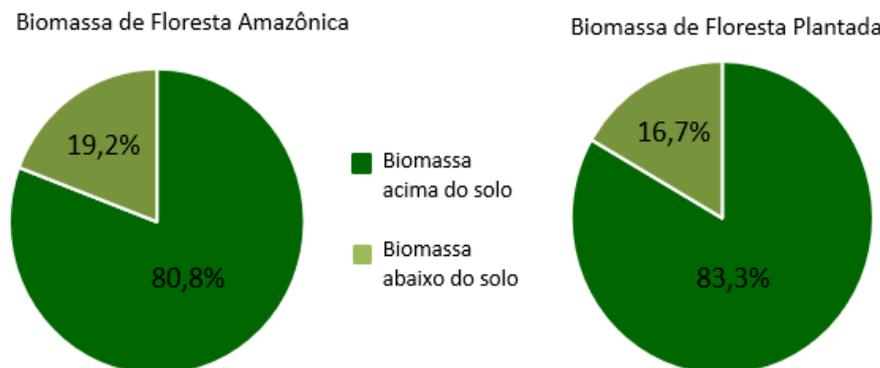
estimar o estoque biomassa no Brasil (dados do ano de 2020). A Figura 7, retrata os valores encontrados pela (FRA, 2020) por tipo de floresta/bioma.



Fonte: Autora, com dados da (FRA, 2020)

Em 2020 a floresta Amazônica apresentou o maior valor de biomassa acima (242,1 t/ha) e abaixo do solo (57,6 t/ha), seguido das florestas plantadas (204,3 t/ha; 40,9 t/ha), conforme a Figura 8.

Figura 8: Biomassa da Floresta Amazônica e Floresta Plantada (dados de 2020)



Fonte: Autora, com dados da (FRA, 2020)

Campos (2012) com dados obtidos da literatura¹⁰ determinou a quantidade de biomassa acima do solo em diferentes regiões da floresta amazônica, e encontrou faixas de valores mínimos, mediamos e máximos de 200 t/ha; 300 t/ha; 425

¹⁰ Resultado obtidos nos seguintes estudos: Anderson et al., 2009; Araújo et al., 1999; Carvalho Jr et al., 1995; FAO, 2005; Fearnside et al., 1999; Fearnside et al., 2001; Fearnside et al., 2009; Gerwing, Vidal, 2000; Houghton et al., 2000; Saatchi et al., 2007; Soares Neto et al., 2009.

t/ha, respectivamente. Lima *et al.*¹¹, (2012) e Fearnside¹², (2018) encontraram variações de 252,6 t/ha - 356 t/ha para biomassa acima do solo, compreendendo o intervalo encontrado por Campos, 2012 (FEARNSIDE, 2018; LIMA *et al.*, 2012).

Para as florestas plantadas encontrou-se valores mínimos, medianos e máximos, onde, para o eucalipto¹³ as variações de biomassa acima do solo foram (169,4 t/ha; 190 t/ha; 231,4 t/ha) e abaixo do solo (24,5 t/ha; 26,4 t/ha; 45,7 t/ha) (GATTO *et al.*, 2011; LUDVICHAK *et al.*, 2016; NEVES, 2000; SCHUMACHER; WITSCHORECK; CALIL, 2011; WITSCHORECK, 2014). E para o pinus¹⁴, as variações de biomassa acima do solo foram (108,9 t/ha; 198,6 t/ha; 273,3 t/ha) e abaixo do solo foram de (13,1 t/ha; 29,9 t/ha; 53,6 t/ha) (BALBINOT *et al.*, 2008; SIXEL, 2012; WATZLAWICK, 2003; WITSCHORECK, 2008), compreendendo os valores encontrados pela FRA (2020).

2.2.3 Carbono acima e abaixo do solo

Com os dados de biomassa pode-se calcular os valores de carbono¹⁵ acima e abaixo do solo, conforme apresentado na Figura 9.

¹¹ Estimativa de biomassa em florestas primárias no noroeste da Amazônia brasileira (São Gabriel da Cachoeira).

¹² Dados de 65 hectares no levantamento do Projeto Dinâmica Biológica de Fragmentos Florestais (BDFFP) perto de Manaus.

¹³ A idade das árvores plantadas para a espécie de eucalipto variou de 8 a 20 anos, sendo a mediana de 9 anos.

¹⁴ A idade das árvores plantadas para a espécie de pinus variou de 10 a 21 anos, sendo a mediana de 16 anos.

¹⁵ Para calcular os valores de carbono, o *Global Forest Resources Assessment* (FRA) utilizou fator de 0,49 aplicado aos valores de biomassa.

Figura 9: Carbono acima e abaixo do solo por tipo de floresta/bioma (dados de 2020)

Fonte: Fonte: Autora, com dados da (FRA,2020)

Na floresta Amazônica encontrou-se valores de 118,61 tC/ha (~19%) para o carbono armazenado acima do solo e 28,22 tC/ha (~10%) abaixo do solo, e para as florestas plantadas estes valores foram 100,1 tC/ha acima do solo (~41%) e 20,02 tC/ha abaixo do solo (~9%) (FRA, 2020).

Campos (2012), com base em dados secundários encontrou variações de carbono para as florestas nativas de 98 tC/ha a 208 tC/ha¹⁶ acima do solo. Para o estoque de carbono das florestas plantadas as variações mínimas, medianas e máximas encontradas para o eucalipto acima do solo foram (83,0 tC/ha; 93,1 tC/ha; 113,4 tC/ha), e para o carbono abaixo do solo (12,0 tC/ha; 12,9 tC/ha; 22,4 tC/ha), respectivamente (GATTO *et al.*, 2011; LUDVICHAK *et al.*, 2016; NEVES, 2000; SCHUMACHER; WITSCHORECK; CALIL, 2011; WITSCHORECK, 2014). Para o pinus os valores de carbono acima do solo foram de (53,4 tC/ha; 97,3 tC/ha; 133,9 tC/ha), e abaixo do solo (6,4 tC/ha; 14,7 tC/ha; 26,3 tC/ha) (BALBINOT *et al.*, 2008; SIXEL, 2012; WATZLAWICK, 2003; WITSCHORECK, 2008). Esses resultados podem divergir de acordo com o clima, o tipo e a idade das espécies plantadas.

2.2.4 Emissões de CO₂

Punhagui (2014), em uma Avaliação do Ciclo de Vida Simplificada, usando dados primários e secundários, estimou faixas de variação de emissões para produção de uma tonelada seca de madeira serrada, proveniente de extração seletiva

¹⁶ Considerou-se no estudo que 49% da biomassa seca é composta por carbono.

convencional¹⁷ entre 5,0 – 44,3 tCO₂/t. Numazawa (2018), com dados primários, obteve uma pegada total de CO₂ para madeira serrada, proveniente de exploração de impacto reduzido, de 6,1 tCO₂/t até porta da indústria.

As maiores emissões de CO₂ ocorrem na geração de resíduos (HUANG; ASNER, 2010; NUMAZAWA *et al.*, 2017; NUMAZAWA, 2019; PEARSON; BROWN; CASARIM, 2014). Na exploração seletiva convencional da madeira nativa os resíduos florestais geram 2,4 a 24,6 toneladas de resíduo por tonelada de produto, representando o maior percentual 15 – 70% (PUNHAGUI, 2014).

Para a produção de madeira serrada plantada, quando avaliado apenas as emissões de carbono por processos produtivos e acima do solo, emitem entre 0,032 – 0,559 tCO₂/t por tonelada de madeira serrada¹⁸ (PUNHAGUI, 2014). De tal forma, as florestas plantadas geram 1,0 - 5,9 toneladas de resíduo por tonelada de produto (PUNHAGUI, 2014; SANTOS, 2021).

Por fim, a Tabela 2 apresenta de forma sintetizada os resultados encontrados na literatura referentes aos aspectos ambientais das florestas nativas e plantadas.

¹⁷ Não foi considerado nestes resultados o balanço de carbono acima e abaixo da terra, foi desconsiderado o carbono abaixo da terra.

¹⁸ Dados primários fornecidos por doze empresas de árvores plantadas, na sua maioria médio e grande porte.

Tabela 2: Avaliação quantitativa dos impactos ambientais das florestas nativas e plantadas

Dados Ambientais	Floresta Nativa	Floresta Plantada
Biomassa acima do solo	200,0 - 425,0 t/ha (~81%)	Pinus: 108,9 - 273,3 t/ha (79-91%) Eucalipto: 169,4 - 231,4 t/ha (79-89%)
Biomassa abaixo do solo	57,60 t/ha (~19%)	Pinus: 13,1 - 53,6 t/ha (9-21%) Eucalipto: 24,5 - 45,7 t/ha (11-21%)
Carbono acima do solo	98 - 208 tC/ha (~40%)	Pinus: 53,4 - 133,9 tC/ha (40-45%) Eucalipto: 83,0 - 113,4 tC/ha (40-44%)
Carbono abaixo do solo	28,22 tC/ha (~10%)	Pinus: 6,4 - 14,7 tC/ha (9-21%) Eucalipto: 12,0 - 22,4 tC/ha (11-21%)
Emissões de CO ₂ na produção da madeira serrada ¹	5,0– 44,3 tCO ₂ /t	0,032 - 0,559 tCO ₂ /t
Resíduos (Madeira serrada) ³	2,9 - 26,6 tresíduo/tproduto	1,1 - 5,9 tresíduo/tproduto

¹Avaliação do Ciclo de Vida da Exploração seletiva Convencional e de impacto reduzido da madeira nativa até a porta da indústria. ²resíduos gerados no processamento primário da madeira serrada.

Referências Floresta Plantada: Biomassa e carbono acima e abaixo do solo da espécie de pinus foram extraídos de: Balbinot et al. (2007), Sixel (2012); Watzlawick (2003); Witschoreck (2008); FRA (2020). E para a espécie de eucalipto: Gatto et al. (2011); Ludvichak (2016); Neves (2000); Schumacher et al. (2011); Witschoreck (2003); FRA (2020).

Referências Floresta Nativa: Biomassa e carbono acima e abaixo do solo foram encontrados em: Campos, (2012); Fearnside (2018); Lima et al. (2012); FRA (2020).

Referências das emissões de CO₂, para florestas nativas e plantadas foram extraídas de: Campos, (2012); Punhagui, (2014); Numazawa, (2019).

Fonte: Autora, 2020

Nas Tabelas 1 e 2 sintetizou-se os resultados encontrados neste capítulo, onde os produtos de madeira proveniente das florestas plantadas apresentaram melhores resultados socioeconômicos e menores emissões de CO₂ em comparação a cadeia produtiva de madeira nativa, isso ocorre em consequência a forma de exploração da madeira nativa.

O corte raso embora seja autorizado pelos órgãos responsáveis, tem como principal objetivo converter a propriedade coberta pela floresta em pastagens ou agricultura (ADEODATO *et al.*, 2011). Já o manejo minimiza os danos da floresta, porém apresenta dificuldades na gestão, regulamentação e fiscalização do Documento de Origem Florestal (DOF¹⁹) (SILVA; MARQUES; SAMBUICHI, 2016), de tal forma, é conhecida a elevada burocracia nos processos de análise e autorização dos planos de

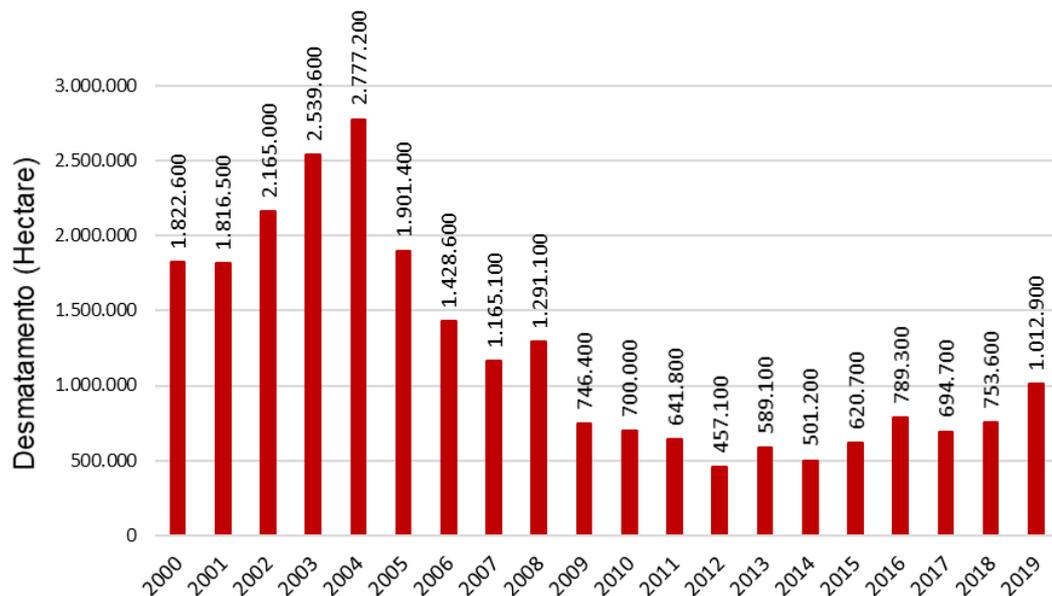
¹⁹ DOF: Licença necessária para colher, transportar e armazenar os produtos florestais de madeira nativa para fins comerciais.

manejo como um dos fatores que induzem a ilegalidade da madeira (ADEODATO *et al.*, 2011), que é a mais comumente na Amazônia.

A exploração ilegal não prevê qualquer tipo de manutenção da biodiversidade local, não segue nenhum princípio e seu corte é de feito de maneira seletiva, levando em consideração apenas a demanda e o valor atrelado as espécies (ADEODATO *et al.*, 2011). Outro fator relevante é o efeito de derrubada das vegetações que tangenciam o local da madeira de interesse, principalmente na construção de estradas para transporte das toras, essas operações evidentemente reduzem a cobertura florestal (COSTA *et al.*, 2019; IFT, 2010; PUTZ *et al.*, 2012).

Nos últimos 30 anos (1990 a 2020) a perda de cobertura florestal chegou 99,95 milhões de hectare (FRA, 2020), devido a extração ilegal da madeira. A perda de cobertura florestal nos biomas brasileiros e monitoramento das queimadas vêm sendo realizados por imagens de satélite pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) utilizando alguns sistemas operacionais como PRODES, DETER, DEGRAD e DETEX (SNIF, 2017) (WWF, 2018). A Figura 10 apresenta as taxas de desmatamento da Amazônia Legal ao longo dos anos.

Figura 10: Taxas de desmatamento da Amazônia Legal (hectare)

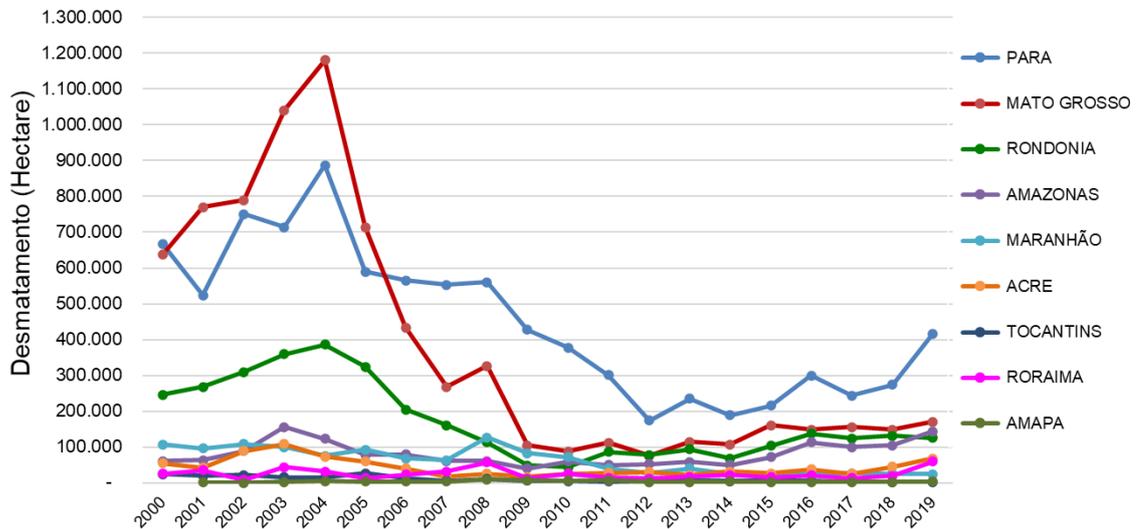


Fonte: Autora, com os dados (PRODES, 2020)

A área desmatada na Amazônia Legal, detectada pelo PRODES com a utilização de sistemas de informações geográficas atualmente é de 1,01 milhões de

hectares, um aumento de 54% em relação a 2018. De modo acumulado nos últimos 19 anos já foram desmatados mais de 24 milhões de hectares na Amazônia Legal, (IMAZON, 2019). A Figura 11, exibe o desmatamento por estados da Amazônia Legal.

Figura 11: Taxas de desmatamento da Amazônia Legal por estado (hectare)



Fonte: Autora, com os dados (PRODES, 2020)

As maiores áreas desmatadas ocorreram nos estados do Pará, Mato Grosso, Amazonas e Rondônia, sendo que em 2019 a perda de cobertura vegetal foi mais de 400 mil hectares, 170 mil hectare, 143 mil hectare nestes estados, respectivamente (PRODES, 2020). A maioria dos desmatamentos ocorreram em áreas privadas com 55%, nos assentamentos 24%, terras indígenas 5% e Unidades de Conservação 16% (IMAZON, 2020).

Pesquisadores brasileiros estudaram as condições da extração de madeira nativa com diferentes intensidades, duração do ciclo de corte e espécies comerciais e analisaram 27 cenários em relação as áreas de concessão florestal passíveis de exploração e como resultados apenas em um cenário a madeira poderia ser considerada extraída de forma sustentável, com isso concluíram que o sistema de concessão florestal não seria capaz de suprir a demanda de madeira sem reformas nas práticas de manejo e como alternativas deveria ser incluída plantações florestais e iniciativas de restaurações florestais (SIST *et al.*, 2021).

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO 2

Com os dados encontrados na literatura pode-se identificar que a cadeia produtiva de madeira plantada apresenta melhores impactos socioeconômicos e ambientais se comparada a cadeia produtiva de madeira nativa. A extração de produtos de madeira para o setor industrial é significativamente maior nas florestas plantadas (139,83 milhões de m³), gerando R\$ 9,59 milhões de reais, em comparação as florestas nativas que vem diminuindo gradativamente e perdendo valor de mercado (12,23 milhões m³ e R\$ 1,93 milhões de reais). Conseqüentemente a geração de empregos na produção florestal de madeira nativa é inferior (0,92%), que em florestas plantadas (10,50%) (em relação aos empregos gerados somente no setor florestal).

Ambas as cadeias produtivas de madeira apresentam dados satisfatórios e valores de grandeza equivalente no estoque de carbono acima e abaixo do solo, porém, a cadeia de madeira nativa apresenta resultados inferiores em relação às emissões de CO₂, liberando elevada quantidade de CO₂ ao longo do seu ciclo de vida em relação a cadeia de madeira plantada. Isso ocorre, majoritariamente, devido a extração ilegal das florestas nativas que ocasionam perda da cobertura vegetal e o desmatamento.

Os fatores estudados estão interligados com as mudanças climáticas o desenvolvimento sustentável. A vista disso, a cadeia produtiva de floresta plantada oferece melhores perspectivas de uso passível de sustentação da madeira no Brasil.

2.6 REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 2

ADEODATO, Sérgio *et al.* **Madeira de ponta a ponta: o caminho desde a floresta até o consumo**. São Paulo: FGV RAE, 2011.

APRE, Associação Paranaense de Empresas de Base. **Estudo Setorial**. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: https://www.apreflorestas.com.br/wp-content/uploads/2018/02/Estudo-Setorial-2018_APRE.pdf. Acesso em: 29 jun. 2020.

BALBINOT, Rafaelo *et al.* ESTOQUE DE CARBONO EM PLANTAÇÕES DE *Pinus* spp. EM DIFERENTES IDADES NO SUL DO ESTADO DO PARANÁ. **FLORESTA**, [s. l.], v. 38, n. 2, 2008. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/11626>. Acesso em: 18 mar. 2020.

BARROS, Henrique S.; FEARNSSIDE, Philip M. Soil carbon stock changes due to edge effects in central Amazon forest fragments. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 379, p. 30–36, 2016.

BAUL, Tarit *et al.* Climate Change Mitigation Potential in Boreal Forests: Impacts of Management, Harvest Intensity and Use of Forest Biomass to Substitute Fossil Resources. **Forests**, [s. l.], v. 8, n. 11, p. 455, 2017.

COSTA, Olívia Bueno da *et al.* Selective Logging Detection in the Brazilian Amazon. **Floresta e Ambiente**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. e20170634, 2019.

EMBRAPA. **Plantações Florestais - Geração de benefícios com baixo impacto ambiental**. Brasília: [s. n.], 2017. *E-book*. Disponível em: <file:///C:/Users/luana/Downloads/Livro-1333-Plantacoes-florestais-vs-22nov2017.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2019.

ESPADA, Ana Luiza Violato *et al.* Manejo Florestal e Exploração de Impacto Reduzido. [s. l.], p. 32,

FEARNSIDE, Philip M. Brazil's Amazonian forest carbon: the key to Southern Amazonia's significance for global climate. **Regional Environmental Change**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 47–61, 2018.

FRA. **Global Forest Resources Assessment 2020**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ca9976en/ca9976en.pdf>. Acesso em: 5 set. 2020.

FUSS, Sabine *et al.* Betting on negative emissions. **Nature Climate Change**, [s. l.], v. 4, n. 10, p. 850–853, 2014.

GATTO, Alcides *et al.* Estoque de carbono na biomassa de plantações de eucalipto na região centro-leste do estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, [s. l.], v. 35, n. 4, p. 895–905, 2011.

HUANG, Maoyi; ASNER, Gregory P. Long-term carbon loss and recovery following selective logging in Amazon forests: CARBON DYNAMICS FOLLOWING AMAZON LOGGING. **Global Biogeochemical Cycles**, [s. l.], v. 24, n. 3, p. n/a-n/a, 2010.

IBÁ, Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório da Indústria Brasileira de Árvores 2019**. Brasília: [s. n.], 2019. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2020.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura - TABELAS**. [S. l.], 2018. Governamental. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html?=&t=resultados>. Acesso em: 10 jul. 2020.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da extração vegetal e da silvicultura 2018**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: http://snif.florestal.gov.br/images/pdf/producao_florestal/PF_Extracao_PEVS_2018__pevs_2018_v33_informativo-IBGE.pdf. Acesso em: 17 mar. 2020.

IFT, Instituto Floresta Tropical. **Relatório de atividades 2009 - 2010**. [S. l.: s. n.], 2010. Disponível em: <http://ift.org.br/wp-content/uploads/2014/08/Relatorio-2009-2010-3.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2020.

IMAZON. **Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD) - Agosto de 2020**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <https://imazon.org.br/wp-content/uploads/2020/09/SAD-agosto-2020.jpg>.

IODAN, Cristina-Maria *et al.* Contribution of forest wood products to negative emissions: historical comparative analysis from 1960 to 2015 in Norway, Sweden and Finland. **Carbon Balance and Management**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 12, 2018.

LIMA, Adriano José Nogueira *et al.* Allometric models for estimating above- and below-ground biomass in Amazonian forests at São Gabriel da Cachoeira in the upper Rio Negro, Brazil. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 277, p. 163–172, 2012.

LUDVICHAK, Aline Aparecida *et al.* NUTRIENT RETURN THROUGH LITTERFALL IN A Eucalyptus dunnii Maiden STAND IN SANDY SOIL. **Revista Árvore**, [s. l.], v. 40, n. 6, p. 1041–1048, 2016.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Florestas do Brasil em resumo**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/documentos/publicacoes/4261-florestas-do-brasil-em-resumo-digital/file>.

MENDES, Letícia. **Anuário Brasileiro da Silvicultura 2016**. Santa Cruz do Sul: [s. n.], 2016.

NEPAL, Prakash *et al.* Carbon Mitigation Impacts of Increased Softwood Lumber and Structural Panel Use for Nonresidential Construction in the United States. **Forest Products Journal**, [s. l.], v. 66, n. 1–2, p. 77–87, 2016.

NEVES, Júlio César Lima. PRODUÇÃO E PARTIÇÃO DE BIOMASSA, ASPECTOS NUTRICIONAIS E HÍDRICOS EM PLANTIOS CLONAIIS DE EUCALIPTO NA REGIÃO LITORÂNEA DO ESPÍRITO SANTO. [s. l.], 2000.

NUMAZAWA, Camila T.D. *et al.* Logging residues and CO₂ of Brazilian Amazon timber: Two case studies of forest harvesting. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 122, p. 280–285, 2017.

NUMAZAWA, Camila Thiemy Dias. **Material flow analysis and CO₂ footprint in lumber from managed Brazilian Amazon rainforests**. 2019. Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-31012019-073206/>. Acesso em: 21 abr. 2020.

PEARSON, Timothy R H; BROWN, Sandra; CASARIM, Felipe M. Carbon emissions from tropical forest degradation caused by logging. **Environmental Research Letters**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 034017, 2014.

PEREIRA, Denys *et al.* **Fatos Florestais da Amazônia 2010**. Belém: Imazon, 2010. *E-book*. Disponível em: <https://imazon.org.br/PDFimazon/Portugues/livros/atos-florestais-da-amazonia-2010.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2019.

PRODES. **Taxas de desmatamento - Amazônia Legal**. [S. l.], 2020. Disponível em: http://terrabilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates.

PUNHAGUI, Katia Regina. **Potencial de reducción de las emisiones de CO₂ y de la energía incorporada en la construcción de viviendas en Brasil mediante el incremento del uso de la madera**. 2014. 422 f. - Universidad Politécnica de Cataluna y Universidade de São Paulo, Barcelona, 2014.

PUTZ, Francis E. *et al.* Sustaining conservation values in selectively logged tropical forests: the attained and the attainable: Sustaining tropical forests with forestry. **Conservation Letters**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 296–303, 2012.

SANTOS, Eduardo Picolotto. **Avaliação das emissões de CO₂ e energia incorporada da madeira serrada produzida no Paraná e destinada à construção civil sob ponto de vista**

do inventário do ciclo de vida. 2021. Dissertação - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, [s. l.], 2021.

SATHRE, Roger; O'CONNOR, Jennifer. Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. **Environmental Science & Policy**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 104–114, 2010.

SCHUMACHER, Mauro Valdir; WITSCHORECK, Rudi; CALIL, Francine Neves. Biomassa em povoamentos de *Eucalyptus* spp. de pequenas propriedades rurais em Vera Cruz, RS. **Ciência Florestal**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 17–22, 2011.

SILVA, Ana Paula Moreira da; MARQUES, Henrique Rodrigues; SAMBUICHI, Regina Helena Rosa (org.). **Mudanças no Código florestal brasileiro: desafios para a implementação da nova lei.** Rio de Janeiro: Ipea : International Policy Centre for Inclusive Growth, PNUD, 2016.

SIST, Plinio *et al.* Sustainability of Brazilian forest concessions. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], 2021. Disponível em: <https://agritrop.cirad.fr/598640/>. Acesso em: 26 ago. 2021.

SIXEL, Ricardo Michael de Melo. **Sustentabilidade da produtividade de madeira de Pinus taeda com base no estoque, na exportação e na ciclagem de nutrientes.** 2012. Mestrado em Recursos Florestais - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-26102012-143719/>. Acesso em: 18 mar. 2020.

SNIF, Serviço Florestal Brasileiro. **Boletim SNIF - Serviço Florestal Brasileiro.** [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: http://snif.florestal.gov.br/images/pdf/publicacoes/Boletim-SNIF_Ed1_2019.pdf. .

SNIF, Sistema Nacional de Informações Florestais. **Extração - Produtos Florestais Madeireiros (PFM).** [S. l.], 2019. Disponível em: https://public.tableau.com/views/PF_Extracao_IBGE-PEVS_PFM-PFNM_SIDRABrasil_1990-2017_DB-DT_18-09-2019_IUFRO_PFM/Histria1?:embed=y&:display_count=no&:showVizHome=no&:toolbar=no. Acesso em: 25 ago. 2020.

SNIF, Sistema Nacional de Informações Florestais. **Extração por tipo de Floresta - Painel interativo.** [S. l.], 2020. Disponível em: https://public.tableau.com/views/PF_Extracao_IBGE-PEVS_PFM-PFNM_SIDRABrasil_1990-2017_DB-DT_18-09-2019_IUFRO_PFM/Histria1?:embed=y&:display_count=no&:showVizHome=no&:toolbar=no. Acesso em: 18 abr. 2020.

WATZLAWICK, LUCIANO FARINHA. **ESTIMATIVA DE BIOMASSA E CARBONO EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA E PLANTAÇÕES FLORESTAIS A PARTIR DE DADOS DE IMAGENS DO SATÉLITE IKONOS II.** 2003. 138 f. - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

WITSCHORECK, Rudi. BIOMASSA E NUTRIENTES NO CORTE RASO DE UM POVOAMENTO DE *Pinus taeda* L. DE 17 ANOS DE IDADE NO MUNICÍPIO DE CAMBARÁ DO SUL - RS. [s. l.], p. 81, 2008.

WITSCHORECK, Rudi. RECOMENDAÇÃO DE FERTILIZANTES PARA *Eucalyptus saligna* Sm. COM BASE NO BALANÇO NUTRICIONAL NA REGIÃO DE GUAÍBA - RS. [s. l.], p. 86, 2014.

3. AVALIAÇÃO DO FLUXO DE CARBONO DA CADEIA PRODUTIVA DE MADEIRA DE FLORESTA PLANTADA PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL

Prever a direção e o ritmo da mudança global requer conhecimento sobre os processos que controlam o fluxo de carbono e as florestas tem papel fundamental uma vez que sequestram o CO₂ pelo processo de fotossíntese e armazenam o carbono em sua massa e no solo enquanto a biomassa estiver viva na floresta (FORESTRY COMMISSION, 2017; IORDAN *et al.*, 2018) (BAUL *et al.*, 2017; FUSS *et al.*, 2014; IORDAN *et al.*, 2018; NEUMANN; SMITH, 2018).

No entanto, distúrbios naturais ou induzidos pelo homem, como a extração de matéria prima, produção e disposição de resíduos, processos industriais ou mudanças no uso da terra, influenciam na quantidade de liberação de carbono na atmosfera (DENG *et al.*, 2018; MARCHETTI; CHIRICI; LASSERRE, 2015).

No Brasil, dados de 2019 do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) indicaram que as mudanças do uso do solo, onde são contabilizados os resíduos florestais foram responsáveis por 44% das emissões totais do país, e os processos industriais (emissões diretas decorrentes de processos de transformação química e/ou física de materiais) representaram 5%. (ALBUQUERQUE; ALENCAR; ANGELO, 2020; SEEG, 2019b).

Dessa forma, **o objetivo deste capítulo é analisar o fluxo de carbono dos produtos de madeira plantada destinados à construção civil nacional, a fim de quantificar o carbono estocado (abaixo e acima do solo) e emitido em cada fase do seu ciclo de vida.** Com isto espera-se gerar informações que subsidiem propostas estratégicas para uso das florestas e seus produtos como forma de mitigação de CO₂ no Brasil.

3.1 MÉTODO

Para alcançar o objetivo proposto realizou-se uma análise quantitativa com dados secundários considerando as operações florestais e processamento primário da madeira plantada serrada bruta.

Os dados foram obtidos na literatura por meio de uma revisão de trabalhos acadêmicos nos sites de busca: Biblioteca Digital Brasileira, repositório das instituições de ensino nacionais, Google Acadêmico e bases de dados *Science direct* e

Springer. Empregou-se as palavras chaves: “operações florestais”, “quantificação de biomassa acima e abaixo do solo”, “biomassa arbórea”, “madeira serrada”, “rendimento nas serrarias”, “desdobro”, “processamento primário da madeira”.

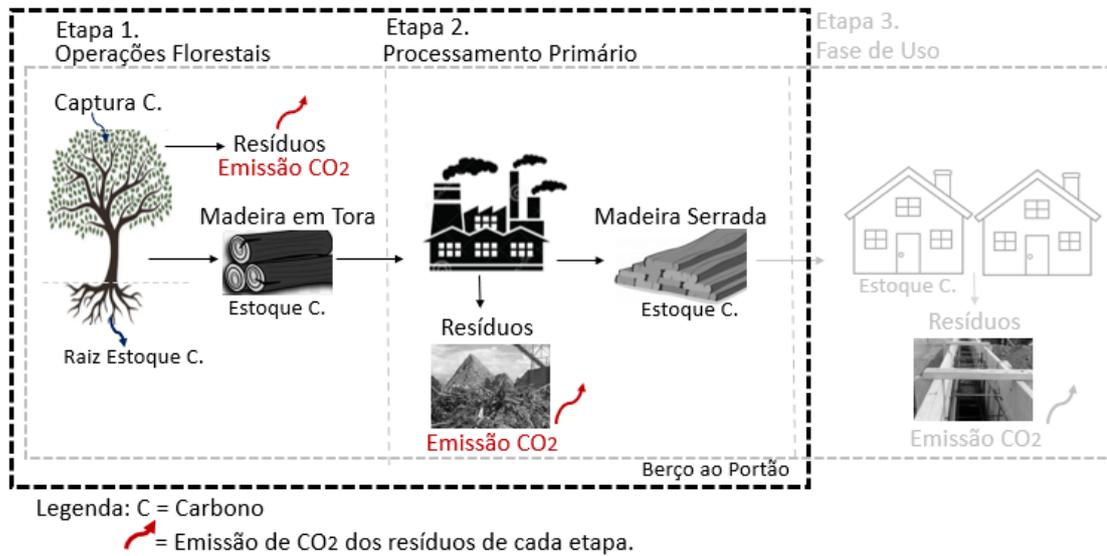
Delimitou-se apenas trabalhos brasileiros, onde obteve-se 78 trabalhos que foram selecionados considerando o conteúdo, título, resumo e sumário. Descartou-se aqueles que não consideraram os gêneros de pinus e eucalipto e idades inferiores a 8 anos por não serem utilizadas na construção civil (IBÁ, 2019). Restaram 42 estudos dos quais retirou-se as informações para executar a metanálise.

3.1.1 Descrição das etapas consideradas para execução do fluxo de carbono da madeira plantada

Considerou-se os processos florestais após o plantio de pinus e eucalipto e o processamento primário da madeira destinada à construção civil. As emissões de CO₂ de todas as etapas foram provenientes da queima ou degradação dos resíduos gerados na colheita e no processamento primário da madeira plantada. As emissões de CO₂ provenientes de equipamentos para o corte, arraste, carregamento e transporte das toras foram desconsideradas, assim como as emissões provenientes da energia dos equipamentos do processamento primário e transporte da madeira serrada, conforme a Figura 12. O foco do fluxo foi o carbono biogênico²⁰.

²⁰ Carbono emitido de materiais de base biológica, como as biomassas. O carbono emitido pelos combustíveis fósseis é diferente, cujo ciclo é geológico.

Figura 12: Etapas consideradas da cadeia produtiva da madeira plantada



Etapa 1: Nas **operações florestais** a captura de carbono ocorre durante o crescimento das árvores pelo processo de fotossíntese e o estoque nos produtos (madeira em tora). Os dados encontrados na literatura de biomassa florestal acima do solo foram separados por componente e gênero, e estão expressos na unidade de tonelada por hectare (t/ha). A sintetização dos resultados é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3: Dados de biomassa seca acima do solo separados por componente da árvore (t/ha)

Espécie	Local ²¹	Idade (ano)	Acícula (t/ha)	Galhos (t/ha)	Cascas (t/ha)	Tronco (t/ha)	Biomassa Acima do solo (t/ha)	Referências
<i>E. spp.</i>	RS	8	6,78	13,84	13,94	173,2	207,76	(SCHUMACHER; WITSCHORECK; CALIL, 2011)
<i>E. saligna</i>	RS	8	4,1	9,6	17,3	200,4	231,4	(WITSCHORECK, 2014)
<i>E. urograndis</i>	RS	9	2,8	5,7	16,7	145,5	170,6	(LUDVICHAK <i>et al.</i> , 2016)
<i>E. spp.</i>	MG	10	3,0	25,5	14,3	126,6	169,4	(GATTO <i>et al.</i> , 2011)
<i>E. urophylla</i>	RS	10	3,6	8,8	18,9	167,1	198,4	(VIEIRA <i>et al.</i> , 2013)
<i>E. saligna</i>	RS	10	8,7	4,8	16,0	239,7	269,1	(MOMOLLI <i>et al.</i> , 2019)
<i>E. torelliana</i>	SP	12	1,8	15,7	11,3	142,5	171,3	(SCHUMACHER; POGGIANI, 1999)
<i>E. urograndis</i>	ES	20	2,2	5,6	15,3	167,0	190,1	(NEVES, 2000)
<i>P. spp.</i>	PR	10	7,2	11,7	-	113,0	131,9	(BALBINOT <i>et al.</i> , 2008)
<i>P. caribaea</i>	SP	10	10,8	13,0	19,3	90,7	133,7	(DRUMOND; POGGIANI, 1993)
<i>P. taeda</i>	PR	10	9,6	20,7	10,6	102,1	143,0	(VALERI, 1988)
<i>P. oocarpa</i>	SP	14	5,3	11,1	15,6	92,9	124,9	(CASTRO; POGGIANI; NICOLIELO, 1980)
<i>P. taeda</i>	PR	14	5,6	27,9	19,3	95,3	148,2	(WATZLAWICK, 2003)
<i>P. taeda</i>	PR	14	9,3	26,3	11,5	135,9	183,0	(VALERI, 1988)
<i>P. taeda</i>	PR	16	5,6	14,2	9,6	79,5	108,9	(WATZLAWICK, 2003)
<i>P. spp.</i>	PR	16	11,7	30,2	-	156,7	198,6	(BALBINOT <i>et al.</i> , 2008)
<i>P. taeda</i>	SC	16	7,4	32,8	24,4	195,3	259,9	(SIXEL, 2012)
<i>P. taeda</i>	RS	17	12,2	29,8	18,8	158,3	219,1	(WITSCHORECK, 2008)
<i>P. oocarpa</i>	SP	18	6,6	15,4	19,2	130,7	171,9	(CASTRO; POGGIANI; NICOLIELO, 1980)
<i>P. elliotii</i>	RS	19	8,2	14,8	16,5	133,6	173,1	(SANTOS <i>et al.</i> , 2019)
<i>P. taeda</i>	PR	19	3,7	15,6	9,1	187,3	215,7	(WATZLAWICK, 2003)
<i>P. taeda</i>	SP	19	6,8	24,3	14,5	159,3	204,9	(BIZON, 2006)
<i>P. elliotii</i>	RS	19	11,0	22,7	29,4	214,7	277,8	(WOJCIECHOWSKI <i>et al.</i> , [s. d.])
<i>P. taeda</i>	PR	21	8,1	44,7	33,3	187,3	273,3	(WATZLAWICK, 2003)

Fonte: Autora (2021)

Para a obtenção dos valores de rendimento somou-se os dados de biomassa de tronco e para os resíduos somou-se os valores de casca, acícula²² e galhos. Os percentuais de rendimento e resíduos foram oriundos dos respectivos valores divididos pela biomassa acima do solo.

Para o cálculo da biomassa abaixo do solo buscou-se trabalhos na literatura que consideraram a biomassa das raízes. A sintetização dos resultados de

²¹ Estados brasileiros: ES: Espírito Santo; MG: Minas Gerais; PR: Paraná; RS: Rio Grande do Sul; SC: Santa Catarina; SP: São Paulo.

²² Alguns autores denominam acícula como ramos ou folhas.

biomassa seca acima e abaixo do solo para a composição do fluxo de carbono das árvores plantadas (eucalipto e pinus) é exibido na Tabela 4.

Tabela 4: Dados de biomassa seca acima e abaixo do solo do gênero de eucalipto e pinus para composição do fluxo de carbono

Espécie	Local ²³	Idade (ano)	Acícula (t/ha)	Galhos (t/ha)	Cascas (t/ha)	Tronco (t/ha)	Raiz (t/ha)	Biomassa Arbórea (t/ha)	Referência
<i>E. spp.</i>	RS	8	6,78	13,84	13,94	173,2	25,17	232,93	(SCHUMACHER; WITSCHORECK; CALIL, 2011)
<i>E. saligna</i>	RS	8	4,1	9,6	17,3	200,4	45,7	277,07	(WITSCHORECK, 2014)
<i>E. urograndis</i>	RS	9	2,8	5,7	16,7	145,5	45,7	216,22	(LUDVICHAK <i>et al.</i> 2016)
<i>E. spp.</i>	MG	10	3,0	25,5	14,3	126,6	26,4	195,77	(GATTO <i>et al.</i> 2011)
<i>E. urograndis</i>	ES	20	2,2	5,6	15,3	167,0	24,5	214,61	(NEVES, 2000)
Espécie	Local	Idade (ano)	Acícula (t/ha)	Galhos (t/ha)	Cascas (t/ha)	Tronco (t/ha)	Raiz (t/ha)	Biomassa Arbórea (t/ha)	Referência
<i>P. spp.</i>	PR	10	7,2	11,7	-	113,0	36,1	167,9	(BALBINOT <i>et al.</i> , 2008)
<i>P. taeda</i>	PR	14	5,6	27,9	19,3	95,3	23,5	171,7	(WATZLAWICK, 2003)
<i>P. taeda</i>	PR	16	5,6	14,2	9,6	79,5	13,1	122,0	(WATZLAWICK, 2003)
<i>P. spp.</i>	PR	16	11,7	30,2	-	156,7	29,9	228,5	(BALBINOT <i>et al.</i> , 2008)
<i>P. taeda</i>	SC	16	7,4	32,8	24,4	195,3	53,6	313,5	(SIXEL, 2012)
<i>P. taeda</i>	RS	17	12,2	29,8	18,8	158,3	34,4	253,6	(WITSCHORECK, 2008)
<i>P. taeda</i>	PR	19	3,7	15,6	9,1	187,3	11,7	227,4	(WATZLAWICK, 2003)
<i>P. taeda</i>	SP	19	6,8	24,3	14,5	159,3	48,5	253,4	(BIZON, 2005)
<i>P. taeda</i>	PR	21	8,1	44,7	33,3	187,3	25,7	299,0	(WATZLAWICK, 2003)

Fonte: Autora (2021)

Para a biomassa acima do solo considerou-se a soma das biomassas de tronco, casca, acículas e galhos encontrados pelos autores. Os percentuais foram obtidos da divisão de cada componente pela biomassa arbórea (acima e abaixo do solo).

Etapa 2: No **processamento primário** da madeira, as atividades incorporadas foram o desdobro das toras e o produto final (madeira serrada²⁴). A obtenção do rendimento baseou-se na relação entre a biomassa de madeira serrada bruta e de resíduos. O compêndio dos trabalhos é apresentado na Tabela 5.

²³ Estados brasileiros: ES: Espírito Santo; MG: Minas Gerais; PR: Paraná; RS: Rio Grande do Sul; SC: Santa Catarina; SP: São Paulo.

²⁴ Considerou-se como produtos gerados as tábuas, sarrafos e caibros.

Tabela 5: Dados de rendimento e resíduos (%) de biomassa encontrados para processamento primário da madeira plantada serrada bruta

Espécie	Local ²⁵	Diâmetro médio (cm)	Rendimento (%)	Resíduos (%)	Referências
<i>E. spp.</i>	MG	17,0	37,7%	62,3%	(SANTOS, 2008)
<i>E. urophylla</i>	MG	22,0	37,8%	62,2%	(DE SOUZA <i>et al.</i> , 2007)
<i>E. spp.</i>	RJ	22,0	44,9%	55,1%	(BATISTA; CARVALHO, 2007)
<i>E. urophylla</i>	SP	24,0	42,5%	57,5%	(SCANAVACA; GARCIA, 2003)
<i>E. spp.</i>	MG	28,9	48,9%	51,1%	(FERREIRA; LIMA; TRUGILHO, 2004)
<i>E. grandis</i>	PR	30,0	54,5%	45,5%	(CUNHA <i>et al.</i> , 2014)
<i>E. grandis</i>	SC	35,0	57,1%	42,9%	(MARCHESAN <i>et al.</i> , 2015)
<i>E. grandis</i>	MG	36,0	58,5%	41,5%	(BATISTA <i>et al.</i> , 2013)
<i>E. spp.</i>	SC	33,0	54,7%	45,3%	(ZANELLA, 2016)
<i>E. grandis</i>	PR	33,0	49,8%	50,2%	(CARVALHO, 2016)
<i>E. grandis</i>	MG	34,0	43,8%	56,2%	(MONTEIRO; LIMA; TRUGILHO, 2013)
<i>P. Elliottii</i>	SC	11,00	43,2%	56,8%	(BIASI; ROCHA, 2003)
<i>P. Elliottii</i>	SC	14,5	30,5%	69,5%	(FONTES, 1994)
<i>P. taeda</i>	PR	15,6	38,0%	62,0%	(LOPES <i>et al.</i> , 2018)
<i>P. spp.</i>	PR	19,5	40,4%	59,6%	(SERPE; FILHO; ARCE, 2018)
<i>Pinus</i>	SC	23,0	38,6%	61,4%	(BRAND <i>et al.</i> , 2002)
<i>P. taeda</i>	PR	23	51,7%	48,3%	(CABRAL, 2019)
<i>P. spp.</i>	SP	23,5	57,9%	42,1%	(ALMEIDA; SACOME; SOUSA, 2014)
<i>P. taeda</i>	SC	30,0	44,2%	55,8%	(MURARA; ROCHA; TRUGILHO, 2013)
<i>P. Elliottii</i>	RS	30,0	43,4%	56,6%	(BARBOSA <i>et al.</i> , 2014)
<i>P. spp.</i>	PR	30,0	49,0%	51,0%	(MANHIÇA; ROCHA; TIMOFEICZYK JÚNIOR, 2012)
<i>P. taeda</i>	SC	30,0	53,5%	46,5%	(CHIES, 2005)
<i>P. taeda</i>	SC	38,5	57,0%	43,0%	(DOBNER JÚNIOR; HIGA; ROCHA, 2012)

Fonte: Autora (2021)

Todos os trabalhos de processamento primário adotaram o método convencional de desdobro da madeira sem instrumento para a otimização do corte.

3.1.2 Cálculo de captura e estoque temporário carbono e emissão de CO₂

A captura de carbono foi proveniente do crescimento da floresta e o estoque do rendimento nos produtos de madeira em tora e serrada. Para transformação em carbono, utilizou-se o coeficiente de conversão de tonelada seca de madeira serrada para tonelada de carbono de 0,47 citado pelo *Intergovernmental Panel on*

²⁵ Estados brasileiros: MG: Minas Gerais; PR: Paraná; RJ: Rio de Janeiro; RS: Rio Grande do Sul; SC: Santa Catarina; SP: São Paulo.

Climate Change (IPCC, 2019b). Para verificar este coeficiente, levantou-se dados da literatura dos teores de carbono encontrados nos diferentes componentes das árvores, conforme a Tabela 6 e encontrou-se uma média de 46% de teor de carbono, valor similar ao do IPCC.

Tabela 6: Teor médio de carbono na biomassa seca nos diferentes componentes das árvores

Espécie	Local	Idade (ano)	Acícula	Galhos	Cascas	Tronco	Raiz	Média Total	Referências
<i>P. taeda</i>	SC	-	46,9%	48,3%	-	45,1%	46,5%	46,7%	Cubas, Costa e Zanis (2016)
<i>P. taeda</i>	SC	5	47,3%	43,0%	40,0%	45,7%	42,8%	43,8%	Balbinot et al. (2020)
<i>P. taeda</i>	SC	15	45,1%	44,2%	44,7%	45,4%	44,0%	44,7%	Dallagnol et al (2011)
<i>E. grandis</i>	SC	15	48,2%	42,1%	39,5%	42,6%	42,2%	42,9%	Dallagnol et al (2011)
<i>E. urophylla</i>	CE	-	43,4%	43,6%	36,8%	54,3%	-	44,5%	Alves (2007)
<i>E. grandis</i>	MG	1	45,9%	-	-	44,4%	45,4%	45,2%	Assis (2012)
<i>E. urophylla</i>	MG	1	46,8%	-	-	44,4%	45,8%	45,7%	Assis (2012)
<i>E. grandis</i>	RS	1	48,2%	46,8%	44,0%	47,4%	-	46,6%	Behling et al. (2014)
<i>E. grandis e urophylla</i>	ES	9	52,0%	52,0%	48,0%	50,5%	51,0%	50,7%	Neves (2000) apud Assis (2012)
46%									

Fonte: Autora (2021)

As emissões de CO₂ foram quantificadas considerando o percentual dos resíduos diretos²⁶ das etapas 1 e 2 e transformados em toneladas de resíduos por tonelada de madeira serrada e posterior em tonelada de CO₂ por tonelada de madeira serrada. Para a conversão de carbono para CO₂, adotou-se o coeficiente de 3,67 por estequiometria, onde a massa de Carbono é 12 e de Oxigênio é 16, dessa forma tem-se:

$$CO_2 = \frac{(C+O_2)}{C} \quad (1)$$

Não foram contabilizadas as mitigações indiretas pelo uso de resíduos como fonte energética renovável em substituição a fontes fósseis, ou qualquer outro uso que possa ser considerado neutro em carbono, são apresentados neste trabalho apenas a captura e emissão de carbono diretos do processo analisado. Os resultados foram expressos considerando a faixa de variação encontrada nas referências e apresentados em valores mínimos, medianos e máximos, para incorporar as incertezas.

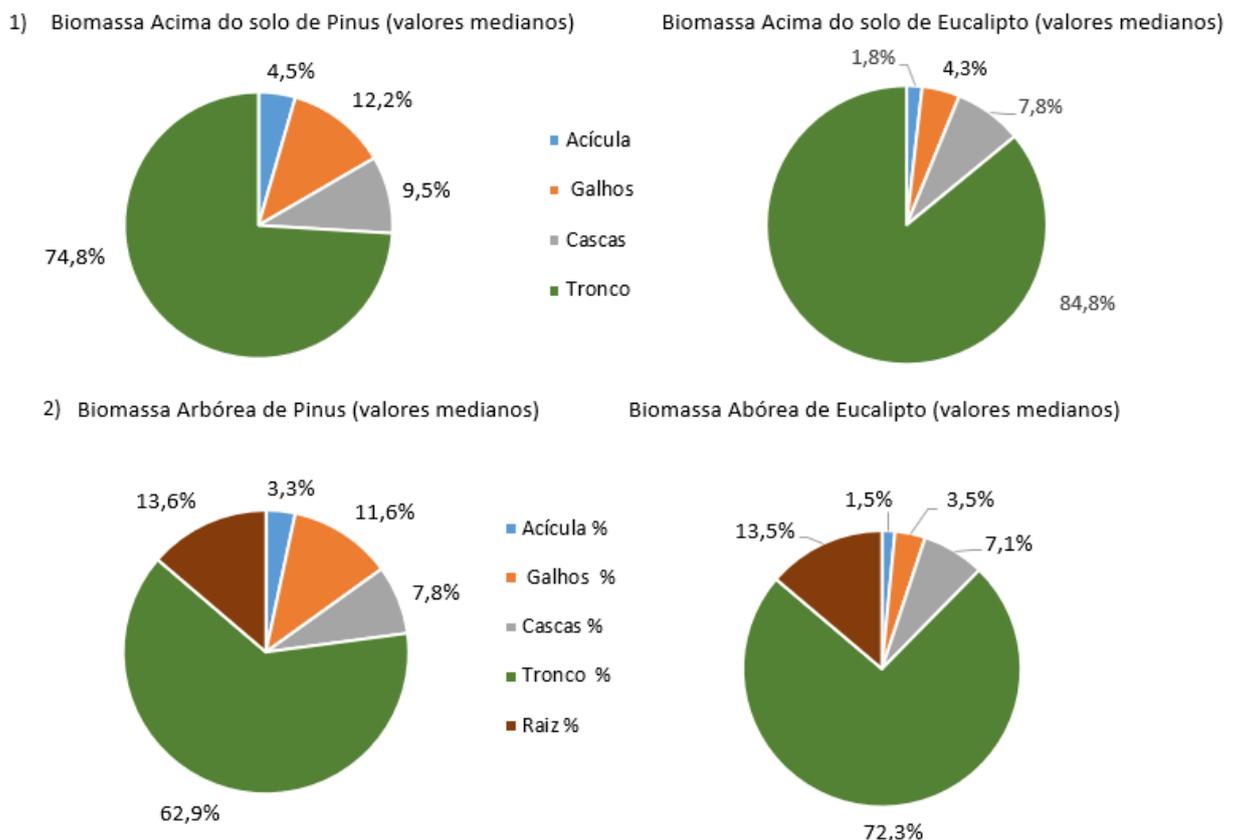
²⁶ Na etapa de colheita florestal: galhos, folhas e cascas. No processamento primário: cavacos, cascas, serragens, costaneiras.

3.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.2.1 Biomassa e captura de carbono acima e abaixo do solo proveniente das operações florestais

De posse dos dados encontrados nas operações florestais, estimou-se a distribuição dos componentes florestais de pinus e eucalipto, conforme a Figura 13.

Figura 13: Distribuição da biomassa acima do solo dos componentes florestais provenientes da Tabela 3. (2) Distribuição da biomassa arbórea (acima e abaixo do solo) dos componentes florestais provenientes da Tabela 4



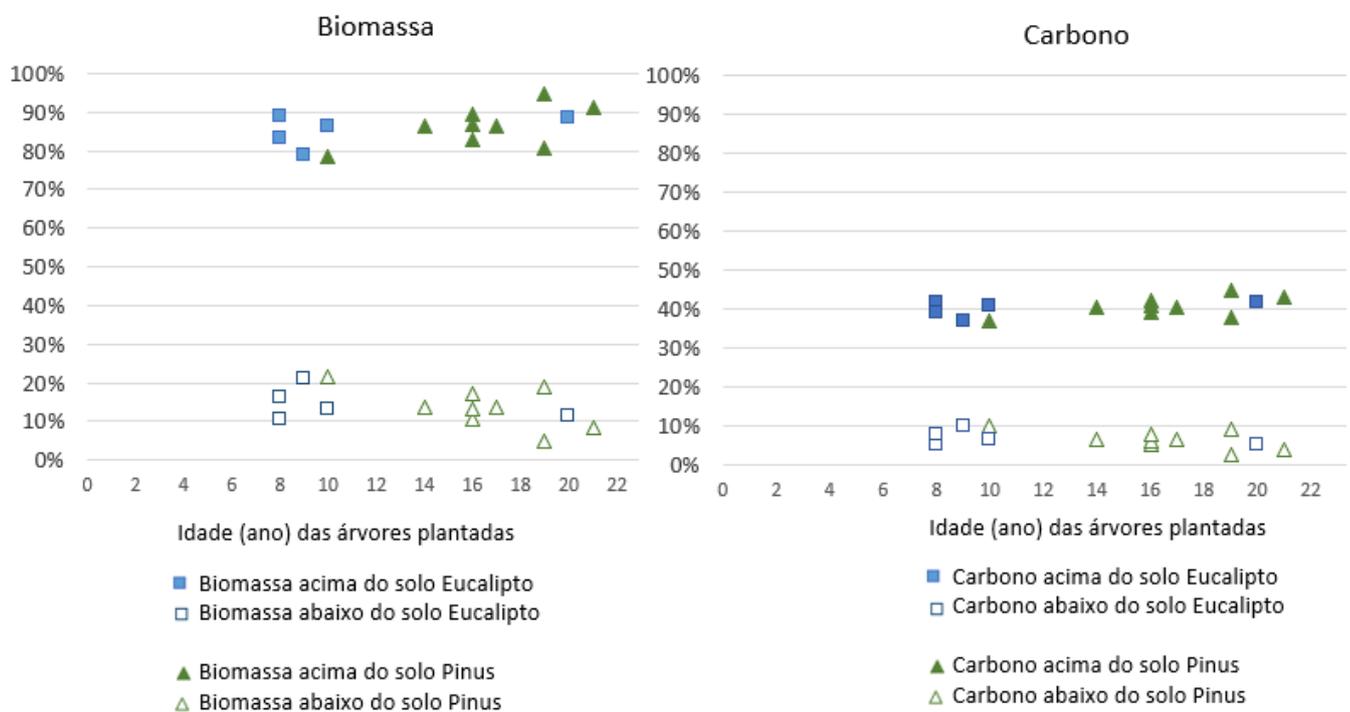
Fonte: Autora (2021)

O tronco representou a maior concentração de biomassa nos dois gêneros estudados. Acima do solo, a distribuição foi: tronco > galhos > cascas > acícula. Para o eucalipto houve uma inversão das cascas e galhos, sendo: tronco > cascas > galhos > acículas. Considerando a biomassa arbórea (acima e abaixo do solo) as raízes denotaram uma proporção significativa da distribuição, sendo para o pinus: tronco > raízes > galhos > cascas > acículas, e para o eucalipto: tronco > raízes >

cascas > galhos > e acículas. Nota-se que o pinus e o eucalipto apresentam a mesma proporção de biomassa de raízes, porém o eucalipto apresenta maior percentual de biomassa de tronco, podendo fornecer um maior estoque de carbono.

Na sequência estimou-se a correlação de biomassa e carbono acima e abaixo do solo conforme a idade de crescimento das árvores plantadas para ambos os gêneros estudados, conforme a Figura 14.

Figura 14: Distribuição da biomassa seca e carbono acima e abaixo do solo separado por gênero (Eucalipto e Pinus) ao longo dos anos Tabela 4 (valores medianos)



Fonte: Autora (2021)

A biomassa seca total acima do solo²⁷ variou de 78,5% a 94,9% (108,9 t/ha a 273,3 t/ha) para o pinus e 78,5% a 89,2% (169,4 t/ha a 231,4 t/ha) para o eucalipto. Abaixo do solo²⁸ os valores foram de 5,1% a 21,5% (11,7 t/ha a 53,6 t/ha) para o pinus e 10,8% a 21,5% (24,5 t/ha a 45,7 t/ha) para o eucalipto (mínimos e máximos). As idades médias variaram para ambos os gêneros sendo 16 anos para o pinus e 10 anos para o eucalipto.

²⁷ Soma das biomassas de tronco, galhos, acícula e cascas.

²⁸ Biomassa das raízes.

O carbono acima do solo foi encontrado em função dos valores de biomassa seca e as variações foram 36,9% a 44,6% (51,2 tC/ha a 128,5 tC/ha) para o pinus entre 10 a 21 anos, respectivamente, e 37,1% a 41,9% (79,6 tC/ha a 108,8 tC/ha) para o eucalipto com idades entre 8 a 20 anos, respectivamente. Os valores de carbono abaixo do solo foram 2,4% a 10,1% (5,5 tC/ha a 25,2 tC/ha) para o pinus e 5,1% a 9,9% (11,5 tC/ha a 21,5 tC/ha) para o eucalipto (mínimos e máximos).

Para comparação dos resultados buscou-se artigos internacionais que consideravam biomassa seca e carbono acima e abaixo do solo e a Tabela 7 evidencia os dados encontrados em diferentes países.

Tabela 7: Dados de biomassa seca e carbono acima e abaixo do solo²⁹ de diferentes países, nas unidades de toneladas por hectare (t/ha) e seus respectivos percentuais

País	Gênero	Idade	Biomassa acima do solo (BAC)		Biomassa abaixo do solo (BAB)		Carbono acima do solo		Carbono abaixo do solo		Referência
			(t/ha)	(%)	(t/ha)	(%)	(tC/ha)	(%)	(tC/ha)	(%)	
Nova Zelândia	<i>Pinus</i>	5	21,2	83%	4,4	17	10	83%	2,1	17%	(OLIVER <i>et al.</i> , 2014)
Argentina	<i>Pinus</i>	10	259,6	84%	51,1	16%	122,0	84%	24,0	16%	(ZANINOVICH; GATTI, 2020)
Nova Zelândia	<i>Pinus</i>	10	117,6	-	-	-	55,3	-	-	-	(KC; MASON; BOWN, 2020)
Estados Unidos	<i>Pinus</i>	15	93,0	81%	22,0	19%	43,7	81%	10,3	19%	Kinerson <i>et al.</i> , 1977; Ralston <i>et al.</i> (s/d) apud (CAIRNS <i>et al.</i> , 1997)
Nova Zelândia	<i>Pinus</i>	15	92,5	83%	18,5	17%	43,5	83%	8,7	17%	(OLIVER <i>et al.</i> , 2014)
Patagônia	<i>Pinus</i>	15 a 20	100,4	84%	18,6	16%	47,2	84%	8,7	16%	(LACLAU, 2003)
Japão	<i>Pinus</i>	20	93,0	80%	23,0	20%	43,7	80%	10,8	20%	SATTO (s/d) apud (CAIRNS <i>et al.</i> , 1997)
Australia	<i>Pinus</i>	30	242	-	-	-	121,0	-	-	-	(HOPMANS; ELMS, 2009)
Moçambique	<i>Pinus</i>	34	162,1	75%	53,3	25%	76,2	75%	25,1	25%	(GUEDES <i>et al.</i> , 2018)
Espanha	<i>Pinus</i>	90	204,0	79%	53	21%	95,9	79%	24,9	21%	Puigdefabregas (1984) apus (CAIRNS <i>et al.</i> 1997)
Australia	<i>Eucalipto</i>	10	138,5	-	-	-	65,1	-	-	-	(TURNER; LAMBERT, 2008)
Australia	<i>Eucalipto</i>	19	271,5	-	-	-	127,6	-	-	-	(TURNER; LAMBERT, 2008)
Moçambique	<i>Eucalipto</i>	34	202,5	78%	58,7	22%	95,2	78%	27,6	22%	(GUEDES <i>et al.</i> , 2018)
Madagascar	<i>Eucalipto</i>	-	-	-	82,3 a 100,9	-	-	-	38,7 a 47,42	-	(RAZAKAMANARIVO <i>et al.</i> , 2012)

Fonte: Autora (2021)

Os valores compilados para o gênero de pinus nos estudos internacionais foram semelhantes e ficaram dentro dos intervalos dos estudos brasileiros, no entanto para ao gênero de eucalipto houve algumas divergências, isso porque foram analisadas etapas distintas de corte.

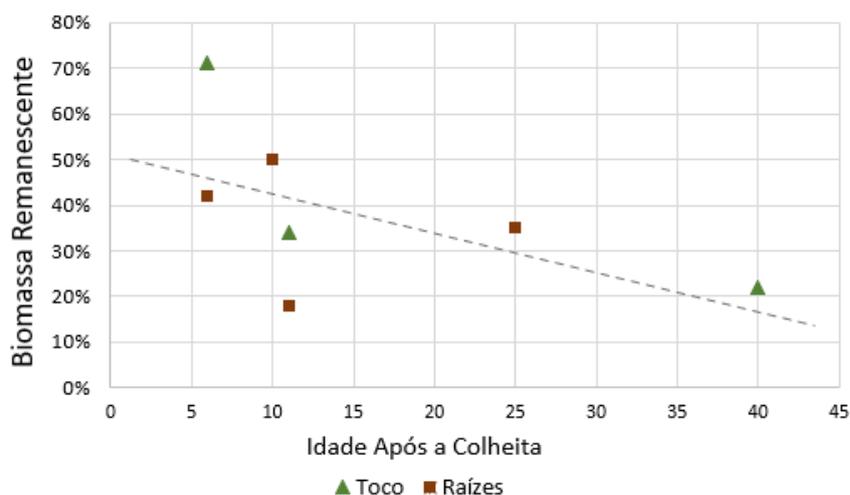
Algumas diferenças ocorrem nos resultados pois não há um método normatizado para quantificar a biomassa acima e abaixo do solo e dessa forma existem variações nas metodologias utilizadas pelos autores (BROWN, 2002). De tal forma,

²⁹ Alguns estudos apresentaram dados somente de biomassa ou de carbono. Se os dados foram apresentados em biomassa, multiplicou-se pelo valor de 0,47 para transformação em carbono e quando os dados foram apresentados somente em carbono dividiu-se pelo valor de 0,47 para transformar em biomassa.

condições ambientais como o clima, umidade, vegetação, tipo e profundidade do solo, podem influenciar na absorção de biomassa e principalmente carbono, representando 84% da distinção dos resultados (JOBÁGY; JACKSON, 2000; LUO *et al.*, 2012; POST *et al.*, 1982; YANG *et al.*, 2007). Fatores como gêneros, espécies e idades das florestas plantadas também interferem nos resultados.

Como evidenciado, no decorrer de seu crescimento as árvores plantadas capturam o carbono da atmosfera pelo processo de fotossíntese, porém, através de queimas e ou transformações o mesmo é liberado novamente. No fim do seu ciclo de vida, a madeira plantada é considerada carbono neutro (CHERUBINI; BRIGHT; STRØMMAN, 2012; KIM; SONG, 2014; MATHEWS, 2008; VALENTINI; MIGLIETTA, 2015). No entanto, uma parte do carbono é armazenado no solo, isso possibilita a cadeia de árvores plantadas tornar-se negativa em carbono (FUSS *et al.*, 2014; IORDAN *et al.*, 2018; VAN VUUREN *et al.*, 2013). Sendo possível estocá-lo a longo prazo, onde pode-se encontrar residual de carbono no solo entre 30 a 200 anos após a extração das florestas plantadas (GARRETT *et al.*, 2008).

Alguns estudos analisaram o tempo de degradação de tocos e raízes ao longo dos anos. Na Nova Zelândia Garrett *et al.* (2008) para o gênero de pinus concluiu que após 6 anos da extração florestal havia 71% de biomassa original nos tocos e 42% nas raízes, e após 11 anos 34% de biomassa nos tocos e 18% de biomassa nas raízes. A concentração de carbono não diferiu da biomassa após 6 anos, mas variou de 52,6 a 63,2% após 10-11 anos (GARRETT *et al.*, 2008, 2010). Nos Estados Unidos após 10 e 25 anos da colheita de florestas de pinus, Ludovici; Zarnoch; Richter (2002) concluíram que havia entre 50% e 35% de biomassa original nas raízes. Na Finlândia após 40 anos em florestas de pinus havia 22% de biomassa remanescente nos tocos (PALVIAINEN *et al.*, 2010). A Figura 15, exibe os resultados encontrados por esses autores de biomassa remanescente.

Figura 15: Distribuição de biomassa remanescente de tocos e raízes de florestas plantadas

Fonte: Autora, com dados de Garret *et al.* (2008), Garret *et al.* (2010); Ludovici; Zarnoch; Richter (2002); Palviainen *et al.* (2010)

Embora a decomposição da biomassa de tocos e raízes seja um processo complexo, é evidente que há um residual de carbono temporário presente abaixo do solo após a colheita das árvores plantadas e o processo de degradação do mesmo é lento, tornando as florestas plantadas um importante sumidouro de carbono a longo prazo (GANJEGUNTE *et al.*, 2004; GARRETT *et al.*, 2008; LUDOVICI; ZARNOCH; RICHTER, 2002; PALVIAINEN *et al.*, 2010).

3.2.2 Fluxo de carbono e emissão de CO₂ da madeira plantada

Obteve-se o estoque de carbono do rendimento da madeira em tora e madeira serrada, conforme a Tabela 8.

Tabela 8: Intervalos de variação do rendimento da madeira plantada, proveniente das etapas de operações florestais e processamento primário, obtidos nas (Tabela 4 e Tabela 5)

Rendimento	Operações Florestais			Processamento Primário		
	Mínimo	Mediano	Máximo	Mínimo	Mediano	Máximo
Pinus	66,8%	69,8%	86,4%	30,5%	43,8%	57,9%
Eucalipto	72,0%	78,6%	85,0%	37,7%	48,9%	58,5%

Fonte: Autora (2021)

As emissões de CO₂ biogênico foram calculadas com dados dos resíduos gerados nas duas etapas, conforme Tabela 9.

Tabela 9: Intervalos de variação dos resíduos da madeira plantada, proveniente das etapas de operações florestais e processamento primário obtidos nas (Tabela 4 e Tabela 5)

Resíduos	Operações Florestais			Processamento Primário		
	Mínimo	Mediano	Máximo	Mínimo	Mediano	Máximo
Pinus	8,5%	16,2%	19,5%	42,1%	56,2%	69,5%
Eucalipto	3,6%	7,2%	14,5%	41,5%	51,1%	62,3%

Fonte: Autora (2021)

O rendimento³⁰ da madeira em tora de modo geral (pinus + eucalipto), variou de 66,8% a 86,4%, sendo a mediana de 74,2%. Santos (2021)³¹ com dados primários de quatro empresas de operações florestais no estado do Paraná, identificou rendimento 80% - 95% (mínimo e máximo) para espécie de pinus e concluiu que este valor está acima dos valores encontrados em literatura pois as empresas estudadas contabilizaram apenas os resíduos gerados na etapa de colheita. Outro fator exposto pelo autor é que o menor rendimento obtido nas operações florestais ocorreu devido a declividade dos terrenos de cultivos (>30°), dessa maneira as empresas fazem uso de equipamentos manuais para a colheita, como motosserras, enquanto as demais utilizam equipamento de *harvesters* e *skidders* (SANTOS, 2021).

Fischer (2020) em um Inventário de Ciclo de Vida (ACV) simplificado constatou que o baixo nível de resíduos gerados nas operações florestais pode estar relacionado ao alto rendimento dos maquinários na colheita florestal. No Brasil o modelo mais empregado de desbaste de florestas plantadas são os *harvesters* e *forwader*, estes possuem maior nível tecnológico apresentando um desempenho operacional de 82,7% a 91%, conseqüentemente gerando um volume menor de resíduos (ALVARENGA, 2017; BURGIM, 2016; FISCHER, 2020; LINHARES *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2010).

O rendimento³² da madeira serrada variou de 30,5% a 58,5%, ressalta-se que para o processamento primário a mediana foi de 46,3%, ou seja, praticamente mais da metade da matéria-prima que entra na serraria para transformação, torna-se resíduo, isso pode estar relacionado a alguns fatores inerentes a matéria-prima como: características das espécies; diâmetro das toras; falta da qualidade e mudança de geometria das toras processadas (BARBOSA *et al.*, 2014; BIASI; ROCHA, 2003; CARVALHO, 2016; FAGUNDES, 2003).

³⁰ Rendimento da colheita das árvores plantadas.

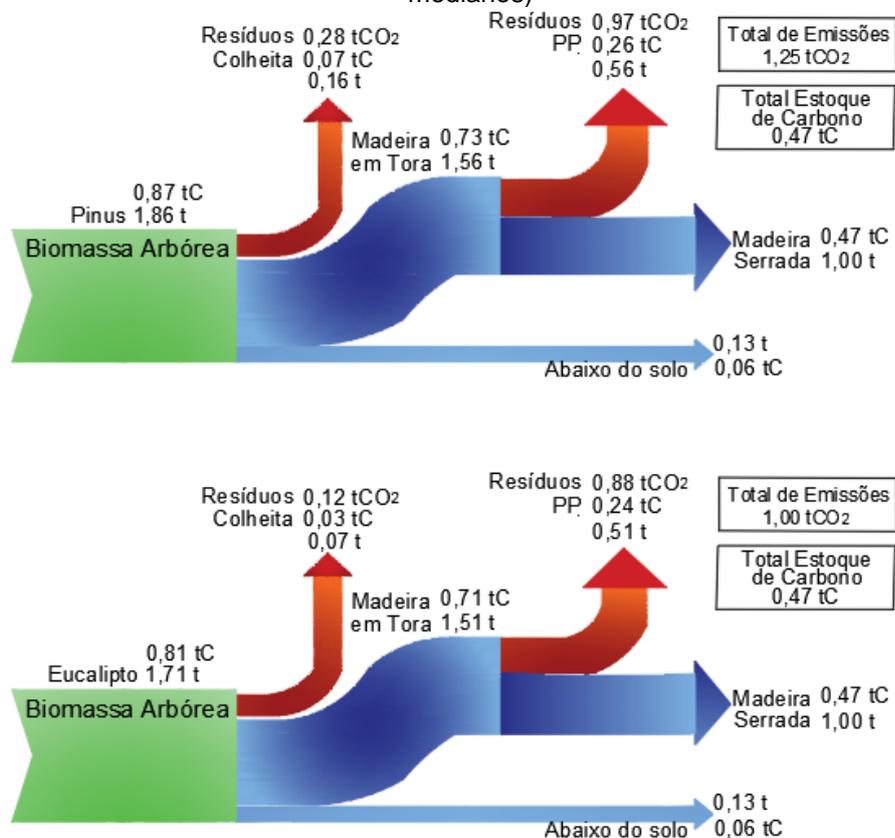
³¹ Pesquisa não publicada.

³² Rendimento da serraria.

As condições relacionadas aos equipamentos também influenciam no rendimento da madeira serrada, entre elas a espessura e potência dos equipamentos de cortes; adoção de técnicas menos apuradas de desdobro; decisões equivocadas dos operadores das serras, equipamentos desatualizados e falta de manutenção dos mesmos (ALMEIDA; SACOME; SOUSA, 2014; BARBOSA *et al.*, 2014; BATISTA *et al.*, 2013; BIASI; ROCHA, 2003; BRAND *et al.*, 2002; SANTOS, 2021). Barbosa *et al.* (2014) e Brand *et al.* (2002) afirmam que a maioria das indústrias (unidades produtivas) de processamento primário no Brasil são dotadas de equipamentos antigos que ocasionam grande perda de matéria-prima.

Com os percentuais de rendimento (Tabela 8) e resíduos (Tabela 9) estimou-se o fluxo de carbono de pinus e eucalipto em função de 1,0 tonelada seca de madeira serrada bruta, a Figura 16 expõe os valores medianos encontrados para ambos os gêneros.

Figura 16: Fluxo de carbono considerando as operações florestais (madeira em tora) acima e abaixo do solo, processamento primário (PP) (madeira serrada) de floresta de pinus e eucalipto (valores medianos)



Fonte: Autora (2021)

As maiores emissões ocorreram no processamento primário da madeira serrada, seguido da etapa da colheita. Analisando quatro empresas paranaenses, Santos (2021)³³ sinalizou que entre 0,08 tCO₂/t – 0,34 tCO₂/t de resíduos são emitidos nas operações florestais³⁴ e com informações fornecidas por duas empresas que incorporam o processamento primário de madeira serrada³⁵ em suas atividades, obteve 0,87 tCO₂/t – 0,90 tCO₂/t de resíduos emitidos (mínimos e máximos). Fischer (2020) analisando empresas do sul do Brasil concluiu que as emissões relacionadas ao processo produtivo é a fase mais relevante do ciclo de vida da madeira serrada. O que condiz com os valores encontrados neste estudo.

Contudo os resíduos gerados nas operações florestais na sua maioria são deixados no local de extração, onde na Nova Zelândia Ganjunte et al. (2004) estudou a decomposição dos resíduos da extração florestal do gênero de pinus e concluiu que após 13 anos a madeira em tora, casca e galhos perderam 59%, 55%, 24% da sua massa inicial, respectivamente, concentrando carbono por um bom tempo e concluiu que demorou ao menos 4 anos para haver alguma mudança visível na decomposição destes resíduos (GANJEGUNTE *et al.*, 2004). Nos Estados Unidos as taxas de decomposição dos resíduos de madeira foram de 50,9% após 5 a 24 anos e de 53,5% após 35 a 55 anos (HARMON; CROMACK, 1987). As condições climáticas e ambientais como: umidade, vegetação, tipo do solo e espécies podem influenciar nessas taxas de decomposição nos diferentes climas e regiões do planeta.

Portanto, os resíduos gerados nas operações florestais não são uma etapa expressiva para mitigação de CO₂, uma vez que se tem a possibilidade de estocar carbono por um tempo. Além disto, a permanência dos resíduos na floresta é necessária para a ciclagem³⁶ de nutrientes.

³³ Pesquisa não publicada.

³⁴ Valor apresentado em resíduo (0,05 t/t – 0,20 resíduo/tproduto) e transformado em CO₂, utilizando os valores de 0,47 C e 3,67 CO₂.

³⁵ Valor apresentado em resíduo (0,509 t/t – 0,525 resíduo/tproduto) e transformado em CO₂, utilizando os valores de 0,47 C e 3,67 CO₂.

³⁶ “A ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais refere-se ao processo de absorção das minerais pelas plantas, translocação interna entre os tecidos vegetais e transferência desses elementos, acumulados na fitomassa pág.8 (EMBRAPA, 1999)”.

3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO 3

Através deste estudo pode-se quantificar a captura de carbono oriundo do crescimento das plantações florestais de pinus e eucalipto. Acima do solo a captura ocorreu através da biomassa dos troncos, galhos e cascas, onde se obteve 51,2 tC/ha - 128,5 tC/ha (36,9% - 44,6%) (mínimos e máximos), respectivamente. Abaixo do solo a captura de carbono foi proveniente da biomassa das raízes, onde estocou-se 5,5 tC/ha - 25,2 tC/ha (2,4% - 10,1%) (mínimos e máximos), respectivamente em um ciclo de aproximadamente 20 anos.

As emissões biogênicas de CO₂ referentes apenas ao carbono estocado na madeira, foram quantificadas através dos resíduos nas etapas de operações florestais e processamento primário da madeira plantada serrada bruta e estima-se que para produzir 1,0 tonelada seca de madeira serrada bruta tenham sido emitidos 1,25 tCO₂ para florestas de pinus, sendo 0,28 tCO₂ nas operações florestais e 0,97 tCO₂ no processamento primário. Para as florestas de eucalipto foram emitidos 1,0 tCO₂, onde 0,12 tCO₂ foram provenientes das operações florestais e 0,88 tCO₂ no processamento primário. O estoque de carbono para ambos os gêneros foi de 0,47 tC acima do solo e 0,13 tC abaixo do solo.

Evidenciando que as maiores emissões biogênicas ocorreram no processamento primário da madeira plantada serrada bruta, devido ao baixo nível tecnológico dos equipamentos utilizados no desdobro da madeira serrada, seguido das emissões relacionadas aos resíduos gerados nas operações florestais, porém estes na sua maioria são deixados no local de extração e dessa maneira podem continuar armazenando carbono e tem importante função na ciclagem de nutrientes.

Ressalta-se que esses valores foram encontrados com base em dados secundários de estudos apresentados nesta pesquisa, porém como as espécies estudadas se tratam de monoculturas e o crescimento, idade, porte, raízes entre outros fatores sejam correlatos, os valores resultantes representam uma grandeza em relação às emissões e ciclo do carbono, podendo ser um valor de referência para estudos relacionados.

Dessa forma, conclui-se que é possível reduzir a produção dos resíduos no processamento primário da madeira plantada serrada bruta através de melhoraria no desempenho do processamento primário da madeira serrada, esta é a

principal oportunidade para mitigar as emissões de CO₂ nas etapas analisadas neste estudo.

3.4 REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 3

ALBUQUERQUE, Igor; ALENCAR, Ane; ANGELO, Claudio. SEEG 8 ANÁLISE DAS EMISSÕES BRASILEIRAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA E SUAS IMPLICAÇÕES PARA AS METAS DE CLIMA DO BRASIL 1970-2019. [s. l.], p. 41, 2020.

ALMEIDA, Mayron Aparecido de; SACOME, Bruno; SOUSA, Roney. Análise de aproveitamento no desdobro de madeira serrada – Pinus spp. [s. l.], p. 11, 2014.

ALVARENGA, PATRÍCIA CARVALHO. **COMPARAÇÃO ENTRE APONTAMENTOS MANUAL E ELETRÔNICO DE PRODUÇÃO EM UM HARVESTER**. [S. l.: s. n.], 2017.

BALBINOT, Rafaelo *et al.* ESTOQUE DE CARBONO EM PLANTAÇÕES DE Pinus spp. EM DIFERENTES IDADES NO SUL DO ESTADO DO PARANÁ. **FLORESTA**, [s. l.], v. 38, n. 2, 2008. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/11626>. Acesso em: 18 mar. 2020.

BARBOSA, Lucas Cândido *et al.* Avaliação dos resíduos de uma serraria para a produção de celulose. **Ciência Florestal**, [s. l.], v. 24, n. 2, p. 491–500, 2014.

BATISTA, Djeison Cesar *et al.* Desdobro de Eucalyptus grandis com motosserra, Parte 1 – Análise do desempenho operacional. **Ciência Florestal**, [s. l.], v. 23, n. 3, 2013. Disponível em: <http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/10558>. Acesso em: 18 mar. 2020.

BATISTA, Djeison Cesar; CARVALHO, Alexandre Monteiro de. Operational performance evaluation of a sawmill through work delay ratio, yield and efficiency. **Sci. For.**, [s. l.], n. 75, p. 8, 2007.

BAUL, Tarit *et al.* Climate Change Mitigation Potential in Boreal Forests: Impacts of Management, Harvest Intensity and Use of Forest Biomass to Substitute Fossil Resources. **Forests**, [s. l.], v. 8, n. 11, p. 455, 2017.

BIASI, Cândido Pietro; ROCHA, Márcio Pereira. RENDIMENTO EM SERRARIA DE Pinus elliotii. [s. l.], p. 12, 2003.

BIZON, José Márcio Cossi. **Avaliação da sustentabilidade nutricional de plantios de Pinus taeda L. usando um balanço de entrada-saída de nutrientes**. 2006. Mestrado em Recursos Florestais - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-22102007-092659/>. Acesso em: 25 jan. 2020.

BRAND, Martha Andreia *et al.* CARACTERIZAÇÃO DO RENDIMENTO E QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS EM SERRARIA ATRAVÉS DO BALANÇO DE MATERIAIS. **FLORESTA**, [s. l.], v. 32, n. 2, 2002. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/2288>. Acesso em: 18 mar. 2020.

BROWN, Sandra. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. **Environmental Pollution**, [s. l.], v. 116, n. 3, p. 363–372, 2002.

BURGIN, MARIO RODOLFO BOFF. **DESEMPENHO OPERACIONAL E CUSTOS DO HARVESTER NO DESBASTE DE Pinus taeda**. 2016. 83 f. - UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO, Irati - PR, 2016. Disponível em: <https://www2.unicentro.br/ppgf/files/2016/12/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Mario-Rodolfo-Boff-Burgin.pdf?x76404>. Acesso em: 10 jan. 2021.

CABRAL, Jordão. PERFORMANCE IN Pinus taeda WOOD WITH DIFFERENT DIAMETTRICS CLASSES AND CUTTING PLANS. [s. l.], p. 7, 2019.

CAIRNS, Michael A. *et al.* Root biomass allocation in the world's upland forests. **Oecologia**, [s. l.], v. 111, n. 1, p. 1–11, 1997.

CARVALHO, Douglas Edson. **MELHORIA NO DESDOBRO EM UMA SERRARIA DE EUCALIPTO PARA MADEIRA DESTINADA A CONSTRUÇÃO**. 2016. [s. l.], 2016.

CASTRO, Carlos Ferreira de Abreu; POGGIANI, Fábio; NICOLIELO, Norival. DISTRIBUIÇÃO DA FITOMASSA E NUTRIENTES EM TALHÕES DE Pinus oocarpa COM DIFERENTES IDADES. [s. l.], 1980. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr20/cap04.pdf>.

CHERUBINI, Francesco; BRIGHT, Ryan M; STRØMMAN, Anders H. Site-specific global warming potentials of biogenic CO₂ for bioenergy: contributions from carbon fluxes and albedo dynamics. **Environmental Research Letters**, [s. l.], v. 7, n. 4, p. 045902, 2012.

CHIES, Daniel. Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de Pinus taeda L. [s. l.], p. 137, 2005.

CUNHA, Alexsandro Bayestorff *et al.* AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO EM MADEIRA SERRADA DE Eucalyptus benthamii E DE Eucalyptus grandis POR MEIO DO DESDOBRO TANGENCIAL E RADIAL. **FLORESTA**, [s. l.], v. 45, n. 2, p. 241, 2014.

DE SOUZA, Álvaro Nogueira *et al.* 222 MODELAGEM DO RENDIMENTO NO DESDOBRO DE TORAS DE EUCALIPTOSCOUULZTAI,VAA.DNO. de *et al.* EM SISTEMA AGROFLORESTAL. [s. l.], v. 13, n. 2, p. 17, 2007.

DENG, Lei *et al.* Global patterns of the effects of land-use changes on soil carbon stocks. **Global Ecology and Conservation**, [s. l.], v. 5, p. 127–138, 2018.

DOBNER JÚNIOR, Mário; HIGA, Antonio Rioyei; ROCHA, Márcio Pereira da. Rendimento em Serraria de Toras de Pinus taeda: Sortimentos de Grandes Dimensões. **Floresta e Ambiente**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 385–392, 2012.

EMBRAPA. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais**. [S. l.: s. n.], 1999. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/337399/ciclagem-de-nutrientes-em-ecossistemas-florestais>.

FAGUNDES, Hilton Albano Vieira. PRODUÇÃO DE MADEIRA SERRADA E GERAÇÃO DE RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO DE MADEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS NO RIO GRANDE DO SUL. [s. l.], p. 173, 2003.

FERREIRA, Sérgio; LIMA, José Tarcísio; TRUGILHO, Paulo Fernando. INFLUÊNCIA DE MÉTODOS DE DESDOBRO TANGENCIAIS NO RENDIMENTO E NA QUALIDADE DA MADEIRA DE CLONES DE Eucalyptus spp. [s. l.], v. 10, n. 1, p. 13, 2004.

FISCHER, ANNA CLAUDIA. **AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO E DE EMISSÕES DE CO₂ DOS MATERIAIS DE MADEIRA APLICADOS À PREFABRICAÇÃO DE**

VEDAÇÕES VERTICAIS EM WOOD FRAME PARA O CONTEXTO BRASILEIRO. 2020. 207 f. Dissertação - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, Curitiba, 2020.

FONTES, Paulo José Prudente. **Auto suficiência energética em serraria de Pinus e aproveitamento dos resíduos.** 1994. 153 f. - Universidade Federal do Paraná, [s. l.], 1994.

FUSS, Sabine *et al.* Betting on negative emissions. **Nature Climate Change**, [s. l.], v. 4, n. 10, p. 850–853, 2014.

GANJEGUNTE, Girisha K *et al.* Decomposition and nutrient release from radiata pine (*Pinus radiata*) coarse woody debris. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 187, n. 2–3, p. 197–211, 2004.

GARRETT, L.G. *et al.* Decomposition of *Pinus radiata* coarse woody debris in New Zealand. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 255, n. 11, p. 3839–3845, 2008.

GARRETT, Loretta G. *et al.* Decomposition of woody debris in managed *Pinus radiata* plantations in New Zealand. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 260, n. 8, p. 1389–1398, 2010.

GATTO, Alcides *et al.* Estoque de carbono na biomassa de plantações de eucalipto na região centro-leste do estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, [s. l.], v. 35, n. 4, p. 895–905, 2011.

GUEDES, Benard S. *et al.* Plantations of *Pinus* and *Eucalyptus* replacing degraded mountain miombo woodlands in Mozambique significantly increase carbon sequestration. **Global Ecology and Conservation**, [s. l.], v. 14, p. e00401, 2018.

HARMON, Mark; CROMACK, Kermit. Coarse woody debris in mixed-conifer forests, sequoia National Park, California. [s. l.], 1987. Disponível em: <https://andrewsforest.oregonstate.edu/publications/9>.

HOPMANS, Peter; ELMS, Stephen R. Changes in total carbon and nutrients in soil profiles and accumulation in biomass after a 30-year rotation of *Pinus radiata* on podzolized sands: Impacts of intensive harvesting on soil resources. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 258, n. 10, p. 2183–2193, 2009.

IBÁ, Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório da Indústria Brasileira de Árvores 2019.** Brasília: [s. n.], 2019. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2020.

IORDAN, Cristina-Maria *et al.* Contribution of forest wood products to negative emissions: historical comparative analysis from 1960 to 2015 in Norway, Sweden and Finland. **Carbon Balance and Management**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 12, 2018.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use.** [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html>.

JOBBÁGY, Esteban G.; JACKSON, Robert B. THE VERTICAL DISTRIBUTION OF SOIL ORGANIC CARBON AND ITS RELATION TO CLIMATE AND VEGETATION. **Ecological Applications**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 423–436, 2000.

KC, Mohan; MASON, Euan G.; BOWN, Horacio E. Linking above-ground biomass production to below-ground carbon fluxes across stocking, clone, fertilization, and understory elimination in

Pinus radiata D. Don plantations, New Zealand. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 477, p. 118469, 2020.

KIM, Mi Hyung; SONG, Han Byul. Analysis of the global warming potential for wood waste recycling systems. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 69, p. 199–207, 2014.

LACLAU, J.-P. Nutrient Dynamics throughout the Rotation of Eucalyptus Clonal Stands in Congo. **Annals of Botany**, [s. l.], v. 91, n. 7, p. 879–892, 2003.

LINHARES, Mariana *et al.* Eficiência e desempenho operacional de máquinas Harvester e Forwarder na colheita florestal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [s. l.], v. 42, n. 2, p. 212–219, 2012.

LOPES, Fernanda Santos *et al.* RENDIMENTO EM MADEIRA SERRADA DE TORAS DE PEQUENO DIÂMETRO EM SERRARIA DE GRANDE PORTE. *In*: III CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 2018. **CIÊNCIA, TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL: COMPARTILHANDO CONHECIMENTOS INOVADORES E EXPERIÊNCIAS**. [S. l.]: Instituto Internacional Despertando Vocações, 2018. Disponível em: <https://cointer.institutoidv.org/pdvagro/pdvagrottrabalhos/2018/comunicacaoOral/RENDIMENTO-EM-MADEIRA-SERRADA-DE-TORAS-DE-PEQUENO-DI%C3%82METRO-EM-SERRARIA-DE-GRANDE-PORTE.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2020.

LUDOVICI, Kim H; ZARNOCH, Stanley J; RICHTER, Daniel D. Modeling in-situ pine root decomposition using data from a 60-year chronosequence. [s. l.], v. 32, p. 10, 2002.

LUDVICHAK, Aline Aparecida *et al.* NUTRIENT RETURN THROUGH LITTERFALL IN A *Eucalyptus dunnii* Maiden STAND IN SANDY SOIL. **Revista Árvore**, [s. l.], v. 40, n. 6, p. 1041–1048, 2016.

LUO, Yunjian *et al.* Root:shoot ratios across China's forests: Forest type and climatic effects. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 269, p. 19–25, 2012.

MANHIÇA, Alberto António; ROCHA, Márcio Pereira da; TIMOFEICZYK JÚNIOR, Romano. RENDIMENTO NO DESDOBRO DE *Pinus* sp. UTILIZANDO MODELOS DE CORTE NUMA SERRARIA DE PEQUENO PORTE. **FLORESTA**, [s. l.], v. 42, n. 2, p. 409, 2012.

MARCHESAN, Raquel *et al.* AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS DE ANELAMENTO E INSERÇÃO DE SABRE EM ÁRVORES DE *Eucalyptus grandis* VISANDO MAIOR QUALIDADE DA MADEIRA SERRADA. **FLORESTA**, [s. l.], v. 45, n. 4, p. 695, 2015.

MARCHETTI, Marco; CHIRICI, Gherardo; LASSERRE, Bruno. Carbon Losses Due to Wood Harvesting and the Role of Wood Products. *In*: VALENTINI, Riccardo; MIGLIETTA, Franco (org.). **The Greenhouse Gas Balance of Italy**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2015. p. 103–115. *E-book*. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-32424-6_7. Acesso em: 17 mar. 2020.

MATHEWS, John A. Carbon-negative biofuels. **Energy Policy**, [s. l.], v. 36, n. 3, p. 940–945, 2008.

MOMOLLI, Dione Richer *et al.* Modeling and Biomass Quantification in *Eucalyptus saligna* Smith Stand at the End Rotation in the South of Brazil. **Journal of Experimental Agriculture International**, [s. l.], p. 1–10, 2019.

MONTEIRO, Thiago Campos; LIMA, José Tarcísio; TRUGILHO, Paulo Fernando. Avaliação de desdobro de toras de Eucalyptus para obtenção de peças estruturais. [s. l.], v. 19, n. 3, p. 8, 2013.

MURARA, Mauro Itamar; ROCHA, Márcio Pereira da; TRUGILHO, Paulo Fernando. Estimativa do Rendimento em Madeira Serrada de Pinus para Duas Metodologias de Desdobro. **Floresta e Ambiente**, [s. l.], 2013. Disponível em: <http://floram.org/doi/10.4322/floram.2013.037>. Acesso em: 18 mar. 2020.

NEUMANN, Mathias; SMITH, Pete. Carbon uptake by European agricultural land is variable, and in many regions could be increased: Evidence from remote sensing, yield statistics and models of potential productivity. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 643, p. 902–911, 2018.

NEVES, Júlio César Lima. PRODUÇÃO E PARTIÇÃO DE BIOMASSA, ASPECTOS NUTRICIONAIS E HÍDRICOS EM PLANTIOS CLONAIIS DE EUCALIPTO NA REGIÃO LITORÂNEA DO ESPÍRITO SANTO. [s. l.], 2000.

OLIVER, Chadwick Dearing *et al.* Carbon, Fossil Fuel, and Biodiversity Mitigation With Wood and Forests. **Journal of Sustainable Forestry**, [s. l.], v. 33, n. 3, p. 248–275, 2014.

PALVIAINEN, Marjo *et al.* Carbon and nitrogen release from decomposing Scots pine, Norway spruce and silver birch stumps. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 259, n. 3, p. 390–398, 2010.

POST, Wilfred M. *et al.* Soil carbon pools and word life zones. [s. l.], 1982.

RAZAKAMANARIVO, Ramarson H. *et al.* Below-ground biomass production and allometric relationships of eucalyptus coppice plantation in the central highlands of Madagascar. **Biomass and Bioenergy**, [s. l.], v. 45, p. 1–10, 2012.

SANTOS, Iêdo Souza. AVALIAÇÃO DA MADEIRA DE Eucalyptus sp. [s. l.], p. 77, 2008.

SANTOS, Eduardo Picolotto. **Avaliação das emissões de CO2 e energia incorporada da madeira serrada produzida no Paraná e destinada à construção civil sob ponto de vista do inventário do ciclo de vida**. 2021. Dissertação - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, [s. l.], 2021.

SANTOS, Kristiana Fiorentin dos *et al.* BIOMASSA EM Pinus elliottii Engelm: UM DRENO PARA O CARBONO. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 7, 2019.

SCANAVACA, Laerte; GARCIA, José Nivaldo. Yield in sawed wood of Eucalyptus urophylla. [s. l.], p. 12, 2003.

SCHUMACHER, Mauro Valdir; POGGIANI, Fabio. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell, plantados em Anhembi, SP. **Ciência Florestal**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 21, 1999.

SCHUMACHER, Mauro Valdir; WITSCHORECK, Rudi; CALIL, Francine Neves. Biomassa em povoamentos de Eucalyptus spp. de pequenas propriedades rurais em Vera Cruz, RS. **Ciência Florestal**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 17–22, 2011.

SEEG. Análise das emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas implicações para as metas do Brasil 1970 - 2018. [s. l.], p. 33, 2019.

SERPE, Edson Luis; FILHO, Afonso Figueiredo; ARCE, Julio Eduardo. RENDIMENTO DO DESDOBRADO DE MADEIRA EM SERRARIA CONVENCIONAL E DIFERENTES SIMULAÇÕES UTILIZANDO OTIMIZADOR COMPUTACIONAL. **BIOFIX Scientific Journal**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 103, 2018.

SILVA, Elizabeth Neire da *et al.* Avaliação técnica e econômica do corte mecanizado de Pinus sp. com Harvester. **Revista Árvore**, [s. l.], v. 34, n. 4, p. 745–753, 2010.

SIXEL, Ricardo Michael de Melo. **Sustentabilidade da produtividade de madeira de Pinus taeda com base no estoque, na exportação e na ciclagem de nutrientes**. 2012. Mestrado em Recursos Florestais - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-26102012-143719/>. Acesso em: 18 mar. 2020.

TURNER, John; LAMBERT, Marcia J. Nutrient cycling in age sequences of two Eucalyptus plantation species. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 255, n. 5–6, p. 1701–1712, 2008.

VALENTINI, Riccardo; MIGLIETTA, Franco (org.). **The Greenhouse Gas Balance of Italy: An Insight on Managed and Natural Terrestrial Ecosystems**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2015. (Environmental Science and Engineering). *E-book*. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-32424-6>. Acesso em: 16 mar. 2020.

VALERI, Sérgio Valiengo. **Exportação de Biomassa e Nutrientes de Povoamento de Pinus taeda debastados em diferentes idades**. 1988. 180 f. - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/26785/T%20-%20VALERI%2c%20SERGIO%20VALIENGO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 nov. 2019.

VAN VUUREN, Detlef P. *et al.* The role of negative CO₂ emissions for reaching 2 °C—insights from integrated assessment modelling. **Climatic Change**, [s. l.], v. 118, n. 1, p. 15–27, 2013.

VIEIRA, M. *et al.* Biomassa e Nutrientes em Um Povoamento de Eucalyptus urophylla x Eucalyptus globulus, em Eldorado do Sul-RS. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal - ENFLO**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 1–13, 2013.

WATZLAWICK, LUCIANO FARINHA. **ESTIMATIVA DE BIOMASSA E CARBONO EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA E PLANTAÇÕES FLORESTAIS A PARTIR DE DADOS DE IMAGENS DO SATÉLITE IKONOS II**. 2003. 138 f. - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

WITSCHORECK, Rudi. BIOMASSA E NUTRIENTES NO CORTE RASO DE UM POVOAMENTO DE Pinus taeda L. DE 17 ANOS DE IDADE NO MUNICÍPIO DE CAMBARÁ DO SUL - RS. [s. l.], p. 81, 2008.

WITSCHORECK, Rudi. RECOMENDAÇÃO DE FERTILIZANTES PARA Eucalyptus saligna Sm. COM BASE NO BALANÇO NUTRICIONAL NA REGIÃO DE GUAÍBA - RS. [s. l.], p. 86, 2014.

WOJCIECHOWSKI *et al.* BIOMASSA EM UMA FLORESTA DE Pinus elliottii Engelman AOS 19 ANOS DE IDADE, EM SANTA MARIA, RS. [s. l.],

YANG, Yuanhe *et al.* Storage, patterns and environmental controls of soil organic carbon in China. **Biogeochemistry**, [s. l.], v. 84, n. 2, p. 131–141, 2007.

ZANELLA, Kelly. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA SERRARIA DE EUCALIPTO. [s. l.], p. 7, 2016.

ZANINOVICH, Silvia Clarisa; GATTI, M. Genoveva. Carbon stock densities of semi-deciduous Atlantic forest and pine plantations in Argentina. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 747, p. 141085, 2020.

4. ESTRATÉGIAS PARA REDUZIR AS EMISSÕES DE CO₂ E AUMENTAR O ESTOQUE TEMPORÁRIO DE CARBONO NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL PELO USO DA MADEIRA

A madeira pode ser aplicada na construção civil de diferentes formas, seja em usos temporários, como fôrmas, andaimes e escoramentos ou definitivos como pisos, paredes, estruturas, forros, esquadrias (ZENID, 2009). Embora o Brasil seja um dos maiores produtores de madeira do mundo (MAPA, 2019; SNIF, S. F. B., 2019), ela possui baixo consumo interno (ROVARIS, 2019). De acordo com a Food and Agriculture Organization (FAO) o consumo per capita de madeira serrada no Brasil é de 0,057 m³, abaixo de países tradicionais na produção e consumo de madeira, como Canadá (0,525 m³), Finlândia (0,531 m³) e Estados Unidos (0,309 m³) (FAO, 2020, 2019).

Na construção civil brasileira, 80% da madeira empregada é na forma serrada (fôrmas, andaimes, escoramentos, tábuas), limitando-se ao uso de produtos de baixo valor agregado (ARAUJO, 2018; SEBRAE, 2014; SINDUSCON, 2011) e fins transitórios de apoio à construção em concreto armado moldadas *in loco* com envoltórias de alvenaria que é a técnica construtiva predominante no Brasil, representando 93,60% das paredes externas das habitações (IBGE, 2016).

Ademais da conversão precoce da madeira serrada em resíduos devido ao uso com curto ciclo de vida, seu processo de fabricação também resulta em uma considerável quantidade de resíduos. Aproximadamente 41,5% – 69,5%³⁷ do insumo é perdido na transformação da tora em produto serrado. Ainda que a madeira seja estoque temporário de carbono, a utilização eficaz dos recursos naturais é essencial para atenuar as mudanças climáticas, provenientes dos gases de efeito estufa (GEE) (HUYSMAN *et al.*, 2015). Evitar os desperdícios de materiais elevando o rendimento nos processos produtivos é fundamental para evitar o esgotamento dos recursos e a pressão ambiental (ZHANG; CHEN; RUTH, 2018).

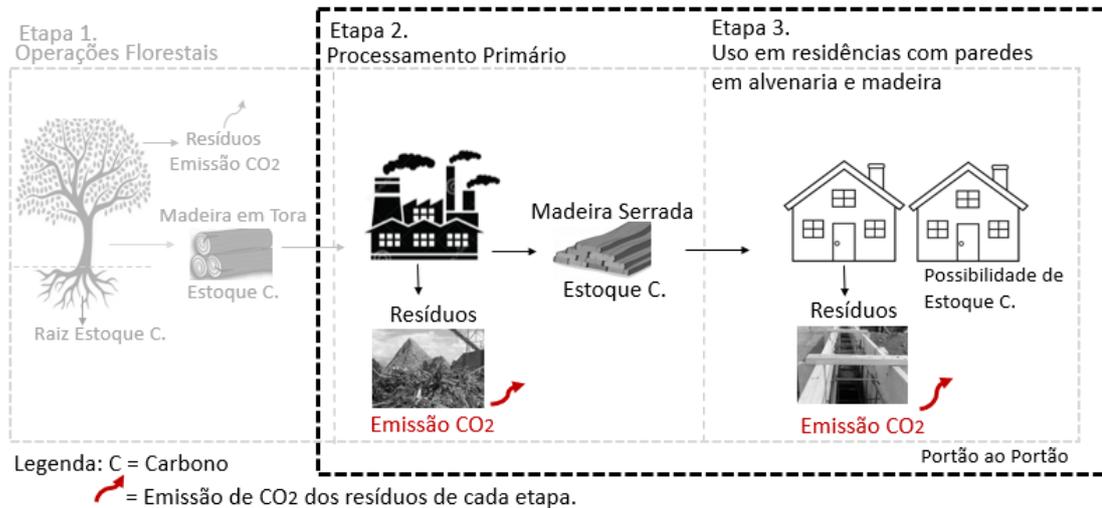
Com isso, o **objetivo desse capítulo é analisar estratégias para reduzir as emissões de CO₂ no processamento da madeira serrada e aumentar o estoque temporário de carbono no setor da construção por meio do uso da madeira plantada em fins de longo prazo nas edificações residenciais.**

³⁷ Valores obtidos no capítulo 3 (Tabela 9), provenientes do processamento primário da madeira plantada serrada bruta.

4.1 MÉTODO

Para alcançar o objetivo proposto, elaborou-se duas estratégias, onde uma atua na fase de produção dos artefatos de madeira serrada e outra na fase de uso destes na construção, conforme a Figura 17.

Figura 17: Etapas consideradas para elaboração de estratégias de mitigação de CO₂



Fonte: Autora (2021)

A primeira visa avaliar os impactos da variação do desempenho no processamento primário da madeira plantada serrada bruta (etapa de maior produção de resíduos e emissão de CO₂, conforme avaliado no capítulo 3). E a segunda visa avaliar o gradual ganho de *market share* das construções térreas com paredes de madeira em detrimento às construções térreas em alvenaria com estrutura em concreto armado moldadas *in loco*³⁸, e suas consequências no estoque temporário e emissões de carbono.

4.1.2 ESTRATÉGIA 1: AUMENTO DO RENDIMENTO DO PROCESSAMENTO DA MADEIRA PLANTADA SERRADA BRUTA

O objetivo desta estratégia é melhorar o rendimento na produção de madeira serrada destinada à construção, com fins de reduzir a produção de resíduos e

³⁸Quando se diminui as construções em alvenaria, conseqüentemente se reduz o uso da madeira para fins transitórios (curto prazo) nos sistemas de apoio à construção e fôrmas para estrutura em concreto armado.

consequentes emissões de CO₂. Para isto, modelou-se um cenário de referência baseado no *business as usual* da indústria madeireira brasileira e um cenário estratégico com aumento do desempenho no rendimento da madeira.

4.1.3 Cenário de Referência (CR1)

Buscou-se caracterizar a produção da madeira plantada serrada bruta no Brasil (pinus e eucalipto³⁹). Para isto, dados da produção foram tomados entre os anos 1996 à 2018 nos relatórios da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF) e Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ) (ABRAF, 2006, 2007, 2010, 2013; IBÁ, 2016, 2017, 2019). O horizonte definido para o estudo foi de 1996 a 2050, sendo que a partir de 2019 foram modeladas projeções, com a aplicação da taxa de crescimento de 1,97% a.a., média aritmética dos últimos 23 anos (1996-2018), da madeira serrada plantada.

Para definir o padrão de rendimento da madeira no processamento primário foram usados dados de referências nacionais. Encontrou-se faixas de valores mínimos, medianos e máximos de rendimento e resíduos nas etapas de operações florestais e processamento primário, apresentados na Tabela 10. Para modelar o cenário de referência, adotou-se os valores medianos de ambas as etapas.

Tabela 10: Intervalos de variação de rendimento e resíduos, encontrados nas etapas de operações florestais e processamento primário da madeira serrada plantada para pinus e eucalipto⁴⁰

Pinus e Eucalipto	Operações Florestais			Processamento Primário		
	Mínimo	Mediano	Máximo	Mínimo	Mediano	Máximo
Rendimento	77,4%	86,2%	95,9%	30,5%	44,9%	58,5%
Resíduos	4,10%	13,8%	22,6%	41,5%	55,1%	69,5%

Baseado em dados das referências: (ALMEIDA; SACOME; SOUSA, 2014; BALBINOT *et al.*, 2008; BARBOSA *et al.*, 2014; BATISTA *et al.*, 2013; BATISTA; CARVALHO, 2007; BIASI, 2005; BRAND *et al.*, 2002; CARVALHO, 2016, 2014; CHIES, 2005; CUNHA *et al.*, 2014; DE SOUZA *et al.*, 2007; DOBNER JÚNIOR; HIGA; ROCHA, 2012; FERREIRA; LIMA; TRUGILHO, 2004; FONTES, 1994; GATTO *et al.*, 2011; GIONGO *et al.*, 2011; GUIMARÃES *et al.*, 2019; LOPES *et al.*, 2018; MANHIÇA; ROCHA; TIMOFEICZYK JÚNIOR, 2012; MARCHESAN *et al.*, 2015; MELLO; GONÇALVES; OLIVEIRA, 1998; MONTEIRO; LIMA; TRUGILHO, 2013; MOULIN, 2019; MURARA; ROCHA; TRUGILHO, 2013; NEVES, 2000; SALVADOR, 2015; SANTOS *et al.*, 2019; SANTOS, 2008; SCANAVACA; GARCIA, 2003; SCHUMACHER *et al.*, 2013; SCHUMACHER; POGGIANI, 1993; SERPE; FILHO; ARCE, 2018; SIXEL, 2012; WATZLAWICK, 2003; WINK *et al.*, 2013; WITSCHORECK, 2008; WOJCIECHOWSKI *et al.*, [s. d.]; ZANELLA, 2016).

Fonte: Autora (2021)

³⁹ Considerou-se de modo geral pinus e eucalipto, embora saiba-se que o eucalipto é mais empregado em escoras e o pinus em formas, porém não se tem dados que subsidiam a análise de forma separada.

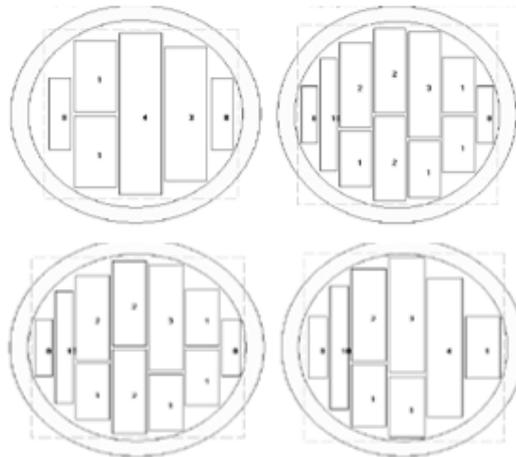
⁴⁰ Para mais detalhes dessa tabela, como idade, espécie e local (ver capítulo 3, tabelas 4 e 5)

Não foram modeladas as interferências no crescimento da produção em detrimento às variações populacionais, econômicas, políticas e tecnológicas.

4.1.4 Cenário Estratégico (CE1)

Este cenário busca elevar o rendimento do processamento primário da madeira plantada serrada, onde há, a maior produção de resíduos (41,5% a 69,5%). Para isso, realizou-se um levantamento bibliográfico a respeito de processos empregados e tecnologia acessíveis. Encontrou-se *softwares* de otimização⁴¹, conforme Figura 18, para aumentar o rendimento no processamento primário, por meio de modelagem de diagramas de corte (LENGOWSKI; FUCK; JUNIOR, 2017; MANHIÇA; ROCHA; TIMOFEICZYK JÚNIOR, 2012; MURARA; ROCHA; TRUGILHO, 2013; SERPE; FILHO; ARCE, 2018). Estes estudos abrangeram as mesmas espécies e idades utilizadas no cenário de referência.

Figura 18: Exemplos de diagramas de corte utilizando *softwares* de otimização



Fonte: MANHIÇA; ROCHA; TIMOFEICZYK JÚNIOR (2012)

Em comparação com os métodos convencionais, há um aumento de 2,3% a 19,1% no rendimento do processamento primário da madeira plantada serrada, conforme Tabela 11.

⁴¹ *Software de otimização MaxiTora*

Tabela 11: Comparação entre o método convencional do processamento primário da madeira serrada seca e métodos de otimização

Método convencional	Método Otimizado	Aumento de Rendimento	Referências
44,96%	49,93%	4,97%	(MANHIÇA; ROCHA; TIMOFEICZYK JÚNIOR, 2012)
52,47%	55,25%	2,78%	(MANHIÇA; ROCHA; TIMOFEICZYK JÚNIOR, 2012)
35,24%	41,65%	6,41%	(MURARA; ROCHA; TRUGILHO, 2013)
43,92%	63,04%	19,12%	(MURARA; ROCHA; TRUGILHO, 2013)
45,09%	55,15%	10,06%	(SERPE; FILHO; ARCE, 2018)
40,96%	45,37%	4,41%	(LENGOWSKI; FUCK; JUNIOR, 2017)
42,58%	44,87%	2,29%	(LENGOWSKI; FUCK; JUNIOR, 2017)
52,85%	56,54%	3,69%	(LENGOWSKI; FUCK; JUNIOR, 2017)
48,04%	57,97%	9,93%	(LENGOWSKI; FUCK; JUNIOR, 2017)
56,09%	58,85%	2,76%	(LENGOWSKI; FUCK; JUNIOR, 2017)
	Mínimo	2,3%	
	Mediano	7%	
	Máximo	19,1%	

Fonte: Autora (2021)

Para este cenário estratégico, adotou-se o valor mediano de rendimento.

4.1.5 Emissões de CO₂ e estoque temporário de carbono (ETC)

Para quantificar as emissões de CO₂, calculou-se a biomassa dos resíduos necessários para produção de 1,0 tonelada de produto de madeira serrada bruta seca. Utilizou-se o valor mediano de 53,5%, para o cenário de referência (CR1), conforme a Tabela 12, e 46,6% para o cenário estratégico (CE1), conforme Tabela 13.

Tabela 12: Resíduos gerados para produção de 1,0 tonelada de madeira serrada bruta seca (CR1)

	Unidade	Biomassa Florestal	Operação Florestal (colheita)	Processamento Primário (serraria)
Perda (resíduos)	%	-	11,7%	53,6%
	t seca	-	0,12	0,54
	t seca	1,66	1,54	1,00

Fonte: Autora (2021)

Tabela 13: Resíduos gerados para produção de 1,0 tonelada de madeira serrada bruta seca (CE1)

	Unidade	Biomassa florestal	Operação Florestal (colheita)	Processamento Primário (serraria)
Perda (resíduos)	%	-	11,7%	46,6%
	t seca	-	0,12	0,47
	t seca	1,58	1,47	1,00

Fonte: Autora (2021)

Para o cenário de referência, obteve-se 1,66 toneladas de resíduos gerados para a produção de 1,00 tonelada de produto de madeira serrada bruta seca ($t_{\text{resíduos}}/t_{\text{produto}}$). E para o cenário estratégico o aumento de 7,0% no rendimento do processamento primário gerou 1,58 toneladas de resíduos por tonelada de produto de madeira serrada bruta seca ($t_{\text{resíduos}}/t_{\text{produto}}$).

Posterior, calculou-se o estoque temporário de carbono e as emissões de CO₂ devido ao aumento do rendimento. Utilizou-se o coeficiente de conversão de tonelada seca de madeira para tonelada de carbono 0,47 citado *pele Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2019b), e para a conversão de carbono para CO₂, adotou-se o valor de 3,67 por estequiometria, onde a massa de Carbono é 12 e de Oxigênio é 16, dessa forma tem-se:

$$CO_2 = \frac{(C+O_2)}{C} \quad (2)$$

Por fim, elaborou-se projeções de inserção da tecnologia de melhoramento de rendimento a partir de 2022 até 2050 e estimou-se a quantidade de CO₂ e estoque de carbono nesse intervalo de tempo.

4.1.6 ESTRATÉGIA 2: VARIAÇÃO DO MARKET SHARE DAS HABITAÇÕES COM PAREDES DE MADEIRA

Dentre as muitas possibilidades de aumento do uso da madeira em fins de longo prazo na construção, definiu-se que o uso em paredes (internas e externas) teria mais impacto no mercado nacional. Desta forma, assumiu-se que a madeira seria utilizada em fins de longo prazo nas paredes residenciais, pois este grupo de edificações é majoritário no estoque de um país.

4.1.7 Cenário de Referência (CR2)

Para desenhar o cenário de referência, foram mapeados e identificados os tipos de parede de domicílios particulares permanentes no Brasil, por meio dos dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE) disponíveis no Banco Multidimensional de Estatísticas (BME) (IBGE, 2016).

Definiu-se que apenas as casas seriam consideradas, as mesmas representam 88,31% domicílios particulares permanentes no Brasil. Foram utilizados dados de 1981 até 2015 – último ano com levantamento por material (IBGE, 2016). O horizonte definido para o estudo foi até 2050, sendo que a partir de 2016 foram modeladas projeções, com a aplicação da taxa de crescimento de 3,55% a.a. para alvenaria⁴² e -0,49% a.a. para madeira aparelhada. Estas, definidas a partir das médias dos últimos 34 anos (1981-2015) de ambos os materiais.

4.1.8 Cenário Estratégico (CE2)

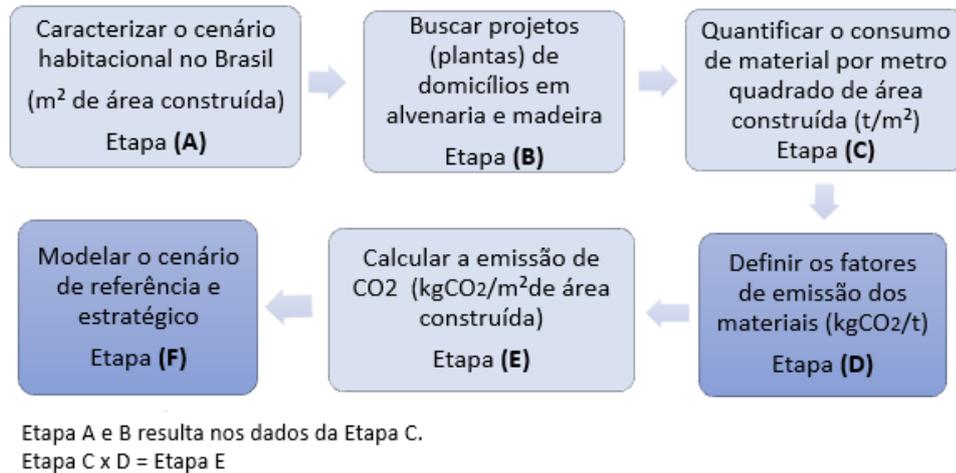
Para as projeções do CE2 definiu-se que as paredes (internas e externas) de madeira (técnica construtiva de estudo) teriam seu consumo elevado com a aplicação da taxa de crescimento de 0,95% a.a, valor correlato com países sem tradição madeireira e com emprego de estratégias e políticas para seu incremento, levantados pelo estudo de (ROVARIS, 2019). Em consequência, as paredes de alvenaria (técnica construtiva mais utilizada na construção civil) terá seu consumo diminuído na mesma proporção, pelo ganho do market share das paredes de madeira sem incremento do estoque habitacional projetado no cenário de referência.

Para modelar os cenários se fez necessário: 1) caracterizar o cenário habitacional brasileiro; 2) buscar projetos/plantas de residências térreas com paredes em alvenaria com estruturas de concreto armado *in loco* e madeira e definir suas características; 3) quantificar o consumo da madeira necessária para construção de paredes de alvenaria e madeira; 4) definir os fatores de emissão de CO₂ dos materiais;

⁴² Definiu-se a alvenaria pois sabe-se que dentre os sistemas construtivos levantados pela PNAD, este tem a maior possibilidade de utilizar a madeira em fins transitórios.

5) quantificar os fatores de emissão de CO₂ dos materiais por m² de área construída e modelar os cenários de referência e estratégico. A Figura 19, exemplifica estas etapas.

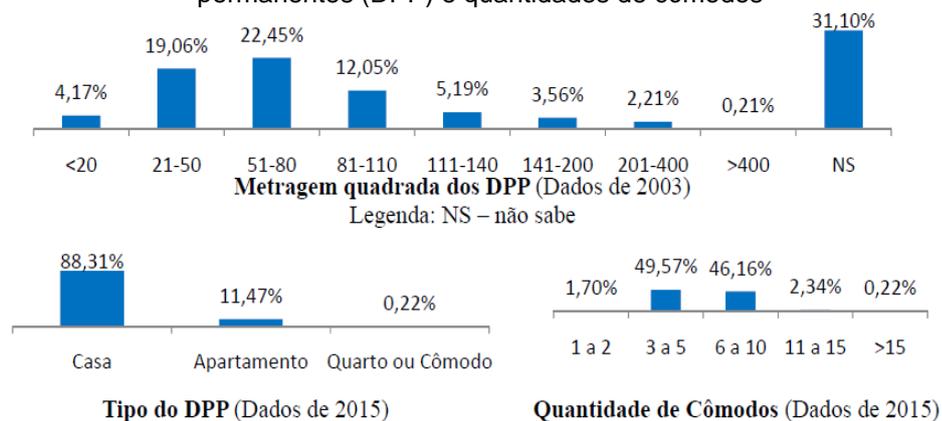
Figura 19: Etapas necessárias para definir os fatores de emissão de CO₂ e modelar os cenários de referência e estratégico



Fonte: Autora (2021)

Dessa forma, identificou-se o percentual de residências na faixa de área construída, tipo de habitações e quantidades de cômodos dos domicílios particulares permanentes (DPP). Esses dados foram obtidos pelo IBGE, conforme a Figura 20.

Figura 20: Percentual de residências de acordo com a área construída, tipos de domicílios particulares permanentes (DPP) e quantidades de cômodos



Fonte: Adaptado de IBGE (2003;2015)

As maiores ocorrências de residências no Brasil possuem área construída entre 21 e 110 m² (caracterizando 53,56%), a vista disso buscou-se projetos de domicílios de alvenaria e madeira que estivessem dentro deste perfil. A busca foi

realizada por meio da internet em sites como COHAB (Companhias de Habitação Popular), MCMV (Minha Casa, Minha Vida), Prefeituras, CDHU (Companhias de Desenvolvimento Habitacional e Urbano), FUNASA (Fundação Nacional de Saúde); PROHAB (Progresso e Habitação de São Carlos) e *sites* de empresas e instituições privadas que disponibilizavam gratuitamente os projetos.

Foram levantadas 80 plantas e descartadas aquelas que apresentavam pouca ou má qualidade de informações, sendo utilizadas para esta pesquisa 60 plantas residenciais (30 de alvenaria e 30 de madeira). Estas, serviram de base para quantificar o consumo dos materiais e as emissões de CO₂.

Os cálculos basearam-se nas construções de residências com paredes em alvenaria e estrutura de concreto armado e madeira. As fundações, tipo e material de pisos, portas, revestimento e telhados foram desconsiderados por haver variação no mercado e serem equivalentes para ambas as técnicas construtivas.

4.1.9 Domicílios Particulares Permanentes (DPP) com paredes em alvenaria

Para definir as características dos elementos para construção das residências térreas de paredes em alvenaria e estrutura em concreto armado adotou-se dimensões usuais de mercado, baseando-se em Normas de Procedimento Técnico (NBR), manuais e livros de construção civil. Estes, estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14: Características dos elementos para quantificação dos consumos dos materiais

Materiais Alvenaria	Valor mínimo	Valor máximo	Referências
Bloco cerâmico	09x19x19 cm	11,5x14x24 cm	(NBR15270, 2005; Mãos à Obra 2, (ABCP) 2013; MILITO, 2009; INMETRO, 2011)
Pilar	15x20 cm	15x30 cm	(NBR 6118, 2004; Mãos à Obra 2 (ABCP), 2013)
Baldrame	40x20	40x30	(NBR 6118, 2004; Mãos à Obra 2 (ABCP), 2013)
Viga	15x30	15x30	(NBR 6118, 2004; Mãos à Obra 2 (ABCP), 2013)
Aço Estribos	5,0 mm	6,4 mm	(NBR 6118, 2004; NBR 7880, 2008; MILITO, 2009)
Aço Pilar e viga	10,0 mm	12,5 mm	(NBR 6118, 2004; NBR 7880, 2008; MILITO, 2009)
Madeira para fôrmas	Valor mínimo	Valor máximo	Referências
Tábua Baldrame e/ou viga	2,5x30 cm	2,5x40 cm	(NBR 14807, 2012; NBR 12498 PB 1560, 1991; VACCHIANO, 2016; MILITO, 2009)
Sarrafo horizontal baldrame e/ou viga (Espaçados a 50 cm)	2,0x5,0x30 cm	2,0x5x40 cm	(NBR 14807, 2012; NBR 12498 PB 1560, 1991; VACCHIANO, 2016; MILITO, 2009)
Sarrafo vertical baldrame e/ou viga (Espaçados a 50 cm)	2,0x5,0x45 cm	2,0x5,0x45 cm	(NBR 14807, 2012; NBR 12498 PB 1560, 1991; VACCHIANO, 2016; MILITO, 2009)
Tábua Pilar	2,5x30 cm	2,5x40 cm	(NBR 14807, 2012; NBR 12498 PB 1560, 1991; VACCHIANO, 2016; MILITO, 2009)
Sarrafo pilar (Espaçados a 40 cm)	2,5x5,0x30 cm	2,5x5,0x40 cm	(NBR 14807, 2012; NBR 12498 PB 1560, 1991; VACCHIANO, 2016; MILITO, 2009)
(ABCP, 2013a; MILITO, 2009; NBR, 1991, 2002, 2004, 2005, 2008; VACCHIANO, 2016)			

Fonte: Autora (2021)

Se considerou nos cálculos as áreas e dimensões de esquadrias disponibilizadas em projeto, quando não especificado adotou-se o pé direito de 2,80 metros; janelas (1,2x1,0 metros; 1,50x1,20 metros; 0,60x0,60 metros (banheiros)), portas de (0,80x2,10 metros; 1,20x2x10 metros) (ABCP, A. B. de C. P., 2013a; MILITO, 2009). As áreas de garagem e varanda não foram consideradas. Os consumos dos materiais foram obtidos em literatura conforme Tabela 15.

Tabela 15: Consumos dos materiais utilizados

Materiais	28 dias	Traço	Cimento (kg/m ³)	Cal (kg/m ³)	Areia (kg/m ³)	Brita 1 (kg/m ³)	Referências
Concreto	20 MPA - CP II-E-32	-	269,0	-	912,0	891,0	(BARBOZA; BASTOS, 2008)
Concreto	25 MPA - CP II-E-32	-	292,0	-	906,0	904,0	(BARBOZA; BASTOS, 2008)
Concreto	30 MPA - CP II-E-32	-	337,0	-	873,0	903,0	(BARBOZA; BASTOS, 2008)
Concreto	20 MPA - CP II-F-32	-	305,0	-	878,0	891,0	(BARBOZA; BASTOS, 2008)
Concreto	25 MPA - CP II-F-32	-	329,0	-	871,0	905,0	(BARBOZA; BASTOS, 2008)
Concreto	30 MPA - CP II-F-32	-	361,0	-	853,0	916,0	(BARBOZA; BASTOS, 2008)
Concreto ⁴³	-	-	350,0	-	700,0	1150,0	(REIS; MACK-VERGARA; JOHN, 2019)
Concreto ⁴⁴	-	-	285,0	-	770,0	1165,0	(REIS; MACK-VERGARA; JOHN, 2019)
Concreto	UTILIZADO (Média)	-	316,0		845,4	965,6	-
Argamassa Assentamento	1,0 cm	1:2:9	157,0	131,0	1357,0	-	(ABCP, 2013b, 2004; IPT, 2011)
Argamassa Revestimento	1,5 cm	1:2:9	157,0	131,0	1357,0	-	(ABCP, 2013b, 2004; IPT, 2011)
Argamassa Chapisco	0,5 cm	1:3	434,0	-	1242,0	-	(ABCP, 2013b, 2004; IPT, 2011)

Fonte: Autora (2021)

Para o consumo do concreto verificou-se diferentes composições aplicadas em obras de pequeno porte, concretos produzidos em obras e industrializados e por fim optou-se por utilizar a médias dos mesmos. Destaca-se que a utilização das médias é para o cálculo dos consumos gerais dos materiais, mas os mesmos não expressam traços factíveis de concreto para se utilizar em obras. Para as argamassas utilizou-se os traços mais usuais de mercado.

4.1.10 Domicílios Particulares Permanentes (DPP) com paredes de madeira

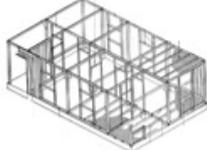
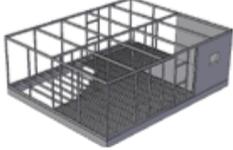
Para as residências com paredes de madeira definiu-se quatro técnicas construtivas: mata junta, macho e fêmea, *wood frame* e *CLT (Cross Laminated Timber)*. Para o cenário de referência utilizou-se mata junta e macho fêmea por serem técnicas construtivas tradicionais no mercado brasileiro (BATISTA, 2007; PHILIPPI, 2014; ZANI, 2013).

⁴³ Consumo dos materiais para produção de concreto em obra.

⁴⁴ Consumos dos materiais para a produção de concreto usinado.

Para o cenário estratégico considerou-se a técnica construtiva de *wood frame*, pois a mesma apresenta estrutura em madeira em pelo menos um lado dos fechamentos e por ser o primeiro sistema a base de madeira com SINAT no Brasil. Adicionalmente, considerou-se o *CLT* por ser uma técnica construtiva que apresenta paredes maciças de madeira que pode possibilitar maior estoque temporário de carbono. A descrição de cada técnica e as dimensões consideradas estão descritas na Tabela 16.

Tabela 16: Diferentes técnicas construtivas em madeira (descrição e dados considerados)

MATA JUNTA	Sistema composto por tábuas verticais pregadas, a vedação entre as peças é com mata junta. Dados adotados: Paredes de 1,5cm de espessura, mata juntas de 4x1,2cm a cada 30 cm, caibros de 5x6cm, pilares de 10x10cm e vigas de 6x12cm.	
	Rerefências: Punhagui (2014), Batista (2007), Zani (2013)	
PRÉ-FABRICADO MACHO E FÊMEA	Sistema de paredes formadas por tábuas horizontais de madeira maciça com encaixes das juntas tipo macho-fêmea, podendo ser parede simples ou dupla. Dados adotados: Paredes duplas com 5,0cm de espessura final, caibros de 5x6cm, pilares de 10,5x10,5cm e vigas de 8x15cm.	
	Referências: Punhagui (2014), site (Casas Paraná), Philippi (2014)	
WOOD FRAME	Sistema de estrutura leve formado por peças de madeira serrada maciça. Seu fechamento é com chapas de OSB. Dados adotados: Duas placas de OSB com 1,9cm de espessura final, caibros de 5x6 cm, pilares de 4x9cm e vigas de 8x15cm a cada 50cm.	
	Referências: Tec Verde, SINAT, Lacerda Dias (2005), Silva (2018)	
CLT (CROSS LAMINATED TIMBER)	Estrutura formada por painéis de madeira laminada cruzada sobrepostas em camadas de madeira maciça coladas em sentidos opostos e alternados. Dados adotados: Placas com 5 camadas de 12 cm de espessura final.	
	Referências: Informações Técnicas (Crosslan)	

Fonte: Autora, com dados de (BATISTA, 2007; CROSSLAN, 2020; DIAS, 2005; PHILIPPI, 2014; PUNHAGUI, 2014; SILVA, 2018; TECVERDE, 2020; ZANI, 2013)

Para os cálculos das quatro técnicas construtivas em madeira considerou-se as áreas e dimensões de esquadrias disponibilizadas em projeto. Quando não especificado, adotou-se o pé direito de 2,80 metros; janelas (1,2x1,0 metros; 1,50x1,20 metros; 0,60x0,60 metros), portas de (0,80x2,10 metros; 0,90x2,10 metros) (MILITO, 2009). As áreas molhadas (banheiro e cozinha) quando executados em alvenaria e elementos em concreto armado foram desconsideradas nos cálculos das áreas de paredes de madeira, assim como as áreas de garagem e varanda.

A densidade da madeira plantada foi obtida na NBR 7190 (1997), considerando os gêneros de pinus e eucalipto, conforme Tabela 17.

Tabela 17: Densidade das diferentes espécies dos gêneros de pinus e eucalipto (NBR 7190)

Características Madeira		Referência
Densidade Pinus caribaea seco 12% (kg/m ³)	579,0	(NBR 7190, 1997)
Densidade Pinus elliottii seco 12% (kg/m ³)	560,0	(NBR 7190, 1997)
Densidade Pinus taeda seco 12% (kg/m ³)	645,0	(NBR 7190, 1997)
Densidade Pinus oocarpa seco 12% (kg/m ³)	538,0	(NBR 7190, 1997)
Média Densidade PINUS (kg/m ³)	580,5	(NBR 7190, 1997)
Densidade Eucalipto dunni seco 12% (kg/m ³)	690,0	(NBR 7190, 1997)
Densidade Eucalipto grandis seco 12% (kg/m ³)	640,0	(NBR 7190, 1997)
Densidade Eucalipto saligna seco 12% (kg/m ³)	731,0	(NBR 7190, 1997)
Média Densidade Eucalipto (kg/m ³)	687,0	(NBR 7190, 1997)
Média Densidade PINUS E EUCALIPTO (kg/m³)	633,8	(NBR, 1997)

Fonte: Autora (2021)

Quando necessária a transformação de metro cúbico para tonelada, adotou-se a densidade de 0,634 t/m³ média das diferentes espécies dos gêneros pinus e eucalipto (os mais utilizados na construção civil).

Com os valores extraídos através das 30 plantas de alvenaria e 30 de madeira pode-se calcular o consumo necessários dos materiais para construção de residências em madeira e em alvenaria com estrutura de concreto armado, conforme a Tabela 18 e Tabela 19.

Tabela 18: Consumo dos diferentes materiais necessários para construção de residências com paredes em alvenaria de estrutura em concreto armado feito *in loco* (toneladas/m² de área construída)

Materiais Alvenaria	Mínimo	Mediana	Máximo	Unidade
Cimento	0,043	0,051	0,059	t/m ² área
Areia	0,116	0,137	0,157	t/m ² área
Brita	0,124	0,152	0,179	t/m ² área
Aço Estribos	0,001	0,002	0,002	t/m ² área
Aço Barra	0,004	0,005	0,006	t/m ² área
Madeira para formas	0,032	0,033	0,035	t/m ² área
Argamassas	0,184	0,186	0,188	t/m ² área
Bloco cerâmico	0,123	0,153	0,182	t/m ² área

Bloco multiplicado pelo peso 2,2 e 3,0 kg respectivamente (MILITO, 2009).
 Madeira multiplicado pela densidade 633,75 kg/m³ (NBR 7190)

Fonte: Autora (2021)

Tabela 19: Consumo de madeira para construção dos Domicílios Particulares Permanentes (DPP) no Brasil com base nas 30 plantas em alvenaria e 30 plantas das diferentes técnicas construtivas em madeira (toneladas/m² de área construída)

	Cenário de Referência			Cenário de Referência			Unidade
	Mínimo	Mediano	Máximo	Mínimo	Mediano	Máximo	
Madeira para Alvenaria	0,032	0,033	0,035	0,032	0,033	0,035	t/m ² área
Mata Junta	0,027	0,040	0,059	-	-	-	t/m ² área
Macho e fêmea	0,057	0,083	0,118	-	-	-	t/m ² área
Wood Frame	-	-	-	0,069	0,085	0,109	t/m ² área
CLT 5 camadas	-	-	-	0,167	0,220	0,298	t/m ² área
Madeira para Alvenaria	0,052	0,055	0,057	0,052	0,055	0,057	m ³ /m ² área
Mata Junta	0,043	0,064	0,094	-	-	-	m ³ /m ² área
Macho e fêmea	0,089	0,131	0,186	-	-	-	m ³ /m ² área
Wood Frame	-	-	-	0,109	0,134	0,172	m ³ /m ² área
CLT 5 camadas⁴⁵	-	-	-	0,264	0,347	0,470	m ³ /m ² área

Fonte: Autora (2021)

Para modelar os cenários, utilizou-se os valores medianos apresentados na Tabela 19.

4.1.11 Emissões de CO₂ e estoque temporário de carbono

Para o cálculo das emissões buscou-se dados secundários em dissertações, teses e artigos científicos dos diferentes materiais utilizados na construção civil brasileira, conforme Tabela 20.

⁴⁵ CLT de 5 camadas com espessura final de 12 centímetros

Tabela 20: Emissão de CO₂ (kgCO₂/t) dos diferentes materiais utilizados na construção de residências em alvenaria de estrutura em concreto armado feito *in loco* e madeira

Material	Mínimo	Mediana	Máximo	Referências
Bloco Cerâmico	111,0	169,0	240,0	(COSTA, 2012; MACIEL, 2016; TABORIANSKI; PRADO, 2012)
Cal	659,0	770,0	1270,0	(COSTA, 2012; JOHN; PUNHAGUI; CINCOTTO, 2014; MACIEL, 2016; TABORIANSKI; PRADO, 2012)
Areia	5,8	18,5	26,5	(LIMA, 2010; MACIEL, 2016; SANTORO; KRIPKA, 2016)
Pedra	2,8	4,5	15,5	(COSTA, 2012; LIMA, 2010; SANTORO; KRIPKA, 2016; SOUZA, 2012)
Cimento	419,0	590,0	659,0	(COSTA, 2012; LIMA, 2010; OLIVEIRA, 2016; PUNHAGUI; ET AL., 2018; SANTORO; KRIPKA, 2016; SOUZA, 2012)
Aço	150,0	1389,0	2040,0	(MACIEL, 2016; MARCOS, 2009; PUNHAGUI, 2014; SILVA, 2013)
Madeira Plantada ⁴⁶	32,0	92,0	210,0	(PUNHAGUI, 2014)
Madeira Nativa ⁴⁷	5800,0	10100,0	23500,0	(CAMPOS; PUNHAGUI; JOHN, 2021)

Fonte: Autora (2021)

Sabe-se da fragilidade dos valores dispostos na Tabela 20, uma vez que se agrupam resultados de diferentes estudos com objetivos, escopo e métodos de análise diversos. Porém, devido à inexistência de uma base de dados nacional com informações sobre as emissões de CO₂ dos materiais de construção, optou-se por utilizar informações presentes em literatura que representam a indústria nacional e se aproximam da realidade brasileira.

Utilizou-se os valores medianos da Tabela 20 para calcular as emissões CO₂ das residências em alvenaria com estrutura em concreto armado e as residências em madeira por área conforme equação a seguir:

$$E = Em \times Cm. \quad (3)$$

Onde:

E = Emissões das residências em alvenaria e/ou madeira (kgCO₂/m² área);

Em = Emissões dos materiais (kgCO₂/t);

Cm = Consumo dos materiais (t/m² área).

O consumo foi extraído das Tabela 18 e Tabela 19 e os valores encontrados estão expostos nas Tabela 21 e Tabela 22.

⁴⁶ Emissões relacionadas ao CO₂ fóssil e biogênico

⁴⁷ Madeira nativa de extração convencional (ilegal)

Tabela 21: Emissões de CO₂ dos materiais para construção das residências com paredes de alvenaria com estrutura em concreto armado feito *in loco* (kgCO₂/m² área construída)

Materiais Alvenaria	Mínimo	Mediano	Máximo
Cimento	25,65	30,15	34,65
Areia	2,15	2,52	2,90
Brita	0,60	0,70	0,81
Aço Estribos	1,79	2,32	2,86
Aço Barra	6,02	8,10	10,19
Madeira plantada para formas	2,92	3,06	3,21
Argamassas	25,80	26,04	26,27
Bloco cerâmico	22,53	25,49	28,45
Total de emissões para construção em Alvenaria (kgCO₂/m² área construída)	87,41	98,39	109,27

Fonte: Autora (2021)

Para a emissão da técnica construtiva em *CLT*, inseriu-se a emissão do adesivo a base de poliuretano (PUR). Como não encontrou-se dados brasileiros, optou-se por utilizar o banco de dados Europeu de perfis ecológicos e declarações ambientais de produtos de plásticos (EUROPUR, 2015) e se obteve o valor de 2,83 kgCO₂/kg de PUR. E para a quantidade utilizada de adesivo de poliuretano, para 1m³ de *CLT* encontrou-se o valor de 4,57 kg/m³. Esse valor foi extraído de documentos de Declaração Ambiental de Produto (EPD) de *Cross Laminated Timber* (FPINNOVATIONS; NORDIC STRUCTURES, 2018; STORAENSO, 2020). Na Tabela 22 e Tabela 23 já está incluída a emissão das casas de madeira e do adesivo a base de poliuretano (4,48 kgCO₂/m² (valor mediano)) no *CLT*.

Tabela 22: Emissões de CO₂ para construção das residências com paredes de madeira plantada das diferentes técnicas construtivas por m² de área construída (kgCO₂/m² área construída)

Técnicas construtivas em Madeira	Mínimo	Mediano	Máximo
Mata Junta	2,52	3,72	5,46
Macho e Fêmea	5,20	7,65	10,82
<i>Wood Frame</i>	6,35	7,81	10,02
<i>CLT</i> 5 camadas	19,86	24,69	31,89

Fonte: Autora (2021)

Para análise de sensibilidade os cenários estratégicos foram modelados com madeira nativa de extração convencional (ilegal) e as emissões por área construída estão apresentadas na Tabela 23.

Tabela 23: Emissões de CO₂ do cenário estratégico 2 para construção das residências com paredes de madeira nativa em Wood Frame e CLT por m² de área construída (kgCO₂/m² área construída)

Técnicas construtivas em Madeira	Mínimo	Mediano	Máximo
<i>Wood Frame</i>	697,23	857,32	1099,53
<i>CLT 5 camadas</i>	1692,57	2223,29	3012,89

Fonte: Autora (2021)

Por fim, para calcular os cenários de referência e estratégico e analisar as emissões de CO₂ e estoque temporário de carbono temporário das residências construídas com paredes de alvenaria e madeira, foram utilizadas as equações a seguir:

$$ET = A \times E \quad (4)$$

Onde:

ET = Emissões totais (kgCO₂);

A = Área construída das residências em alvenaria e/ou madeira (m² área);

E = Emissões das residências em alvenaria e/ou madeira (kgCO₂/m² área);

$$EC = A \times Cm \times C \quad (5)$$

Onde:

EC = Estoque temporário de carbono (tC);

A = Área construída das residências em alvenaria e/ou madeira (m² área);

Cm = Consumo dos materiais (t/m² área);

C = Carbono (0,47)

Limitações do estudo

- Foram desconsideradas as emissões de revestimentos e acabamentos para todas as técnicas construtivas em alvenaria com estrutura de concreto armado e madeira citadas neste estudo.
- Foram desconsideradas neste estudo as emissões de transportes, de produtos de tratamento e prevenção (preservantes, tintas, impermeabilizantes e outros).
- Não foram considerados fechamentos dos canteiros de obra e edificações de apoio.
- Não foram modeladas as afetações da variação da vida útil das edificações, uma vez que, o cenário contempla 28 anos e as envoltórias devem durar 40 anos segundo NBR 15.575.

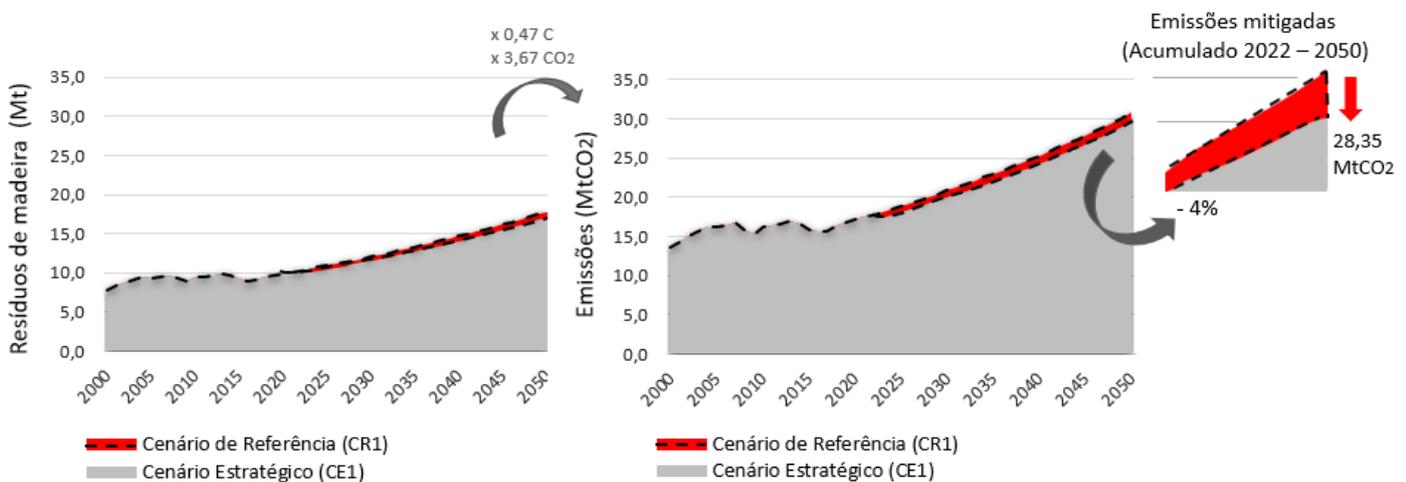
- Nos cenários de referência e estratégicos não foram inseridas afetações de variações econômicas, políticas, sociais e tecnológicas além das descritas.

4.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.2.1 Estratégias para mitigar as emissões de CO₂ no setor da construção civil do Brasil

Elaborou-se estratégias para mitigar as emissões de CO₂ no setor de construção civil, onde a **primeira estratégia foi elevar o rendimento no processamento primário da madeira plantada serrada bruta em 7,0%** (valor mediano), para reduzir os resíduos de madeira e conseqüentemente as emissões de CO₂. A Figura 21 exibe os resultados encontrados.

Figura 21: Cenário estratégico 1 (CE1) – Emissões mitigadas com o aumento do rendimento do processamento primário da madeira plantada serrada bruta (valores medianos)



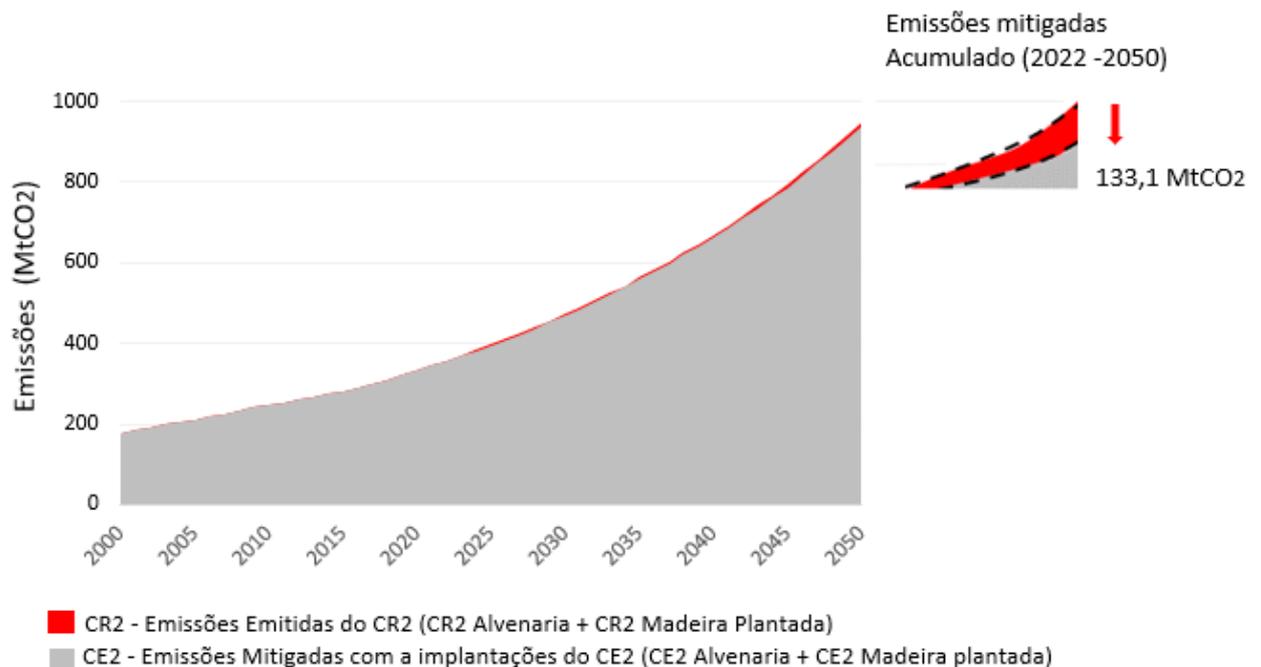
Fonte: Autora (2021)

De modo acumulado (2022-2050) pode-se reduzir 4% dos resíduos e emissões gerados no processamento primário da madeira plantada serrada bruta, sendo mitigados 16,87 Mt de resíduos e 28,35 MtCO₂ no período analisado. Ademais, esses resíduos evitados podem ser transformados em produtos o que possibilita o aumento do estoque temporário de carbono durante sua vida útil. Adicionalmente, os resíduos podem ser convertidos em coprodutos e serem utilizados como fonte

energética em substituição aos combustíveis fósseis, estes poderiam ser considerados um ganho indireto na redução das emissões de CO₂.

A segunda estratégia variou o *market share* das unidades de domicílios particulares permanentes (DPP) com aumento das casas com paredes de madeira (*wood frame* e *CLT*) sem modificação do estoque de DPP, e portanto, conseqüente redução, em mesma proporção, daquelas com parede de alvenaria e estrutura em concreto armado. Com isso pode-se reduzir as emissões de CO₂ ao longo dos anos, a Figura 22 exhibe os resultados encontrados.

Figura 22: Cenário estratégico 2 (CE2) - Emissões mitigadas com a variação do *market share* das habitações com paredes de alvenaria e concreto armado por habitações com paredes em madeira (*wood frame* e *CLT*) (valores medianos)



Fonte: Autora (2021)

Pode-se reduzir 133,1 MtCO₂ de modo acumulado (2022-2050), isso ocorreu devido a redução das construções em alvenaria e estrutura de concreto armado e conseqüentemente das emissões dos materiais relacionados a essa técnica construtiva (cimento, areia, brita, aço, argamassas e bloco cerâmico) e também pela redução da utilização da madeira empregada em fôrmas como sistemas de apoio a construções em alvenaria (que se convertem em emissão de CO₂ em curto período).

As mesmas têm consumo estimado com base nas 30 plantas de habitações térreas em 0,054 m³ de madeira por m² de área construída (valor mediano).

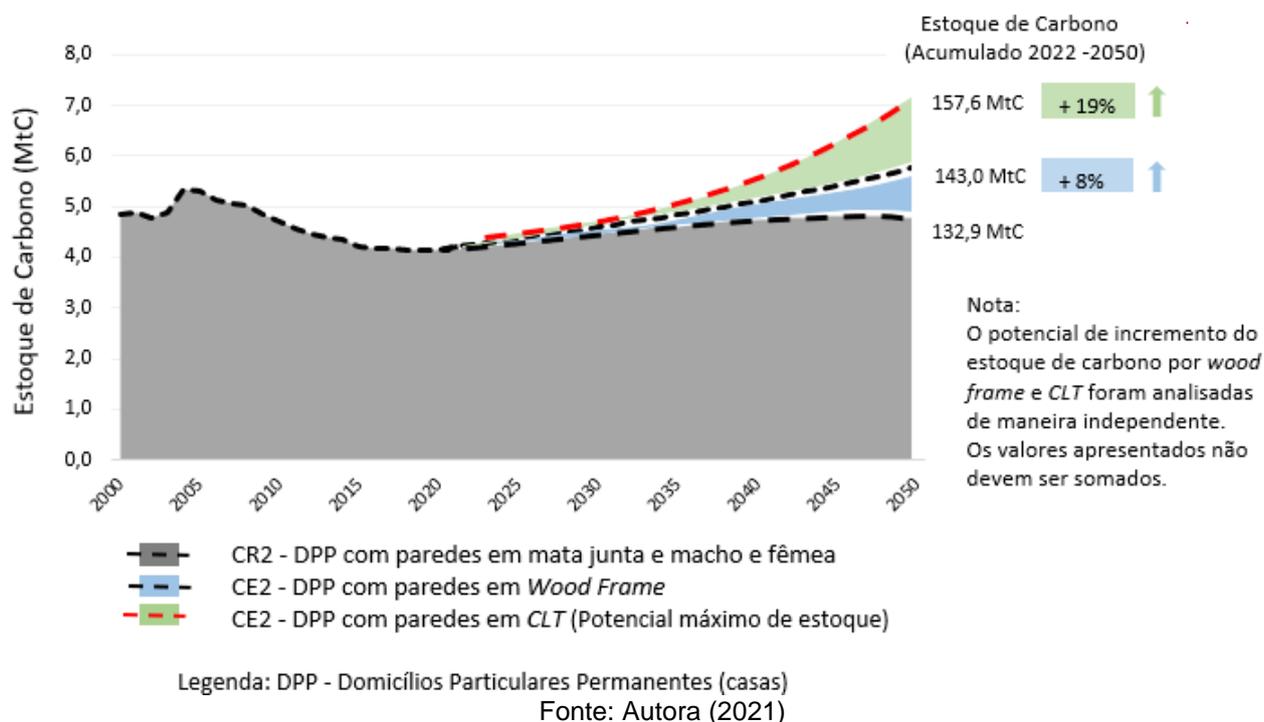
No Brasil Júnior *et al.* (2020) estimou que o consumo de madeira para fins provisórios em 30 residências de até 2 pavimentos e os valores obtidos foram de 0,03 a 0,19 m³/m² (JÚNIOR *et al.*, 2020). Moraes e Punhagui (2020) verificando a utilização da madeira para fins provisórios como material de suporte para construções em alvenaria com 16 plantas, obteve um consumo de projeto de 0,053 m³/m² (MORAES; PUNHAGUI, 2020), em outro estudo abordando 50 plantas de residências térreas os autores estimaram o consumo de madeira para fins provisórios de 0,04 a 0,07 m³/m² (DE MORAES; ROVARIS; PUNHAGUI, 2018).

A estimativa destes consumos é significativa, uma vez que os mesmos se tornam resíduo em um curto ciclo de vida. Este estudo analisou o consumo direto (produto aplicado) e não o real, onde somaram-se os resíduos gerados. A TCPO considera índices reais de perdas dos materiais nas construções de aproximadamente 10%, isso denota que o consumo de material seria maior e que o considerado no estudo é subestimado. Adicionalmente, os processos construtivos de concreto armado e alvenaria são dotados de alto custo, baixo planejamento, altos índices de desperdícios o que ocasiona uma grande perda de matéria prima, gerando uma enorme quantidade de resíduos e conseqüentemente emissões de CO₂ (OLIVEIRA, 2018).

4.2.2 Estratégias para elevar o estoque temporário de carbono no setor da construção civil do Brasil

Ambos os cenários estratégicos foram igualmente elaborados para fomentar o incremento do estoque temporário de carbono (ETC) no setor da construção civil. Na CE2 optou-se por variar o *market share* das habitações, onde promoveu-se o aumento de 0,95% a.a. das unidades de domicílios particulares permanentes no Brasil (DPP) com paredes em madeira plantada em detrimento a possíveis construções de paredes de alvenaria e estrutura em concreto armado. Com isso, pode-se construir 25,5 milhões de novas habitações em madeira no período de 2022 a 2050. Além disso, se propôs substituir de forma gradativa as técnicas de mata junta e macho e fêmea (madeira plantada) por *wood frame* e *CLT* (ambos de madeira plantada). A Figura 23 apresenta os resultados encontrados.

Figura 23: Potencial de estoque temporário de carbono promovido pelo cenário estratégico 2 (CR2) com o aumento do *market share* das habitações (casas) com paredes de madeira plantada em relação ao cenário de referência (CR2) (valores medianos)



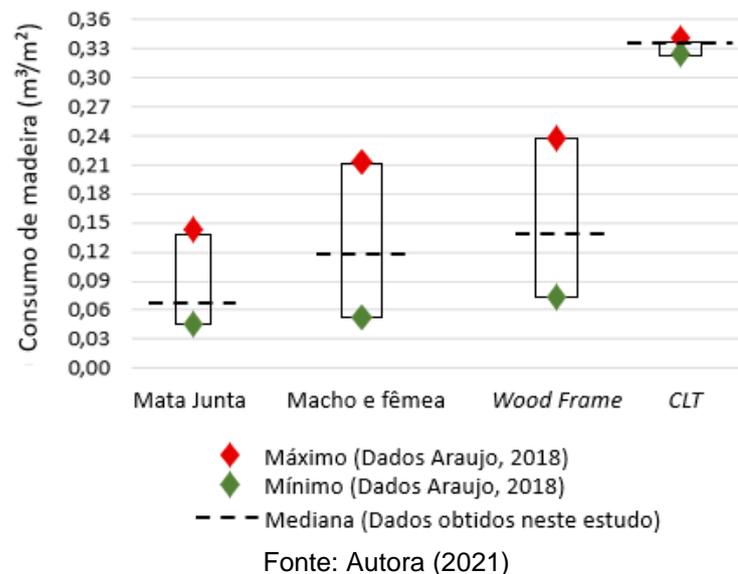
No cenário estratégico 2 foi possível elevar o estoque temporário de carbono consideravelmente. Se todas as casas fossem construídas em CLT (situação teórica que demarca o potencial máximo de (ETC) seria possível incrementar o ETC em até 24,7 MtC um total de 157,6 MtC (+19%) em relação ao CR2. E fossem construídas exclusivamente em *wood frame*, o potencial máximo de aumento seria de 10,1 MtC e em relação ao CR2 143,0 MtC (+8%).

Os cenários de inserção do *wood frame* e *CLT* foram formatados de maneira independente devido à impossibilidade de definição, de maneira robusta, da velocidade de expansão destas técnicas construtivas e conseqüentemente da fração de mercado que cada uma poderia ter numa projeção futura. Desta forma, uma introdução exclusiva em *CLT*, estrutura maciça em madeira, demarca o potencial máximo teórico e utópico de ETC, enquanto que o resultado da inserção exclusiva de *wood frame*, estrutura leve em madeira representa uma média possível, se promovido intensivamente o uso da madeira na construção em fins de longo prazo. Isto, supondo que o estoque futuro de casas baseadas em madeira seria composto por uma mescla de técnicas construtivas com maior ou menor intensidade no uso deste material.

Com isto percebe-se que o estoque temporário de carbono está diretamente relacionado ao consumo de madeira. Analisando as 30 plantas de habitações térreas em madeira pode-se concluir que as técnicas construtivas de *wood frame* (0,13 m³/m²) e *CLT* (0,34 m³/m²) apresentam paredes mais robustas em comparação as paredes construídas de mata junta (0,064 m³/m²) e macho e fêmea (0,12 m³/m²) (valores medianos).

Araujo (2018) analisou 210 empresas brasileiras com margem de erro de 6,65%, abaixo do nível aceitável de 10% e identificou o consumo necessário para se construir em madeira com diferentes técnicas construtivas e obteve variações mínimas e máximos conforme apresentado na Figura 24.

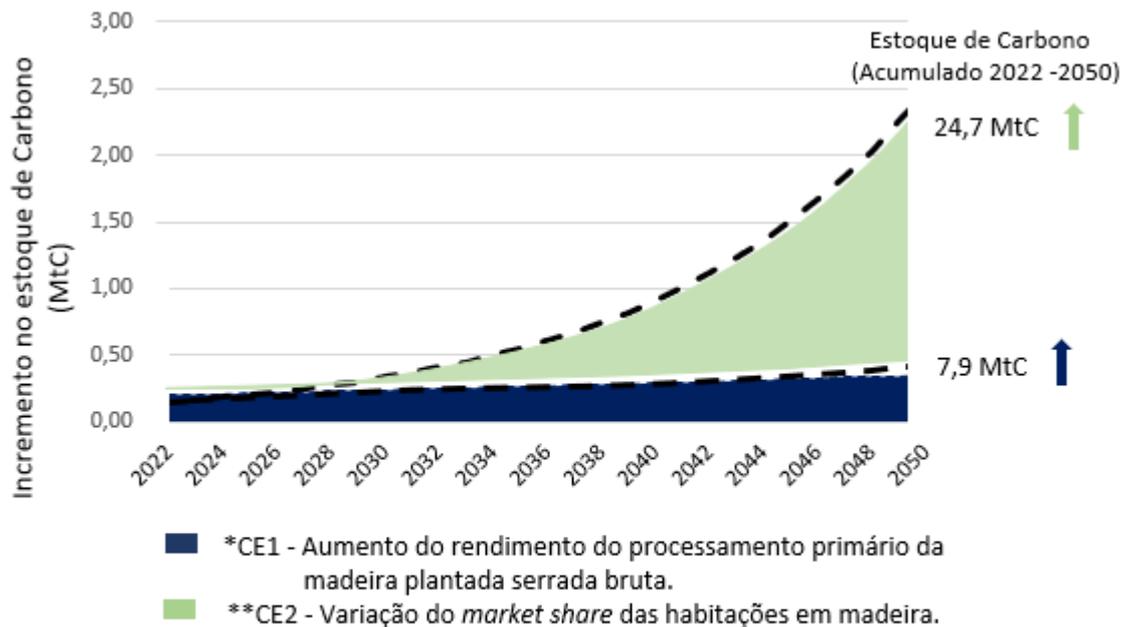
Figura 24: Consumo de madeira de diferentes técnicas construtivas (m³ por m² de área construída)



Os valores tracejados foram obtidos neste estudo e ficaram dentro do intervalo de variações do estudo do Araujo (2018) (ARAUJO, 2018).

Os resultados dos cenários estratégicos 1 e 2 foram apresentados em relação aos seus respectivos cenários de referência, porém a Figura 25 evidência o potencial de estoque temporário de carbono com a implantação de ambos a partir de 2022 até 2050 de forma independente.

Figura 25: Incremento no estoque temporário de carbono com a implantação da estratégia 1 (CE1) e estratégia 2 (CE2) (valores medianos)



Nota:

*O potencial de incremento do estoque de carbono do CE1 só será efetivo se o produto não for utilizado em fins de curto prazo.

** Máximo potencial de estoque (*CLT*).

Fonte: Autora (2021)

Para o CE1 a Figura 25 apresenta a possibilidade de estoque temporário nos produtos que poderão ser gerados ao reduzir os resíduos do processamento primário da madeira plantada serrada, porém os mesmos só se tornarão estoque temporário de carbono se forem utilizados como produtos de longo ciclo de vida.

Para o CE2 a principal possibilidade de estoque temporário de carbono é modificar o *market share* dos produtos de madeira plantada utilizados de forma temporária por produtos de madeira plantada de maior valor agregado, empregados em fins de longo prazo em paredes em *wood frame* e *CLT*, com isso pode-se elevar o estoque temporário de carbono.

Embora o *wood frame* seja empregado em quase sua totalidade nos países do hemisfério norte, onde nos Estados Unidos as construções de pequeno porte representam 90% das casas (SILVA, 2018) e o *CLT* é empregado em diversos países, sendo a maior expressão de seu uso verificado na Europa, no Brasil estas técnicas

podem ser consideradas em ascensão, uma vez que o *wood frame* possui Datec⁴⁸ e a revisão da norma ABNT NBR 7190 Projetos de estruturas de madeira (ainda sem previsão de publicação do texto final), deveria fazer com que ambos sistemas deixem de ser consideradas técnicas construtivas inovadoras, o que facilita consideravelmente seu financiamento e por consequência ganho de mercado.

Ainda que o uso da madeira plantada seja uma alternativa para reduzir as emissões de dióxido de carbono (BORJESSON; GUSTAVSSON, 2000; GUO et al., 2017; LUO et al., 2012), a eficácia em utilizá-la é pouco reconhecida na utilização a fins de longo prazo. Para isso, é preciso políticas públicas e incentivo do material. Mundialmente há países que tem incentivado o uso da madeira com a finalidade de reduzir emissões de CO₂ como Estados Unidos, Suécia, Finlândia, Canadá (ROVARIS, 2019).

Embora no Brasil haja demanda por habitação, que segundo análise do IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada) o déficit habitacional brasileiro é de 7,9 milhões de moradias em todo o país em 2020, correspondente a 14,9% do total de domicílios, e a forte capacidade produtiva de madeira, não há incentivo do material e ainda existem barreiras como a aceitação do público, necessidade de melhora da tecnologia e recursos humanos especializados da cadeia de produção.

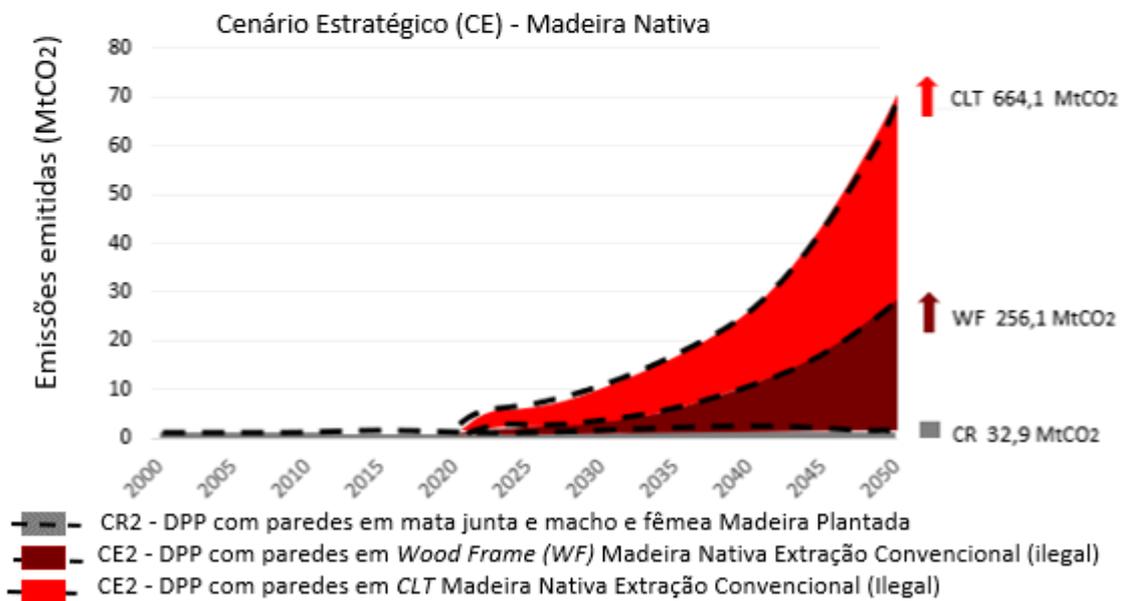
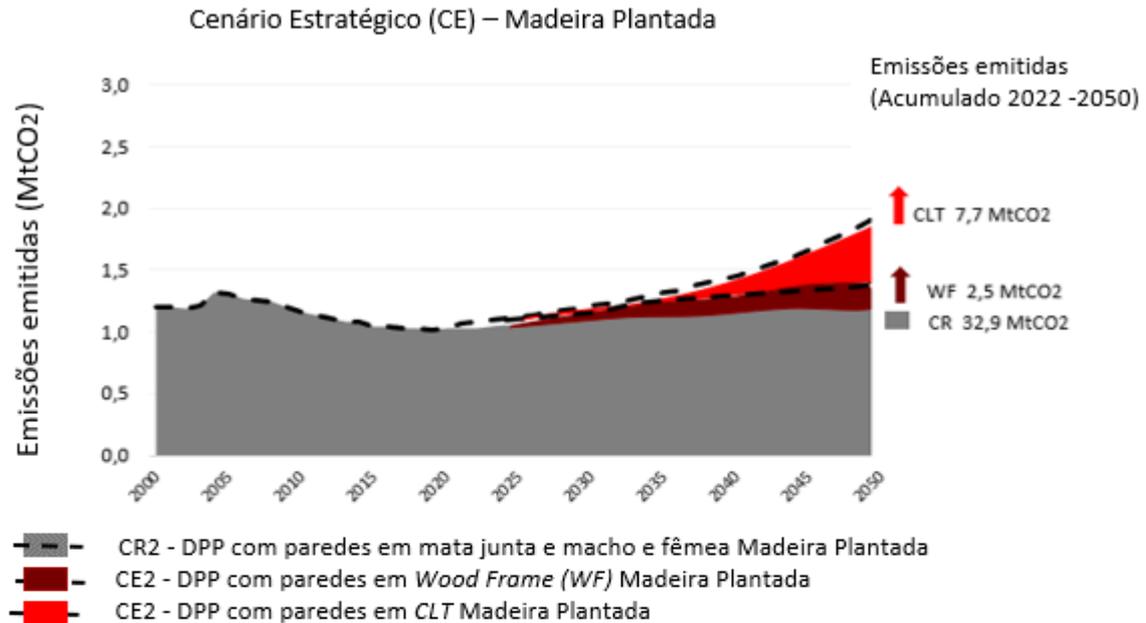
4.2.3 Análise de Sensibilidade

No Brasil há outras madeiras disponíveis no mercado para uso na construção, como por exemplo a madeira nativa, majoritariamente consumida pelo mercado interno (LENTINI et al., 2012). De modo legal a extração das florestas nativas é pelo manejo convencional e de impacto reduzido, porém o maior volume de madeira nativa comercializada é de exploração convencional (forma ilegal) (ADEODATO et al., 2011).

Dessa forma, a análise de sensibilidade do cenário estratégico (CE2) foi modelado com madeira nativa proveniente de exploração seletiva convencional. Isto para verificar as variações na capacidade de mitigação das emissões de CO₂ segundo a procedência da madeira. A Figura 26 apresenta os resultados obtidos.

⁴⁸ (DATEc): Documento de Avaliação Técnica que contém os resultados da avaliação técnica e condições de execução/operação, uso e manutenção do produto inovador.

Figura 26: Variações nas emissões de CO₂ do cenário estratégico 2 (CR2) promovido pela substituição de madeira plantada por madeira nativa de extração seletiva convencional (ilegal) (valores medianos)



Legenda: DPP - Domicílios Particulares Permanentes (casas)

Nota:

As emissões por *Wood Frame* e *CLT* foram analisadas de maneira independente.

Os valores apresentados não devem ser somados.

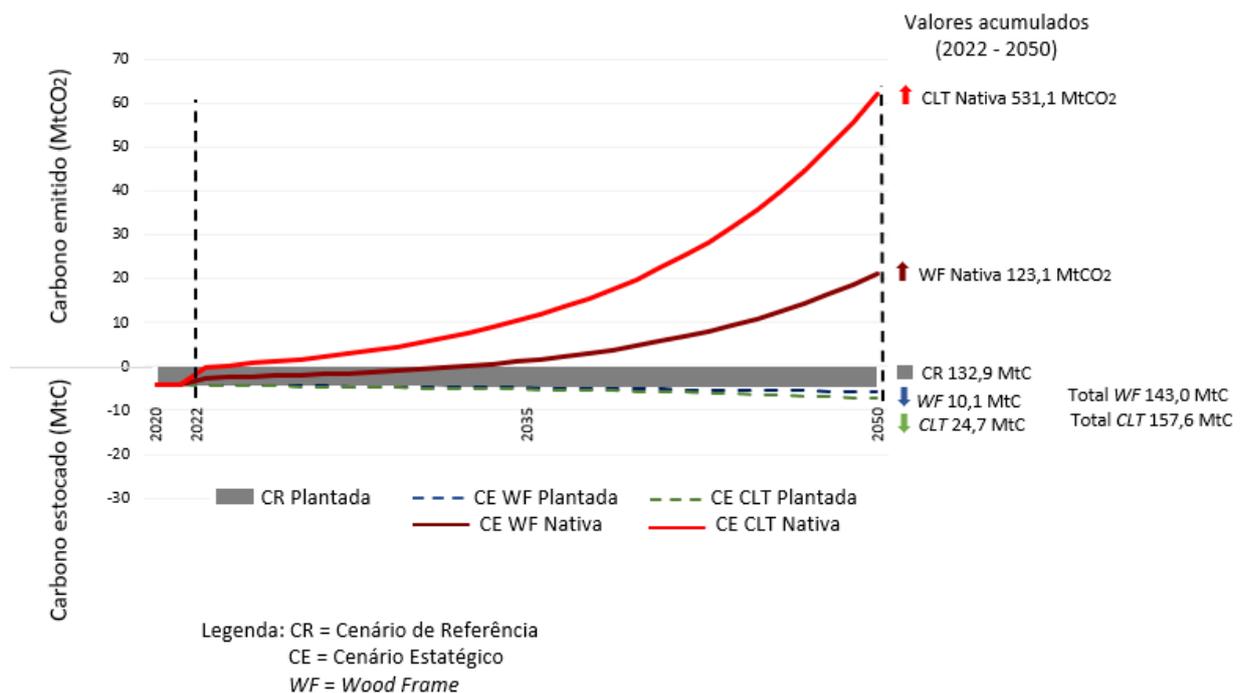
Fonte: Autora (2021)

Nota-se que empregando a madeira nativa nas paredes das habitações (casas) dos Domicílios Particulares Permanentes (DPP) no Brasil com as técnicas construtivas de *wood frame* e *CLT* as emissões de CO₂ se elevaram duas ordens de grandeza em comparação com as mesmas técnicas empregadas com madeira plantada.

Isso ocorre pois na extração seletiva convencional (ilegal) de madeira nativa o corte é feito de maneira seletiva levando em consideração apenas as árvores nobres e com maior demanda comercial, sem o planejamento, medição e monitoramento de seu crescimento adequado (CAMPOS, 2012). Dessa forma, tem-se um desperdício de madeira em potencial e em fase de crescimento efetivo. Posteriormente, as árvores podem ser derrubadas e arrastadas sem um delineamento de rota, impactando na devastação das árvores secundárias que poderiam oferecer valor comercial no futuro (ADEODATO *et al.*, 2011; CAMPOS, 2012; RIBEIRO, 2008).

A Figura 27 apresenta o balanço de carbono do cenário estratégico 2 (CE2) para madeira plantada e nativa, ambos em relação ao cenário de referência, onde a emissão de gás carbônico foi subtraída do estoque de carbono.

Figura 27: Balanço de carbono do cenário estratégico 2 (CE2) empregando paredes de madeira nativa de extração seletiva convencional (ilegal) e madeira plantada (valores medianos)



Fonte: Autora (2021)

Evidencia-se que empregando a madeira plantada é possível obter estoque temporário de carbono, enquanto que ao utilizar madeira nativa ilegal não há possibilidade de mitigação de gás carbônico, senão um aumento de CO₂.

Ribeiro (2008) e Adeodato (2011) relatam que os produtores em sua maioria optam pela exploração não regulamentada devido aos custos e ao processo

burocrático necessário para a obtenção dos devidos registros e autorizações para exploração da madeira nativa de forma legal. Deste modo, o desmatamento se eleva e nos últimos 30 anos a madeira nativa já perdeu quase 100 milhões de hectares devido a exploração ilegal (FRA, 2020).

Portanto, utilizar a madeira como forma de mitigação das emissões de CO₂ e estoque temporário de carbono é uma alternativa dependendo da cadeia produtiva empregada. Com base nos resultados desta pesquisa, acredita-se que a madeira plantada apresenta tal potencial, enquanto que a madeira nativa de extração seletiva convencional não é uma opção para este fim.

4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO 4

Neste capítulo estudou-se a possibilidade de reduzir as emissões de gás carbônico no setor da construção civil, empregando estratégias na fase de processamento primário da madeira plantada serrada bruta e na fase de uso. No primeiro cenário estratégico, com a utilização do *software* de modelagem de diagrama de corte, considerado um aumento mediano de 7,0% no rendimento da madeira plantada serrada bruta, mitigou-se 16,8 Mt de resíduos e 28,3 MtCO₂ (acumulado 2022 a 2050) (valores medianos).

O segundo cenário estratégico, o aumento de 0,95% a.a. de habitações com paredes em madeira, sem mudança do estoque habitacional projetado, mas com ganho de *market share* sobre as habitações com paredes em alvenaria e estrutura em concreto armado, mitigou-se 133,1 MtCO₂ (acumulado 2022 a 2050) (valor mediano). De tal forma, inserindo as técnicas construtivas de *wood frame* e *CLT* em substituições as técnicas tradicionais no Brasil de mata junta e macho e fêmea, poderia haver um aumento no estoque temporário de carbono em 8% (10,1 MtC) pelo incremento exclusivo do *wood frame* no mercado e 19% (24,7 MtC) para o *CLT* (acumulado 2022 a 2050) (valores medianos).

Conclui-se que a estratégia de aumento do rendimento no processamento primário da madeira plantada serrada bruta apresenta capacidade mais discreta de mitigação das emissões de CO₂ e não garante aumento do estoque temporário de carbono em produtos com maior ciclo de vida. Por outro lado, a mudança de *market share* entre os materiais componentes das paredes (internas e externas) das

casas no Brasil apresenta viabilidade técnica de implementação e significativo potencial de mitigação de CO₂ e estoque temporário de carbono ao longo do ciclo de vida da edificação, mas depende principalmente de incentivos governamentais para que seja possível.

Adicionalmente, verificou-se que utilizar a madeira como estratégia para mitigação das emissões de CO₂ e estoque temporário de carbono depende do tipo de cadeia produtiva empregado. A madeira proveniente de florestas plantadas possui potencial para este fim, enquanto que a madeira de florestas nativas de extração seletiva convencional (ilegal) não, esta apresentou saldo de carbono emitido de 123,1 MtCO₂ a 531,1 MtCO₂ (acumulado 2022 a 2050) e não mitigaria as emissões e sim a elevaria.

4.4 REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 4

ABCP, Associação Brasileira de Produtores de Cal. **Guia de argamassas nas construções**. [S. l.: s. n.], 2004. *E-book*. Disponível em: <https://ecivilufes.files.wordpress.com/2013/06/guia-das-argamassas-nas-construc3a7c3b5es-abpc-2007.pdf>.

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. 2

ABCP, Associação Brasileira de Cimento Portland. **Mãos a Obra 4 - O guia profissional da construção**. São Paulo: [s. n.], 2013b. (Pisos. Revestimento de paredes. Materiais de construção). v. 4

ABRAF, Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico da ABRAF**. Brasília: [s. n.], 2006. Setor Florestal. Disponível em: <https://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF-2006.pdf>.

ABRAF, Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico da ABRAF**. Brasília: [s. n.], 2007. Setor Florestal. Disponível em: <https://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF-2007.pdf>.

ABRAF, Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico da ABRAF**. Brasília: [s. n.], 2010. Setor Florestal. Disponível em: <https://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF-2010-BR.pdf>.

ABRAF, Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico da ABRAF**. Brasília: [s. n.], 2013. Setor Florestal. Disponível em: <https://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF13-BR.pdf>.

ADEODATO, Sérgio *et al.* **Madeira de ponta a ponta: o caminho desde a floresta até o consumo**. São Paulo: FGV RAE, 2011.

ALMEIDA, Mayron Aparecido de; SACOME, Bruno; SOUSA, Roney. Análise de aproveitamento no desdobro de madeira serrada – Pinus spp. [s. l.], p. 11, 2014.

ARAUJO, Victor Almeida de. **Casas de madeira e o potencial de produção no Brasil**. 2018. Doutorado Direto em Recursos Florestais - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-22032018-113405/>. Acesso em: 6 maio 2020.

BALBINOT, Rafaelo *et al.* ESTOQUE DE CARBONO EM PLANTAÇÕES DE Pinus spp. EM DIFERENTES IDADES NO SUL DO ESTADO DO PARANÁ. **FLORESTA**, [s. l.], v. 38, n. 2, 2008. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/11626>. Acesso em: 18 mar. 2020.

BARBOSA, Lucas Cândido *et al.* Avaliação dos resíduos de uma serraria para a produção de celulose. **Ciência Florestal**, [s. l.], v. 24, n. 2, p. 491–500, 2014.

BARBOZA, Marcos; BASTOS, Paulo Sérgio. IBRACON - Traços de concreto para obras de pequeno porte. **IBRACON - Instituto Brasileiro de Concreto**, [s. l.], n. 52, 2008.

BATISTA, Fábio Domingos. A TECNOLOGIA CONSTRUTIVA EM MADEIRA NA REGIÃO DE CURITIBA: da Casa Tradicional à Contemporânea. [s. l.], p. 181, 2007.

BATISTA, Djeison Cesar *et al.* Desdobro de Eucalyptus grandis com motosserra, Parte 1 – Análise do desempenho operacional. **Ciência Florestal**, [s. l.], v. 23, n. 3, 2013. Disponível em: <http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/10558>. Acesso em: 18 mar. 2020.

BATISTA, Djeison Cesar; CARVALHO, Alexandre Monteiro de. Operational performance evaluation of a sawmill through work delay ratio, yield and efficiency. **Sci. For.**, [s. l.], n. 75, p. 8, 2007.

BIASI, Cândido Pietro. **RENDIMENTO E EFICIÊNCIA NO DESDOBRAMENTO DE TRÊS ESPÉCIES TROPICAIS**. 2005. - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

BRAND, Martha Andreia *et al.* CARACTERIZAÇÃO DO RENDIMENTO E QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS EM SERRARIA ATRAVÉS DO BALANÇO DE MATERIAIS. **FLORESTA**, [s. l.], v. 32, n. 2, 2002. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/2288>. Acesso em: 18 mar. 2020.

CAMPOS, Érica Ferraz de. **Emissão de CO₂ da madeira serrada da Amazônia: o caso da exploração convencional**. 2012. Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-12062013-170523/>. Acesso em: 17 mar. 2020.

CAMPOS, Érica Ferraz de; PUNHAGUI, Katia; JOHN, Vanderley M. CO₂ footprint of Amazon lumber: A meta-analysis. **Resources, Conservation & Recycling**, [s. l.], 2021.

CARVALHO, Renata Reis. **Biomassa e nutrientes em um povoamento de Eucalyptus urograndis estabelecido em solo sujeito a arenização no sul do Brasil**. 2014. 80 f. - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2014.

CARVALHO, Douglas Edson. **MELHORIA NO DESDOBRAMENTO EM UMA SERRARIA DE EUCALIPTO PARA MADEIRA DESTINADA A CONSTRUÇÃO**. 2016. [s. l.], 2016.

CHIES, Daniel. Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de Pinus taeda L. [s. l.], p. 137, 2005.

COSTA, Bruno Luis de Carvalho da. **Quantificação das emissões de CO2 geradas na produção de materiais utilizados na construção civil no Brasil**. 2012. Dissertação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

CROSSLAN. **Cross Laminated Timber (Pré-Dimensionamento; Detalhes Construtivos, Informações Técnicas)**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <https://www.crosslam.com.br/site/downloads/>.

CUNHA, Alexsandro Bayestorff *et al.* AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO EM MADEIRA SERRADA DE *Eucalyptus benthamii* E DE *Eucalyptus grandis* POR MEIO DO DESDOBRO TANGENCIAL E RADIAL. **FLORESTA**, [s. l.], v. 45, n. 2, p. 241, 2014.

DE MORAES, Erik Souto; ROVARIS, Camila; PUNHAGUI, Katia. AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO DE HABITAÇÕES NO BRASIL, COM FOCO NO USO DA MADEIRA - PRIMEIROS RESULTADOS. **XVI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira III Congresso Latino-americano de Estruturas de Madeira**, [s. l.], p. 12, 2018.

DE SOUZA, Álvaro Nogueira *et al.* 222 MODELAGEM DO RENDIMENTO NO DESDOBRO DE TORAS DE EUCALIPTOSCOUULZTAI, VAA.DNO. de *et al.* EM SISTEMA AGROFLORESTAL. [s. l.], v. 13, n. 2, p. 17, 2007.

DIAS, Gustavo Lacerda. **ESTUDO EXPERIMENTAL DE PAREDES ESTRUTURAIS DE SISTEMA LEVE EM MADEIRA (SISTEMA PLATAFORMA) SUBMETIDAS A FORÇA HORIZONTAL NO SEU PLANO**. 2005. - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

DOBNER JÚNIOR, Mário; HIGA, Antonio Rioyei; ROCHA, Márcio Pereira da. Rendimento em Serraria de Toras de *Pinus taeda*: Sortimentos de Grandes Dimensões. **Floresta e Ambiente**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 385–392, 2012.

EUROPUR. **Flexible Polyurethane (PU) Foam EUROPUR**. [S. l.: s. n.], 2015. Disponível em: <https://www.plasticseurope.org/en/resources/eco-profiles>.

FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAO YEARBOOK OF FOREST PRODUCTS 2017 (MULTILINGUAL EDITION)**. S.l.: FOOD & AGRICULTURE ORG, 2019.

FAO. Forest product statistics: Major consumers and producers of forest products. [s. l.], 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/forestry/statistics/80938@180723/en/>.

FERREIRA, Sérgio; LIMA, José Tarcísio; TRUGILHO, Paulo Fernando. INFLUÊNCIA DE MÉTODOS DE DESDOBRO TANGENCIAIS NO RENDIMENTO E NA QUALIDADE DA MADEIRA DE CLONES DE *Eucalyptus* spp. [s. l.], v. 10, n. 1, p. 13, 2004.

FONTES, Paulo José Prudente. **Auto suficiência energética em serraria de *Pinus* e aproveitamento dos resíduos**. 1994. 153 f. - Universidade Federal do Paraná, [s. l.], 1994.

FPINNOVATIONS; NORDIC STRUCTURES. **Environmental Product Declaration - Cross Laminated Timber**. [S. l.: s. n.], 2018.

FRA. **Global Forest Resources Assessment 2020**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ca9976en/ca9976en.pdf>. Acesso em: 5 set. 2020.

GATTO, Alcides *et al.* Estoque de carbono na biomassa de plantações de eucalipto na região centro-leste do estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, [s. l.], v. 35, n. 4, p. 895–905, 2011.

GIONGO, Marcos *et al.* Inventário de biomassa em um plantio de *Pinus elliottii* engelm. aos 23 anos de idade. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 81–86, 2011.

GUIMARÃES, Claudiney Do Couto *et al.* Biomass Production and Nutritional Efficiency in Eucalyptus Genotypes in the Pampa Biome. **Journal of Experimental Agriculture International**, [s. l.], p. 1–10, 2019.

HUYSMAN, Sofie *et al.* Toward a systematized framework for resource efficiency indicators. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 95, p. 68–76, 2015.

IBÁ, Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório da Indústria Brasileira de Árvores 2016**. Brasília: [s. n.], 2016. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/pdf/iba-relatorioanual2016.pdf>. .

IBÁ, Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório da Indústria Brasileira de Árvores 2019**. Brasília: [s. n.], 2019. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2020.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**. [S. l.: s. n.], 2016.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html>.

IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Código de Práticas nº01 - Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos**. [S. l.: s. n.], 2011. *E-book*. Disponível em: <https://www.ceramicaermida.com.br/pdf/alvenaria-de-vedacao.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2021.

JOHN, Vanderley M.; PUNHAGUI, Katia R. Garcia; CINCOTTO, Maria Alba. **Produção do Cal - Núcleo de Estudos de Economias de Baixo Carbono**. [S. l.: s. n.], 2014.

JÚNIOR, Yutaka Mario Kobayashi *et al.* Estudo comparativo sobre consumo de madeira na construção de edificações convencionais e de alvenaria estrutural. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [s. l.], v. 11, n. 6, p. 284–297, 2020.

LENGOWSKI, ELAINE CRISTINA; FUCK, STÉFANIE CLAIRE; JUNIOR, ERALDO ANTONIO BONFATTI. Estimativa do ganho em rendimento no desdobro da madeira de *Pinus* spp. utilizando modelagem. [s. l.], p. 8, 2017.

LENTINI. *et al.* Acertando o alvo 3 - Desvendando o mercado Brasileiro de madeira Amazônica certificada FSC. Inmaflora. 2012.

LIMA, José Antonio Ribeiro de. **Avaliação das conseqüências da produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas**. 2010. Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-23082010-105858/>. Acesso em: 26 jul. 2021.

LOPES, Fernanda Santos *et al.* RENDIMENTO EM MADEIRA SERRADA DE TORAS DE PEQUENO DIÂMETRO EM SERRARIA DE GRANDE PORTE. *In: III CONGRESSO*

INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 2018. **CIÊNCIA, TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL: COMPARTILHANDO CONHECIMENTOS INOVADORES E EXPERIÊNCIAS**. [S. l.]: Instituto Internacional Despertando Vocações, 2018. Disponível em: <https://cointer.institutoidv.org/pdvagro/pdvagrottrabalhos/2018/comunicacaoOral/RENDIMENTO-EM-MADEIRA-SERRADA-DE-TORAS-DE-PEQUENO-DI%C3%82METRO-EM-SERRARIA-DE-GRANDE-PORTE.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2020.

MACIEL, Marco Aurélio Diniz. **LEVANTAMENTO DE INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM OBRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM MARINGÁ/PR**. 2016. Maringá, 2016.

MANHIÇA, Alberto António; ROCHA, Márcio Pereira da; TIMOFEICZYK JÚNIOR, Romano. RENDIMENTO NO DESDOBRIO DE *Pinus sp.* UTILIZANDO MODELOS DE CORTE NUMA SERRARIA DE PEQUENO PORTE. **FLORESTA**, [s. l.], v. 42, n. 2, p. 409, 2012.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Florestas do Brasil em resumo**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/documentos/publicacoes/4261-florestas-do-brasil-em-resumo-digital/file>.

MARCHESAN, Raquel *et al.* AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS DE ANELAMENTO E INSERÇÃO DE SABRE EM ÁRVORES DE *Eucalyptus grandis* VISANDO MAIOR QUALIDADE DA MADEIRA SERRADA. **FLORESTA**, [s. l.], v. 45, n. 4, p. 695, 2015.

MARCOS, Micheline Helen Cot. **ANÁLISE DA EMISSÃO DE CO₂ NA FASE PRÉ-OPERACIONAL DA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE UMA FERRAMENTA CAD-BIM**. 2009. Dissertação - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, Curitiba, 2009.

MELLO, Sérgio Luis de Miranda; GONÇALVES, José Leonardo de Moraes; OLIVEIRA, Luis Eugênio Gonçalves de. Characteristics of eucalypt root system propagated by seed and rooted cutting. **SCIENTIA FORESTALIS**, [s. l.], n. 54, p. 14, 1998.

MILITO, José Antonio. **Técnicas de Construção Civil**. [S. l.: s. n.], 2009. *E-book*. Disponível em: <http://demilito.com.br/apostila.html>. Acesso em: 5 abr. 2021.

MONTEIRO, Thiago Campos; LIMA, José Tarcísio; TRUGILHO, Paulo Fernando. Avaliação de desdobro de toras de *Eucalyptus* para obtenção de peças estruturais. [s. l.], v. 19, n. 3, p. 8, 2013.

MORAES, Erik Souto; PUNHAGUI, Katia. AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE MADEIRA NA PRODUÇÃO DE HABITAÇÕES EM FOZ DO IGUAÇU-PR. **Encontro Brasileiro em Madeiras e em estruturas de madeira (EBRAMEM)**, [s. l.], p. 12, 2020.

MOULIN, Jordão Cabral. RENDIMENTO EM MADEIRA SERRADA DE *Pinus taeda* COM DIFERENTES CLASSES DIAMÉTRICAS E PLANOS DE CORTE. [s. l.], p. 7, 2019.

MURARA, Mauro Itamar; ROCHA, Márcio Pereira da; TRUGILHO, Paulo Fernando. Estimativa do Rendimento em Madeira Serrada de *Pinus* para Duas Metodologias de Desdobro. **Floresta e Ambiente**, [s. l.], 2013. Disponível em: <http://floram.org/doi/10.4322/floram.2013.037>. Acesso em: 18 mar. 2020.

NBR, Associação Brasileira de Normas (ABNT) Técnicas. **NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. [S. l.: s. n.], 2004.

NBR, Associação Brasileira de Normas (ABNT)Técnicas. **NBR 7190 - Projeto de estruturas de madeira.** [S. l.: s. n.], 1997.

NBR, Associação Brasileira de Normas (ABNT)Técnicas. **NBR 7480 - Aço destinado a armadura para estruturas de concreto armado (Especificações).** [S. l.: s. n.], 2008.

NBR, Associação Brasileira de Normas (ABNT)Técnicas. **NBR 12498 PB-1560 - Madeira serrada de coníferas proveninetes de reflorestamento para uso geral (Dimensões).** [S. l.: s. n.], 1991.

NBR, Associação Brasileira de Normas (ABNT)Técnicas. **NBR 14807 - Peças de madeira serrada (Dimensões).** [S. l.: s. n.], 2002.

NBR, Associação Brasileira de Normas (ABNT)Técnicas. **NBR 15270 - Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação.** [S. l.: s. n.], 2005.

NEVES, Júlio César Lima. PRODUÇÃO E PARTIÇÃO DE BIOMASSA, ASPECTOS NUTRICIONAIS E HÍDRICOS EM PLANTIOS CLONAIIS DE EUCALIPTO NA REGIÃO LITORÂNEA DO ESPÍRITO SANTO. [s. l.], 2000.

NUMAZAWA, Camila Thiemy Dias. **Material flow analysis and CO2 footprint in lumber from managed Brazilian Amazon rainforests.** 2019. Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-31012019-073206/>. Acesso em: 21 abr. 2020.

OLIVEIRA, Gabriel Lotufo. **Cross Laminated Timber (CLT) no Brasil: Processo construtivo e desempenho.** 2018. 194 f. Dissertação - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

OLIVEIRA, Vanessa Carina Heinrichs Chirico. **Estratégias para a minimização da emissão de CO2 de concretos estruturais.** 2016. Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-25072016-144256/>. Acesso em: 26 jul. 2021.

PHILIPPI, Rodrigo Vinci. CARACTERIZAÇÃO DO MERCADO DE CASAS PRÉ-FABRICADAS DE MADEIRA EM CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA. [s. l.], p. 66, 2014.

PUNHAGUI, Katia Regina. **Potencial de reducción de las emisiones de CO2 y de la energía incorporada en la construcción de viviendas en Brasil mediante el incremento del uso de la madera.** 2014. 422 f. - Universidad Politécnica de Cataluna y Universidade de São Paulo, Barcelona, 2014.

PUNHAGUI, Katia; ET AL. **Estudo de Baixo Carbono para Indústria de Cimento no Estado de São Paulo de 2014 a 2030.** São Paulo: CETESB, 2018.

REIS, Daniel da Costa; MACK-VERGARA, Yazmin; JOHN, Vanderley Moacyr. Material flow analysis and material use efficiency of Brazil's mortar and concrete supply chain. **Journal of Industrial Ecology**, [s. l.], v. 23, n. 6, p. 1396–1409, 2019.

RIBEIRO, Jorge. **Avaliação ambiental econômica da produção de madeira de espécie nativa em dois municípios na Amazônia Brasileira.** 2008. Mestrado em Saúde Ambiental - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-14112008-102706/>. Acesso em: 21 abr. 2020.

ROVARIS, Camila. ESTUDO PARA AMPLIAÇÃO DO USO DA MADEIRA PARA A CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÕES NO BRASIL. [s. l.], p. 244, 2019.

S., B.; B., L. C.; M., J. S. **Dimensões usuais dos materiais utilizados na construção civil.** [S. l.: s. n.], 2021.

SALVADOR, Simone Martini. QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA E NUTRIENTES EM PLANTIOS DE EUCALYPTUS UROGRANDIS EM SOLOS DISTINTOS. [s. l.], p. 83, 2015.

SANTORO, Jair Frederico; KRIPKA, Moacir. Determinação das emissões de dióxido de carbono das matérias primas do concreto produzido na região norte do Rio Grande do Sul. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 16, n. 2, p. 35–49, 2016.

SANTOS, Iêdo Souza. AVALIAÇÃO DA MADEIRA DE Eucalyptus sp. [s. l.], p. 77, 2008.

SANTOS, Eduardo Picolotto. **Avaliação das emissões de CO₂ e energia incorporada da madeira serrada produzida no Paraná e destinada à construção civil sob ponto de vista do inventário do ciclo de vida.** 2021. Dissertação - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, [s. l.], 2021.

SANTOS, Kristiana Fiorentin dos *et al.* BIOMASSA EM Pinus elliottii Engelm: UM DRENO PARA O CARBONO. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 7, 2019.

SCANAVACA, Laerte; GARCIA, José Nivaldo. Yield in sawed wood of Eucalyptus urophylla. [s. l.], p. 12, 2003.

SCHUMACHER, Mauro Valdir *et al.* Biomassa e nutrientes no corte raso de um povoamento de Pinus taeda L. de 27 anos de idade em Cambará do Sul – RS. **Ciência Florestal**, [s. l.], v. 23, n. 2, 2013. Disponível em: <http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/9278>. Acesso em: 18 mar. 2020.

SCHUMACHER, Mauro Valdir; POGGIANI, Fabio. PRODUÇÃO DE BIOMASSA E REMOÇÃO DE NUTRIENTES EM POVOAMENTOS DE Eucalyptus camaldulensis Dehnh, Eucalyptus grandis Hill ex Maiden E Eucalyptus torelliana F. Muell, PLANTADOS EM ANHEMBÍ, SP. **Ciência Florestal**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 21, 1993.

SEBRAE. **UTILIZAÇÃO DA MADEIRA CERTIFICADA NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM DIFERENCIAL.** São Paulo: [s. n.], 2014.

SERPE, Edson Luis; FILHO, Afonso Figueiredo; ARCE, Julio Eduardo. RENDIMENTO DO DESDOBRO DE MADEIRA EM SERRARIA CONVENCIONAL E DIFERENTES SIMULAÇÕES UTILIZANDO OTIMIZADOR COMPUTACIONAL. **BIOFIX Scientific Journal**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 103, 2018.

SILVA, Bruna Vicente da. **Construção de ferramenta para avaliação do ciclo de vida de edificações.** 2013. Mestrado em Energia - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-15052013-103100/>. Acesso em: 26 jul. 2021.

SILVA, Julia Cruz da. **PARÂMETROS CONSTRUTIVOS PARA PAINÉIS VERTICAIS ADAPTADOS DO SISTEMA WOOD FRAME EM MADEIRA DE EUCALIPTO JOVEM.** 2018. - UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA, Salvador, 2018.

SINDUSCON. Aquisição responsável de madeira na construção civil. [s. l.], p. 71, 2011.

SIXEL, Ricardo Michael de Melo. **Sustentabilidade da produtividade de madeira de Pinus taeda com base no estoque, na exportação e na ciclagem de nutrientes**. 2012. Mestrado em Recursos Florestais - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-26102012-143719/>. Acesso em: 18 mar. 2020.

SNIF, Serviço Florestal Brasileiro. **Boletim SNIF - Serviço Florestal Brasileiro**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: http://snif.florestal.gov.br/images/pdf/publicacoes/Boletim-SNIF_Ed1_2019.pdf.

SOUZA, Milena Pinto Rodrigues de. **Avaliação das emissões de CO2 antrópico associadas ao processo de produção do concreto, durante a construção de um edifício comercial, na Região Metropolitana de São Paulo**. 2012. Dissertação - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2012.

STORAENSO. **Environmental Product Declaration - Cross Laminated Timber**. [S. l.: s. n.], 2020.

TABORIANSKI, Vanessa Montoro; PRADO, Racine T.A. Methodology of CO2 emission evaluation in the life cycle of office building façades. **Environmental Impact Assessment Review**, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 41–47, 2012.

TECVERDE. **“Sistema estruturado em peças leves de madeira maciça serrada – Tecverde (tipo light wood framing)”**. São Paulo: [s. n.], 2020.

VACCHIANO, Inácio. **Manual Prático do Mestre de Obras**. [S. l.: s. n.], 2016. *E-book*. Disponível em: <https://inaciovacchiano.files.wordpress.com/2014/08/manual-prc3a1tico-do-mestre-de-obras-2015-4a-edic3a7c3a3o-v-6-inacio-vacchiano1.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2021.

WATZLAWICK, LUCIANO FARINHA. **ESTIMATIVA DE BIOMASSA E CARBONO EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA E PLANTAÇÕES FLORESTAIS A PARTIR DE DADOS DE IMAGENS DO SATÉLITE IKONOS II**. 2003. 138 f. - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

WINK, Charlotte *et al.* A idade das plantações de Eucalyptus sp. influenciando os estoques de carbono. **Ciência Florestal**, [s. l.], v. 23, n. 2, 2013. Disponível em: <http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/9279>. Acesso em: 18 mar. 2020.

WITSCHORECK, Rudi. BIOMASSA E NUTRIENTES NO CORTE RASO DE UM POVOAMENTO DE Pinus taeda L. DE 17 ANOS DE IDADE NO MUNICÍPIO DE CAMBARÁ DO SUL - RS. [s. l.], p. 81, 2008.

WOJCIECHOWSKI *et al.* BIOMASSA EM UMA FLORESTA DE Pinus elliotii Engelman AOS 19 ANOS DE IDADE, EM SANTA MARIA, RS. [s. l.],

ZANELLA, Kelly. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA SERRARIA DE EUCALIPTO. [s. l.], p. 7, 2016.

ZANI, Antonio Carlos. **Arquitetura em Madeira**. Londrina: [s. n.], 2013. *E-book*. Disponível em: <http://www.uel.br/editora/portal/pages/livros-digitais-gratuitos.php>.

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

ZHANG, Chao; CHEN, Wei-Qiang; RUTH, Matthias. Measuring material efficiency: A review of the historical evolution of indicators, methodologies and findings. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 132, p. 79–92, 2018.

5. CONCLUSÕES FINAIS DA PESQUISA

A madeira é um material biológico, renovável, versátil, diverso e amplamente empregado na construção mundial. Seu principal apelo está na capacidade de capturar CO₂ da atmosfera e, portanto, colaborar com as questões de relacionadas ao combate ao câmbio climático. Este estudo a considerou na formulação de estratégias para mitigação de emissões de CO₂ e aumento do estoque temporário de carbono do setor habitacional brasileiro. Para isto avaliou-se as cadeias produtivas de madeira e as fases de produção e uso do material pelo setor.

Pôde-se constatar que a cadeia produtiva de floresta plantada apresenta melhores perspectivas de fornecimento sustentado de madeira para o mercado nacional. A partir disto, a madeira plantada (pinus e eucalipto) passou à objeto de estudo onde analisou-se o fluxo de carbono em seu ciclo de vida, o potencial de captura de CO₂ e estoque temporário de carbono e como seu emprego poderia afetar as emissões do setor da construção, que é considerado chave nas questões de redução dos gases de efeito estufa.

Na construção civil brasileira a madeira é altamente empregada em fins de curto ciclo de vida (sistemas de apoio a construções em alvenaria e concreto armado), portanto este estudo focou em estratégias de mitigação de CO₂ e aumento do estoque temporário de carbono considerando as fases de produção e uso. Ao analisar a primeira fase do ciclo de vida da madeira plantada serrada (produção do artefato), obteve-se que a etapa do processamento primário apresentou maiores emissões de CO₂ em relação a etapa de colheita florestal. Com isso, elaborou-se uma estratégia (CE1) para elevar o rendimento no processamento primário da madeira plantada serrada bruta que resultou em uma redução de 4% nas emissões de CO₂ entre 2022 e 2050.

A segunda estratégia (CE2) proposta variou o *market share* das casas com parede em alvenaria e estrutura em concreto armado por casas com paredes de madeira com duas técnicas construtivas (*wood frame* e *Cross Laminated Timber (CLT)*). Com isso mitigou-se 133,1 MtCO₂ (valores medianos) e pode-se elevar o estoque temporário de carbono em 8% com a inserção teórica e exclusiva do *wood frame* e 19% se fossem construídas apenas em *CLT* (potencial máximo hipotético). Acredita-se que

com fomento e normatização de sistemas construtivos em madeira seja possível implementar em partes a estratégia desenhada.

Por outro lado, a primeira estratégia (CE1) apresentou um discreto potencial de mitigação em relação às emissões de CO₂ quando comparado ao CR2, e não se pode considerar que seja eficiente como meio de aumento do estoque temporário de carbono uma vez que não há garantia das destinações dos produtos para fins com maior ciclo de vida.

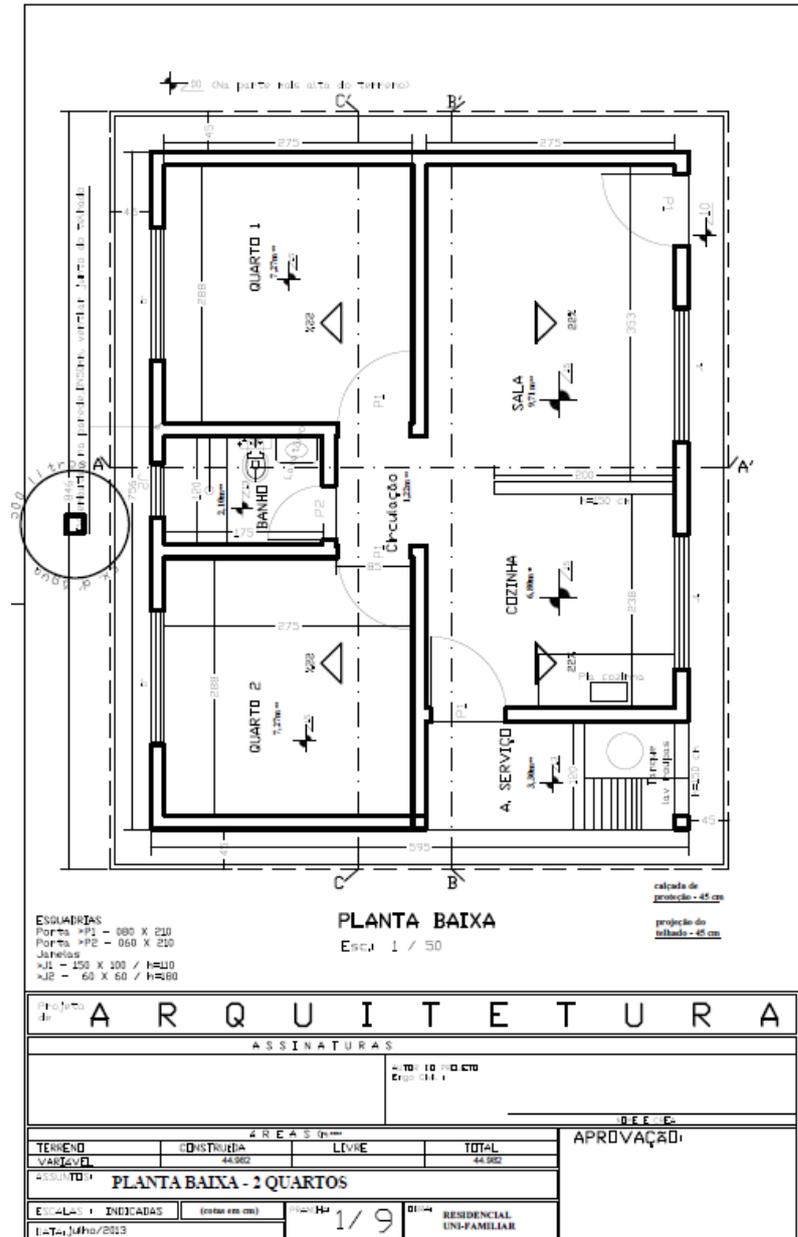
Por fim, ainda que ganhos em relação a redução das emissões de CO₂ sejam explorados, a viabilização de estratégias para o aumento do rendimento e consumo da madeira em fins de longo prazo é um processo complexo que abrange agentes em diferentes escalas do setor público e privado. A disseminação de ganhos ambientais permite o entendimento das possibilidades de planos para redução de impactos, mas deve ser complementada por estudos socioeconômicos e implementada por ações público-privadas de incentivos fiscais, desenvolvimento tecnológico, melhoramento da cadeia.

6. APÊNDICE A – PLANTAS BAIXAS DAS CASAS DE ALVENARIA E CONCRETO ARMADO

Origem da informação: Site na internet

Referência: <http://www.funasa.gov.br/modelo-de-projeto-basico-habitacao-de-2-quartos>

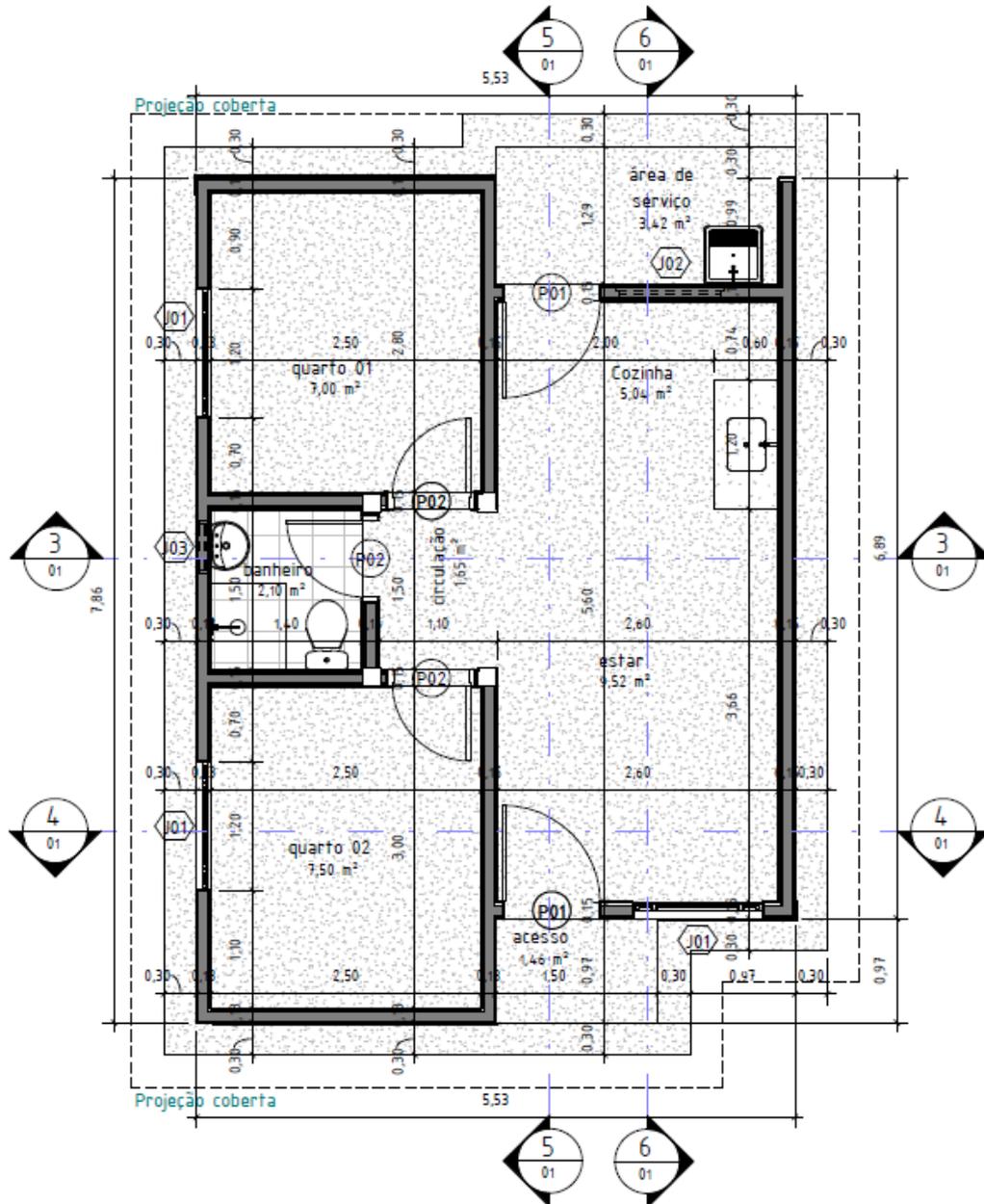
Área: 44,98 m²



Origem da informação: Site na internet

Referência: <http://cehap.pb.gov.br/sitecehap/wp-content/uploads/2021/01/Plantas-Parceiro-de-Habitac%2%95%9Eo-unidade-pad%2%95%9Eo-22102020.pdf>

Área: 40,80 m²



2 Planta baixa - cotas
1 : 50

Origem da informação: Site na internet

Referência: <https://www.sistemas.cohapar.pr.gov.br/portalDeEmpreendimentos/empreendimento.php?p=L4EQRRM=xLLTRL0f07M> Área: 38 m²

Origem da informação: Site na internet

Referência: <https://www.sistemas.cohapar.pr.gov.br/portalDeEmpreendimentos/empreendimento.php?p=wdD0t04=Vpn6ByePHQnFnLYrNLnK6wYt9xnB3t0>. Área: 48,20 m²



Origem da informação: Site na internet

Referência: <https://www.sistemas.cohapar.pr.gov.br/portalDeEmpreendimentos/empreendimento.php?p=RtBD9Fj=m9nrLzLsnCm9ICYtNLnK6wX73CwtpyC>. Área: 47,76 m²

Origem da informação: Site na internet

Referência: <https://www.sistemas.cohapar.pr.gov.br/portalDeEmpreendimentos/empreendimento.php?p=RtBD9Fj=m9nrLzLsnCm9ICYtNLnK6wX73CwtpyC>. Área: 44,74 m²



Origem da informação: Site na internet

Referência: <https://www.sistemas.cohapar.pr.gov.br/portalDeEmpreendimentos/empreendimento.php?p=8WXCcRV=mPXM0LCCLLYCnLYrLQT66jcf8je307m>. Área: 48,83 m²



Origem da informação: Site na internet

Referência:

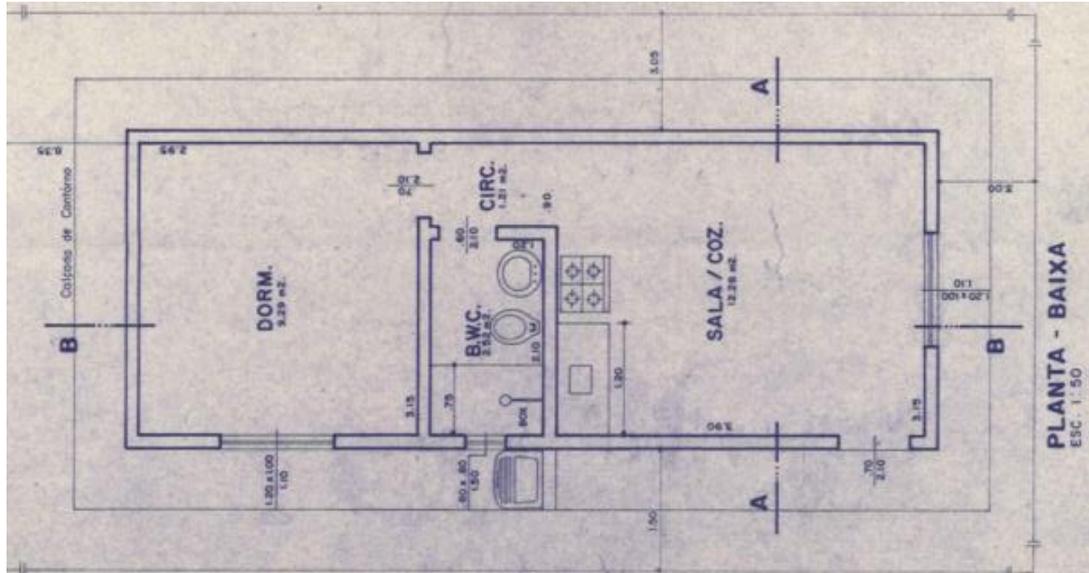
<https://www.sistemas.cohapar.pr.gov.br/portalDeEmpreendimentos/empreendimento.php?p=RtBD9Fj=ELXHExLAnzTbnLYCLQT664nTJyCIR7C>. Área: 43,00 m²



Origem da informação: Site na internet

Referência:

https://www2.bauru.sp.gov.br/arquivos/arquivos_site/sec_planejamento/nucleos_habitacionais//COHAB%20-%20LE%20C3%83O%20XIII/N.HAB;Cohab - Le%20C3%A3o XIII - Planta Casa.pdf. Área: 29,84 m²



Origem da informação: Site na internet

Referência: <https://www.soprojetos.com.br/projetos-de-casas/Planta-de-Casa-Popular-com-46-m2-Cod-100?page=2>. Área: 41,75 m²



Origem da informação: Site na internet

Referência: <https://www.tudoconstrucao.com/wp-content/uploads/2017/02/Casa-Popular-25.jpg>.

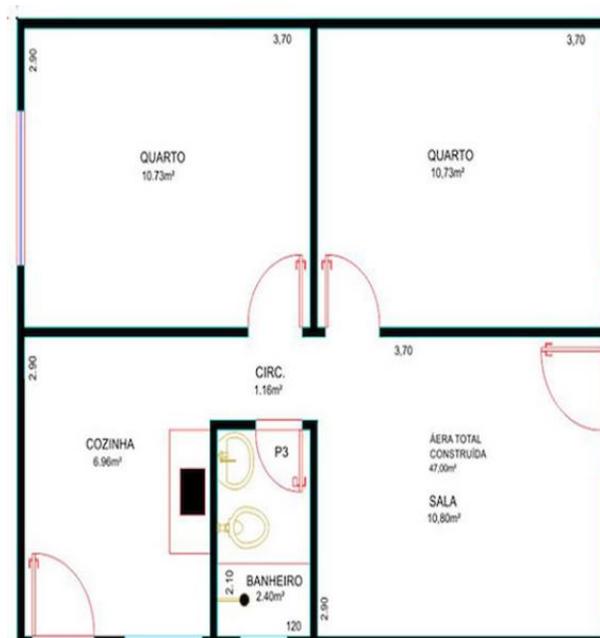
Área: 41,87 m²



Origem da informação: Site na internet

Referência: <https://www.tudoconstrucao.com/wp-content/uploads/2017/02/Casa-Popular-26.png>.

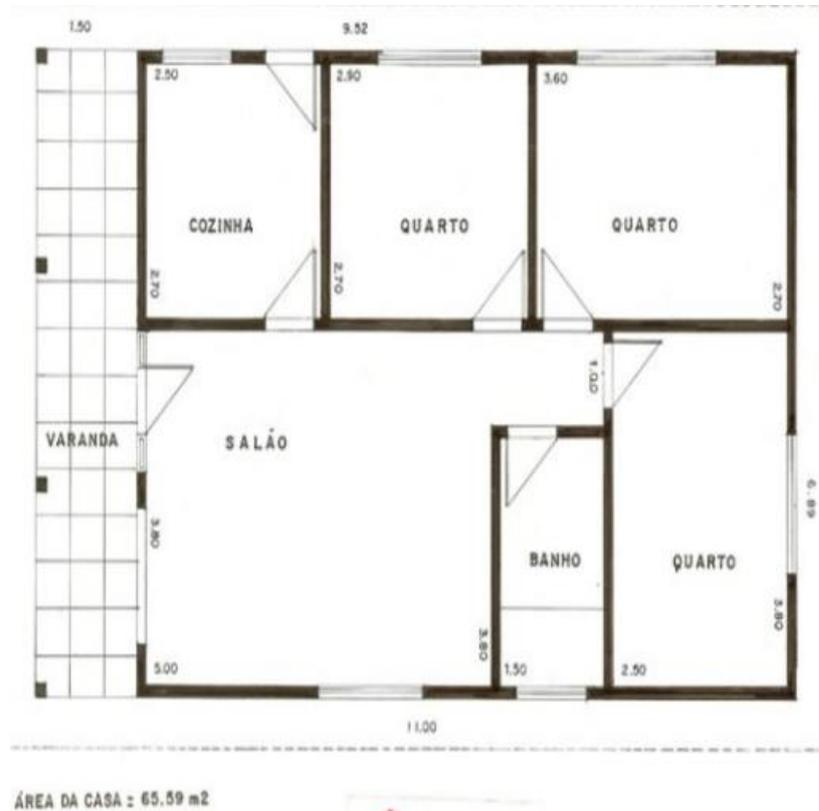
Área: 47,00 m²



Origem da informação: Site na internet

Referência: <https://www.tudoconstrucao.com/wp-content/uploads/2017/02/Casa-Popular-33.jpg>.

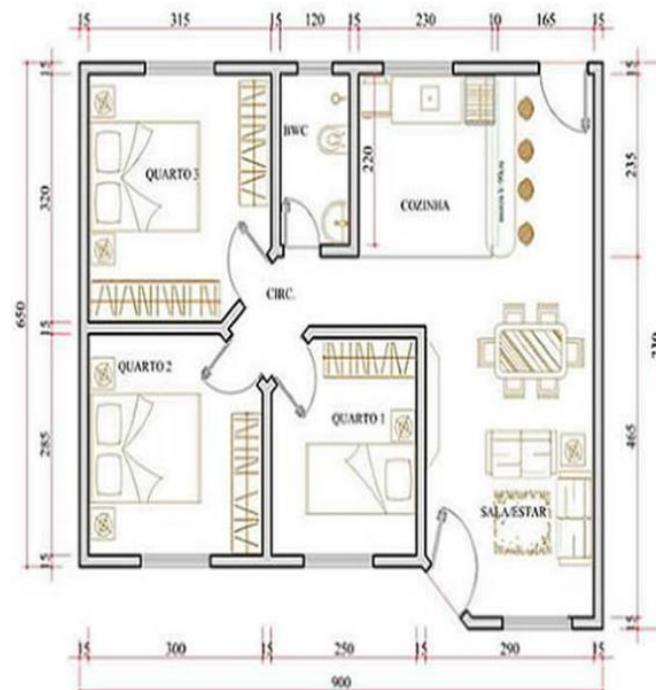
Área: 65.59 m²



Origem da informação: Site na internet

Referência: <https://www.tudoconstrucao.com/wp-content/uploads/2017/02/Casa-Popular-50.jpg>.

Área: 66,46 m²



Origem da informação: Site na internet

Referência: <https://www.tudoconstrucao.com/wp-content/uploads/2017/02/Casa-Popular-51.png>.

Área: 49,77 m²



Origem da informação: Site na internet

Referência: <https://www.tudoconstrucao.com/wp-content/uploads/2015/07/Planta-baixa-para-Minha-Casa-Minha-Vida-11.jpg>.

Área: 50,39 m²

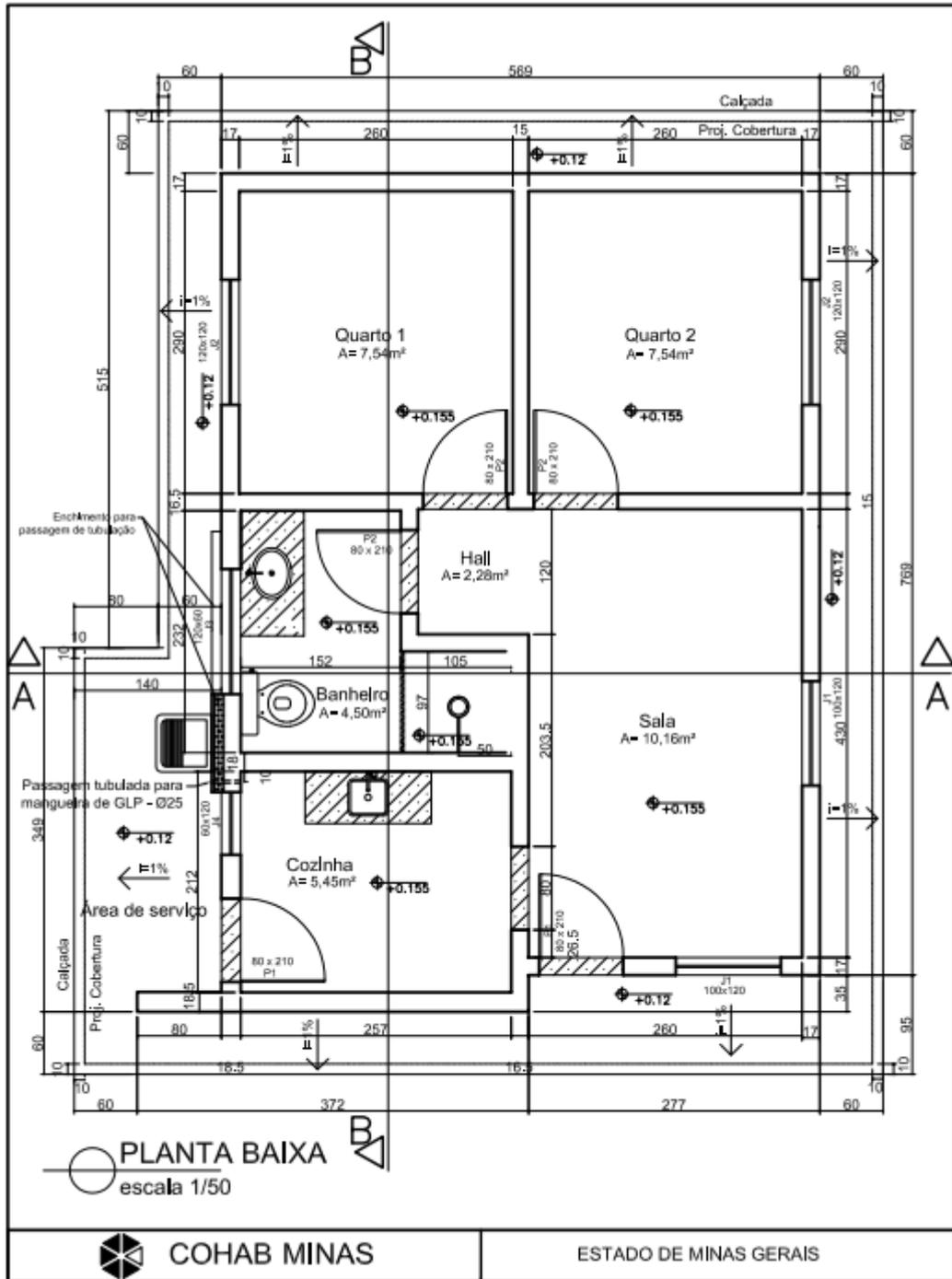


Origem da informação: Site na internet

Referência: <https://www.tudoconstrucao.com/wp-content/uploads/2015/07/Planta-baixa-para-Minha-Casa-Minha-Vida-22.jpg>. Área: 45,51 m²

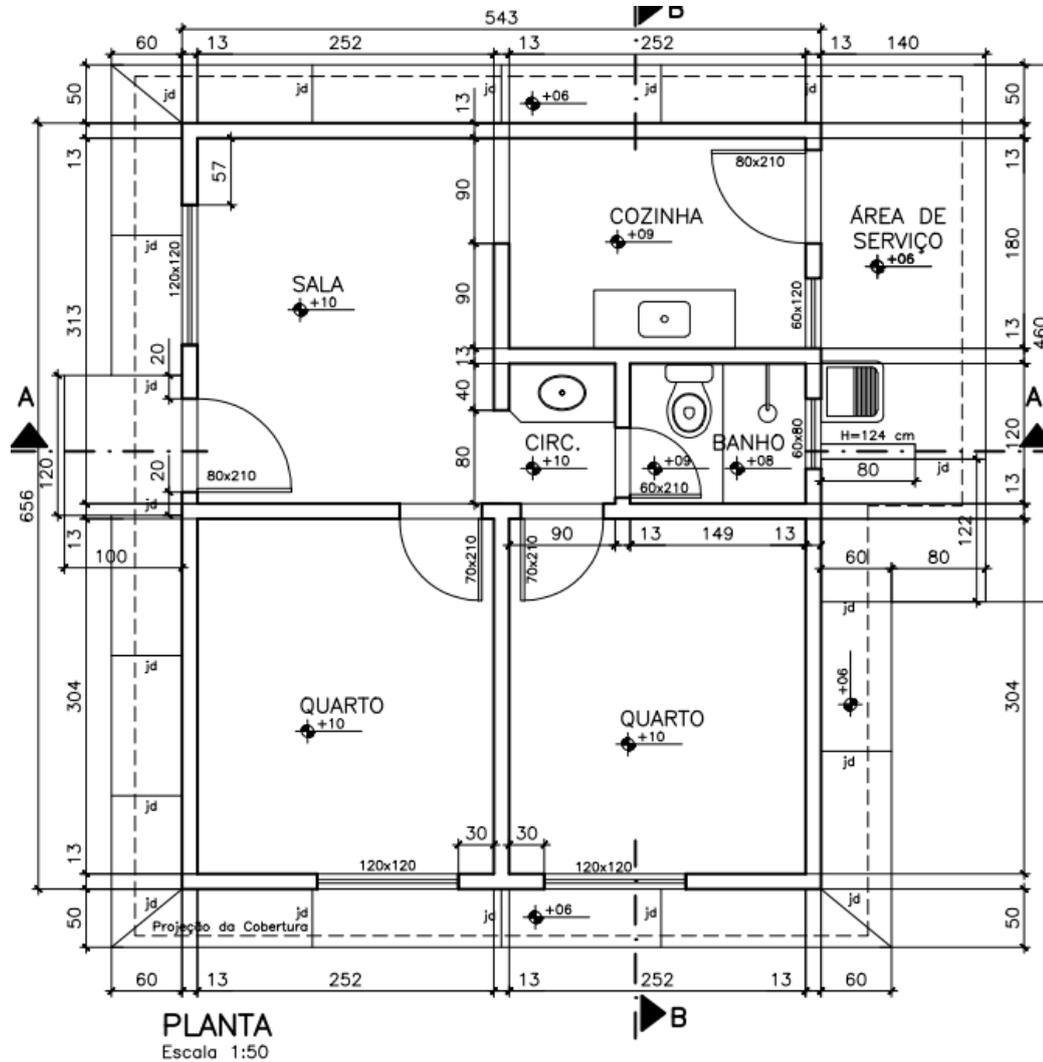


Origem da informação: Site na internet
 Referência: <http://www.cohab.mg.gov.br/wp-content/uploads/2019/06/MG-91-I-2-45-L-Arquitetonico-01-23.pdf>. Área: 44,78 m²



Origem da informação: Site na internet

Referência: http://www.cohab.mg.gov.br/wp-content/uploads/2013/07/80_arquitetonico. Área: 36,27 m²



OBSERVAÇÕES :

ÁREA DA CASA = 35,72 m²

ÁREA DE SERVIÇO = 2,20 m²

25% ÁREA SERVIÇO = 0,55 m²

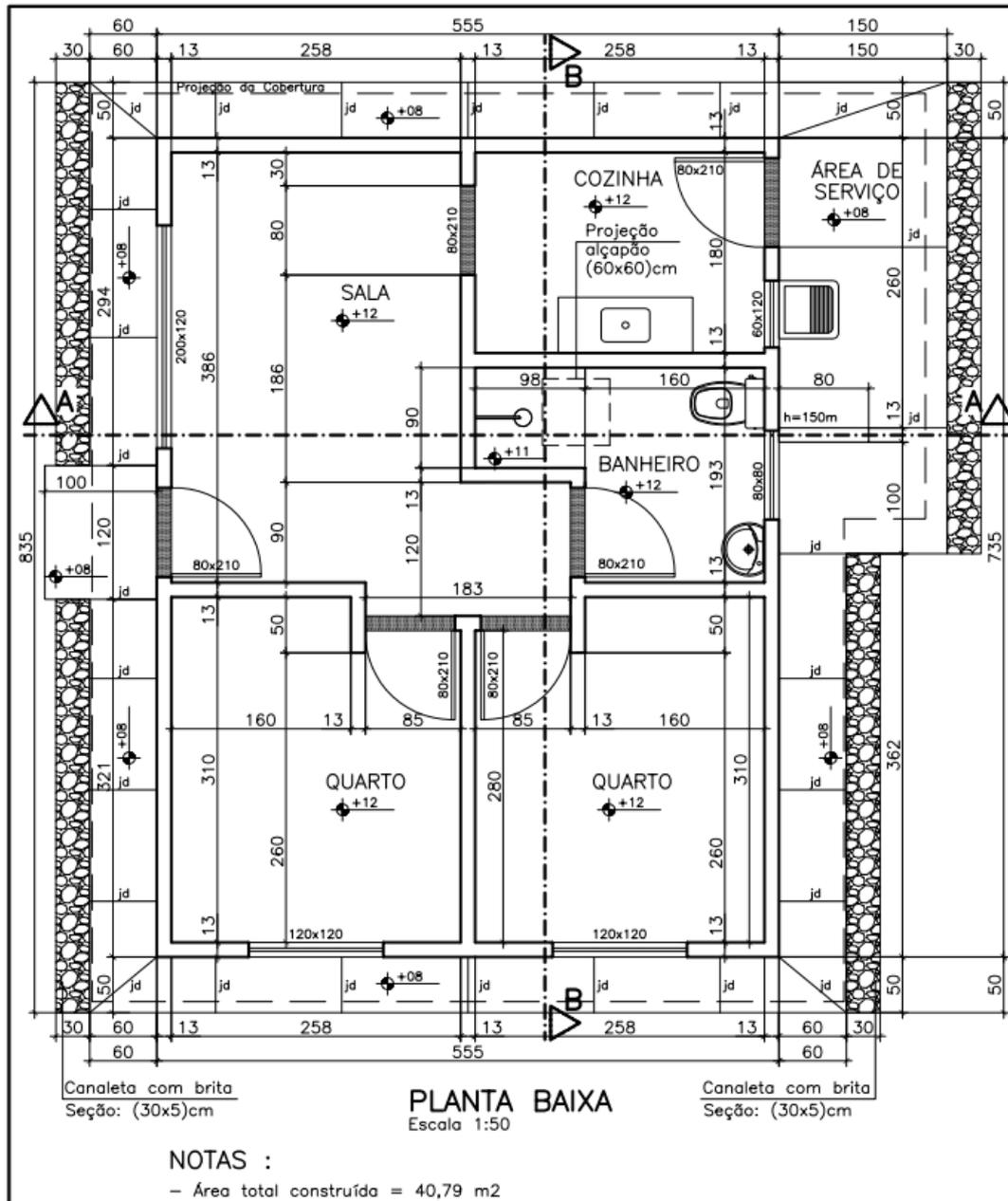
ÁREA TOTAL = 35,72 + 0,55 = 36,27 m²

APROVADO

Em: ___/___/___

Origem da informação: Site na internet

Referência: http://www.cohab.mg.gov.br/wp-content/uploads/2013/07/90_arquitetonico.pdf. Área: 40,79 m²

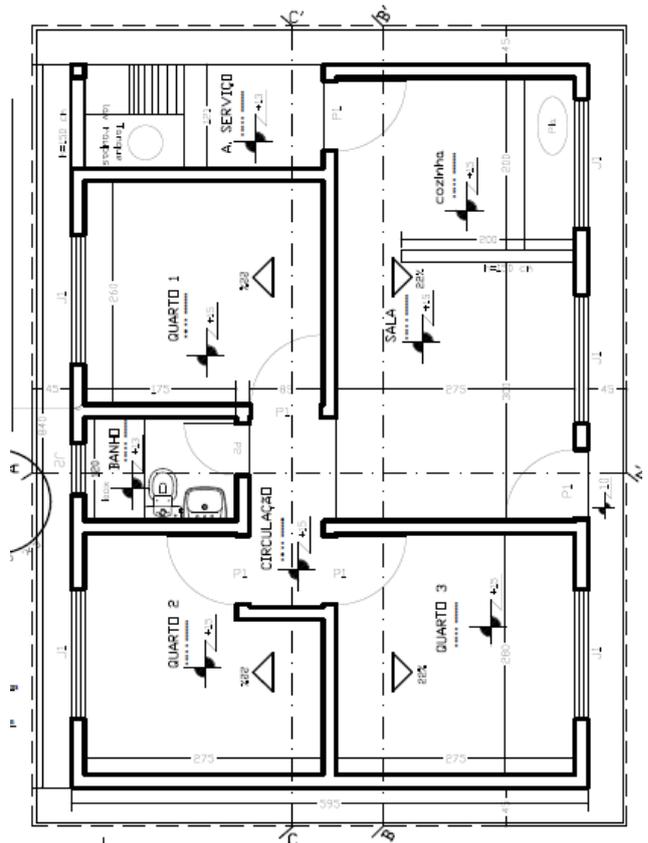
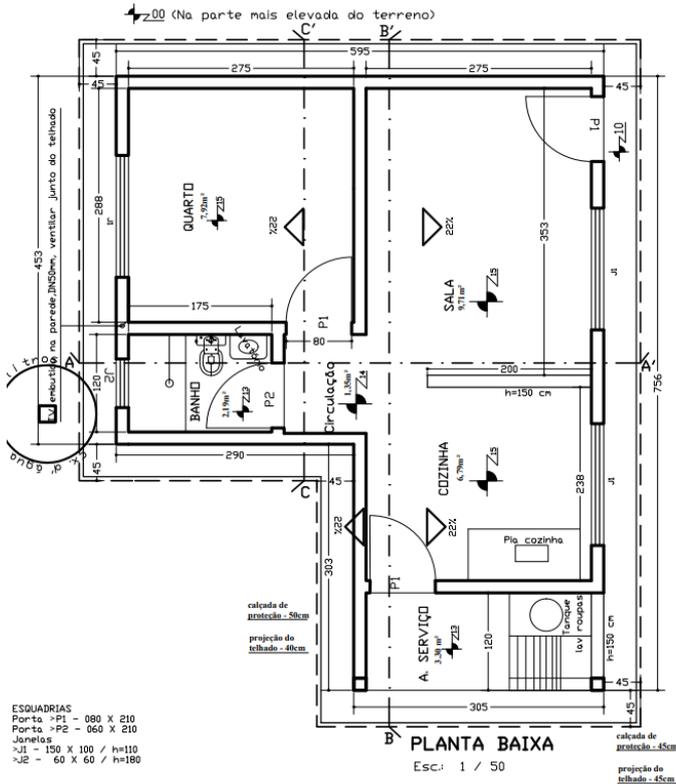


Origem da informação: Site na internet

Referência: <http://www.funasa.gov.br/modelo-de-projeto-basico-habitacao-de-1-quarto>. Área: 39,19 m²

Origem da informação: Site na internet

Referência: <http://www.funasa.gov.br/modelo-de-projeto-basico-habitacao-de-3-quartos>. Área: 44,76 m²

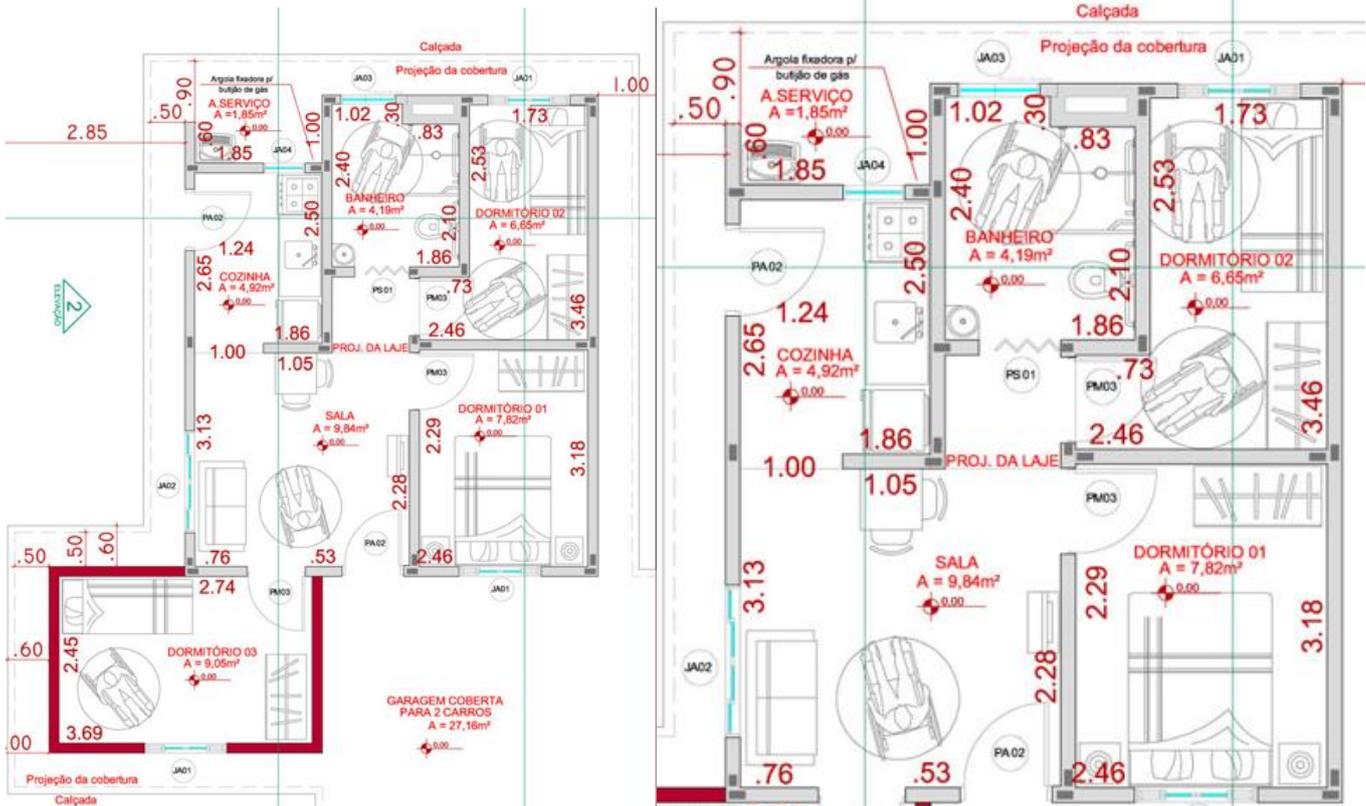


Origem da informação: Site na internet

Referência: <http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/plantas-pre-aprovadas-res-dep-jose-zavaglia.html>. Área: 53,48 m²

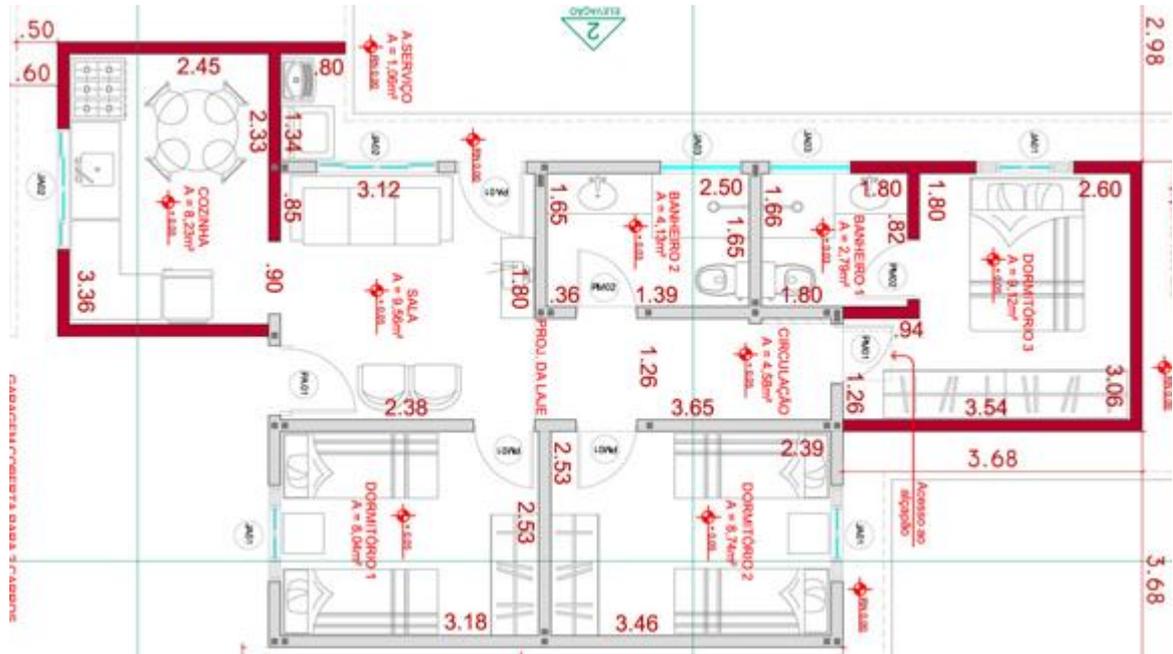
Origem da informação: Site na internet

Referência: <http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/plantas-pre-aprovadas-res-dep-jose-zavaglia.html>. Área: 42,56 m²



Origem da informação: Site na internet

Referência: <http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/plantas-pre-aprovadas-res-dep-jose-zavaglia.html>. Área: 65,75 m²

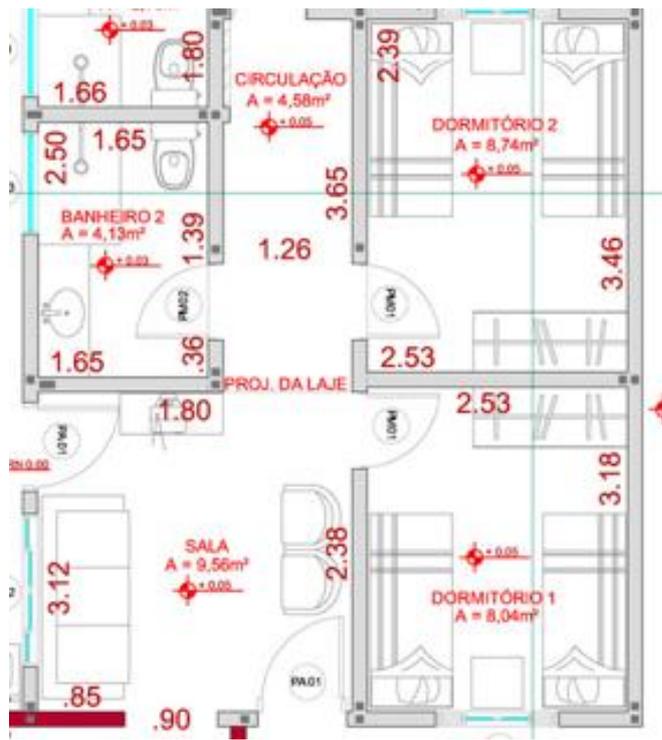


Origem da informação: Site na internet

Referência: <http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/plantas-pre-aprovadas-res-dep-jose-zavaglia.html>. Área: 42,56 m²

Origem da informação: Site na internet

Referência: <http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/plantas-pre-aprovadas-res-dep-jose-zavaglia.html>. Área: 54,84 m²

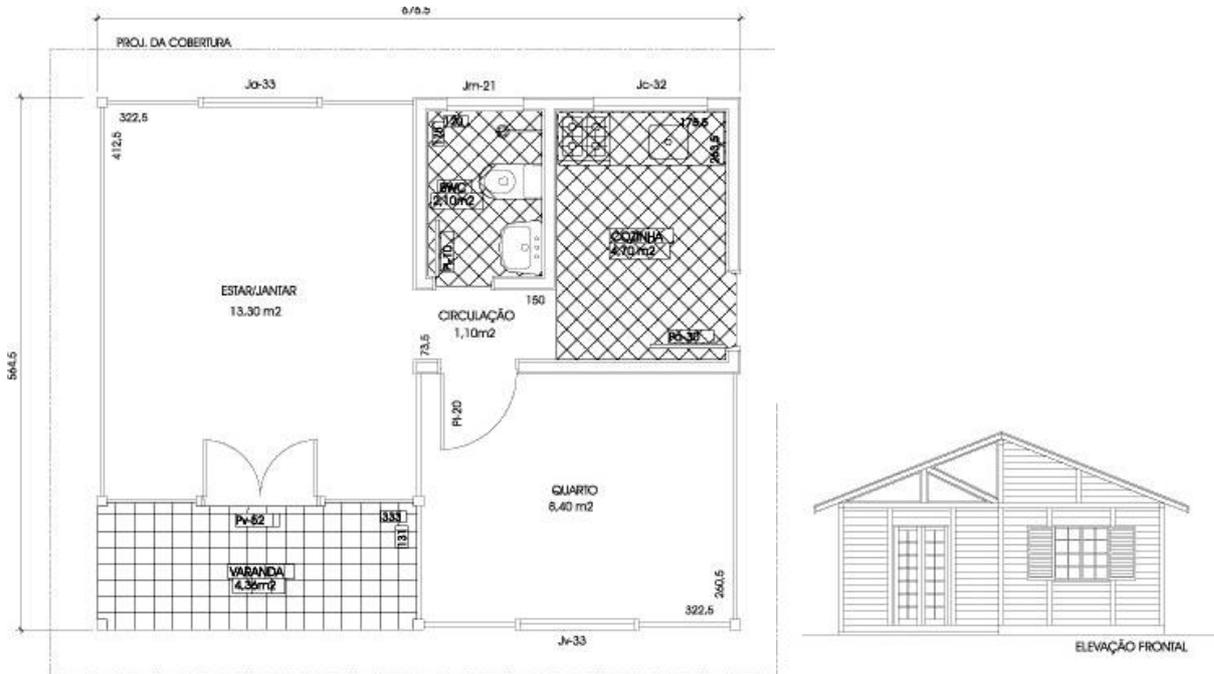


7. APÊNDICE B – PLANTAS BAIXAS DAS CASAS EM MADEIRA

Origem da informação: Site na internet

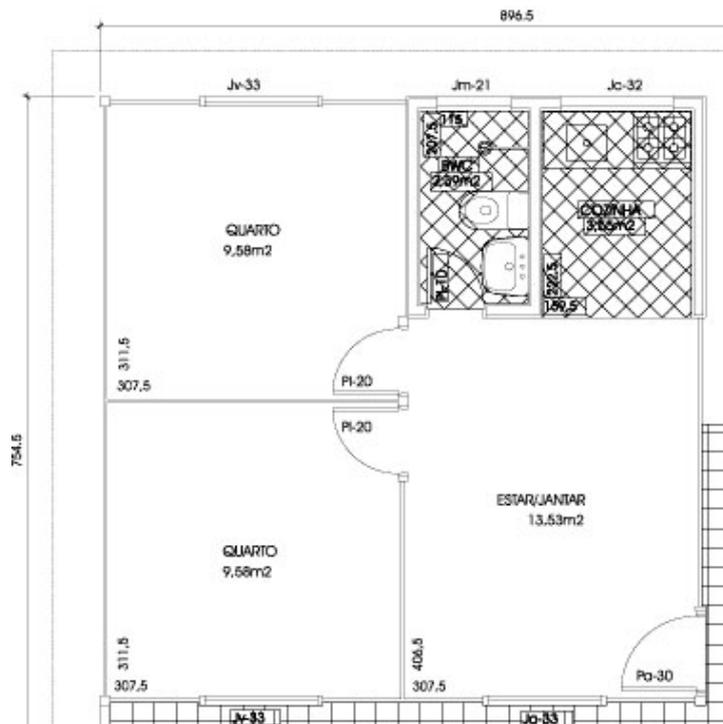
Referência <http://casasparana.com.br/modelos/m/parana-exportacao-3819-m%c2%b2>. Área: 27,9 m².

Observação: Descontado as áreas de varanda e áreas com paredes de alvenaria (banheiro e cozinha).



Origem da informação: Site na internet

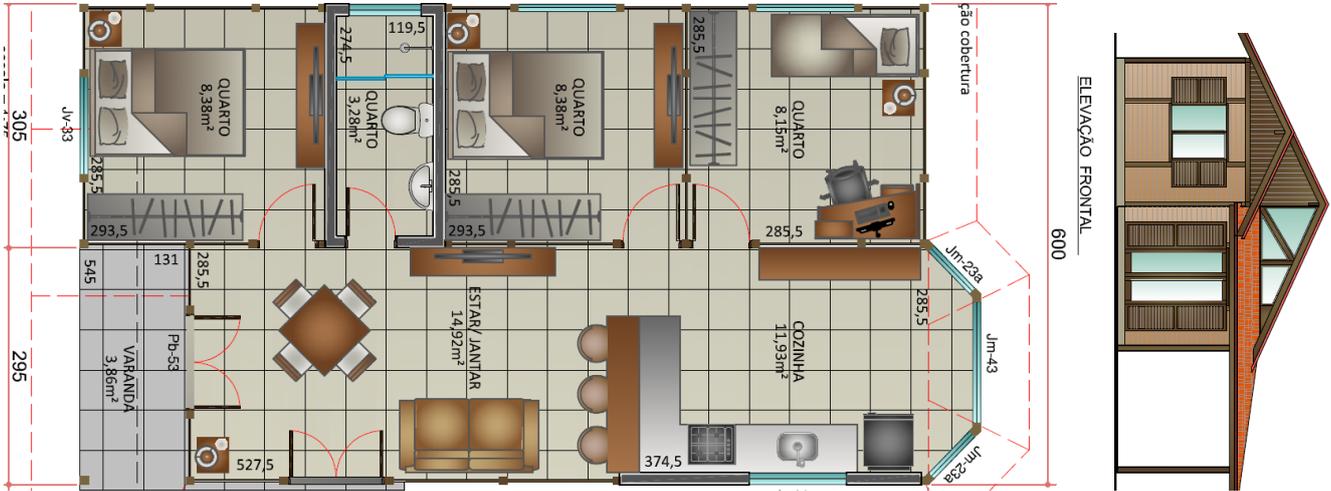
Referência: <http://casasparana.com.br/modelos/m/parana-exportacao-3819-m%c2%b2>. Área: 38,2 m². Observação: Descontado as áreas com paredes de alvenaria (banheiro e cozinha).



Origem da informação: Site na internet

Referência: <http://casasparana.com.br/modelos/m/parana-exportacao-7457-m%c2%b2>. Área: 55,04 m².

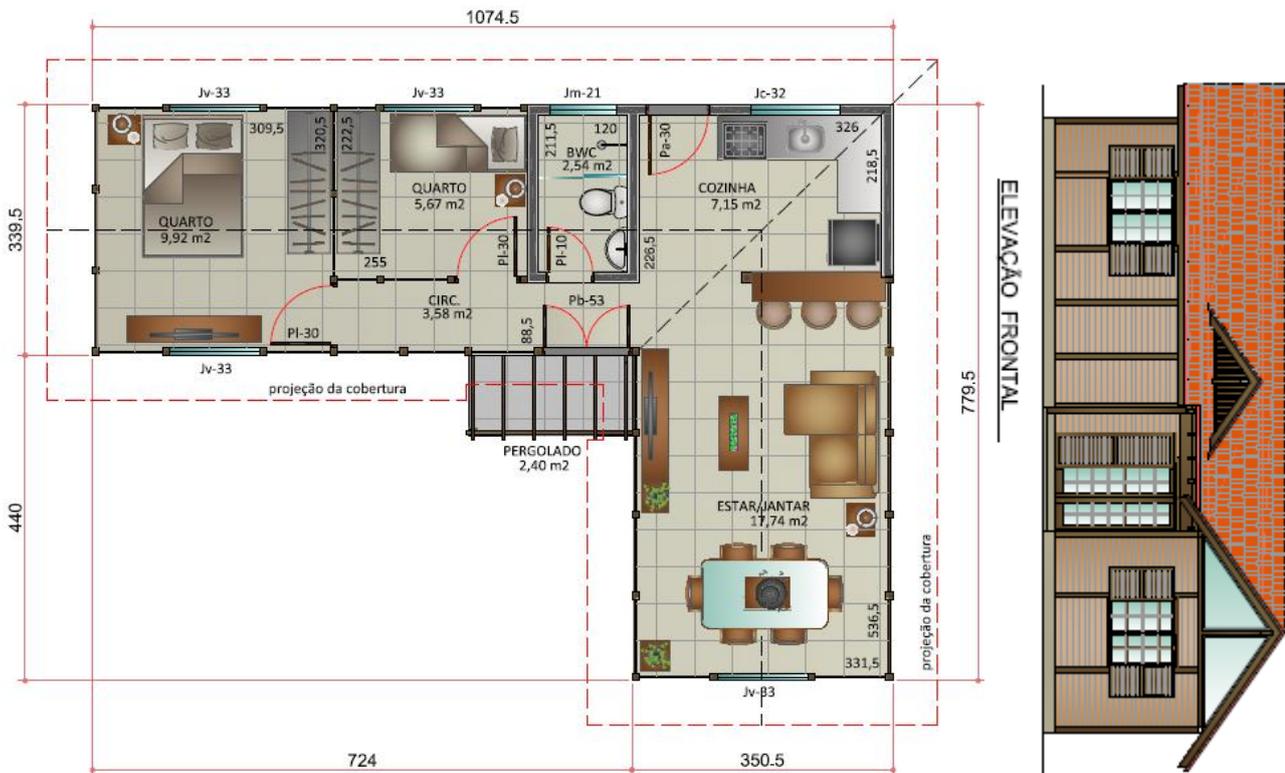
Observação: Descontado as áreas de varanda e áreas com paredes de alvenaria (banheiro e cozinha).



Origem da informação: Site na internet

Referência: <http://casasparana.com.br/modelos/m/parana-exportacao-5430-m%c2%b2>. Área: 46,60 m².

Observação: Descontado as áreas de varanda e áreas com paredes de alvenaria (banheiro e cozinha).



Origem da informação: Site na internet

Referência: <http://casasparana.com.br/modelos/m/parana-exportacao-8516-m%c2%b2>. Área: 73,90 m².

Observação: Descontado as áreas de varanda e áreas com paredes de alvenaria (banheiros, cozinha e área de serviço).



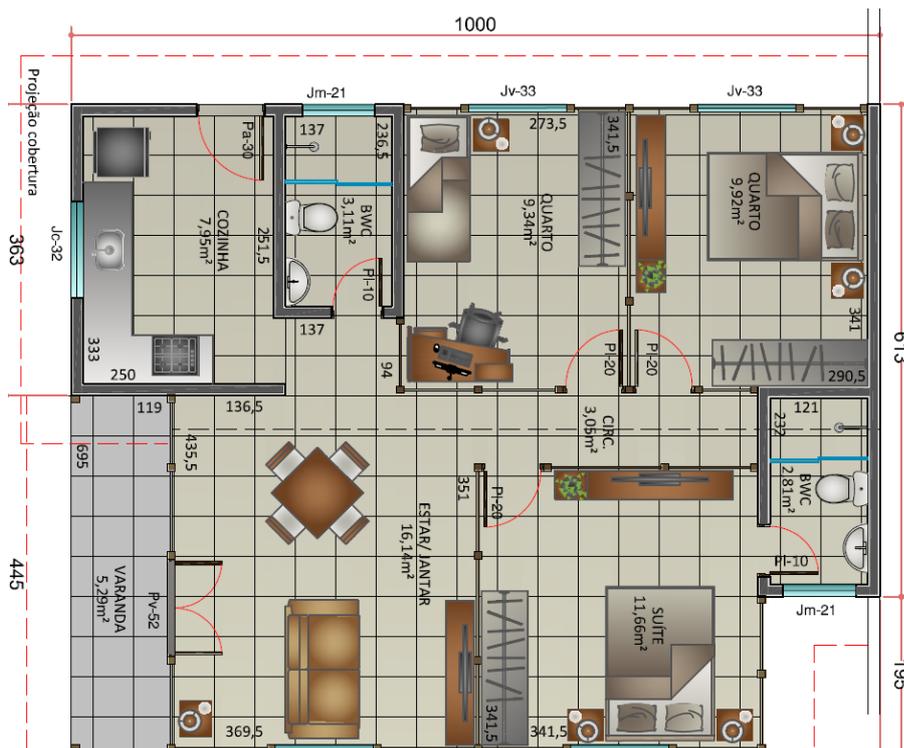
ELEVACÃO FRONTAL



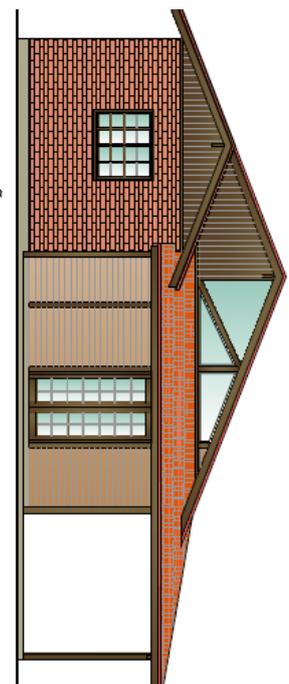
Origem da informação: Site na internet

Referência: <http://casasparana.com.br/modelos/m/parana-exportacao-9072-m%c2%b2>. Área: 63,39 m².

Observação: Descontado as áreas de varanda e áreas com paredes de alvenaria (banheiros e cozinha).



ELEVACÃO FRONTAL



Origem da informação: Site na internet

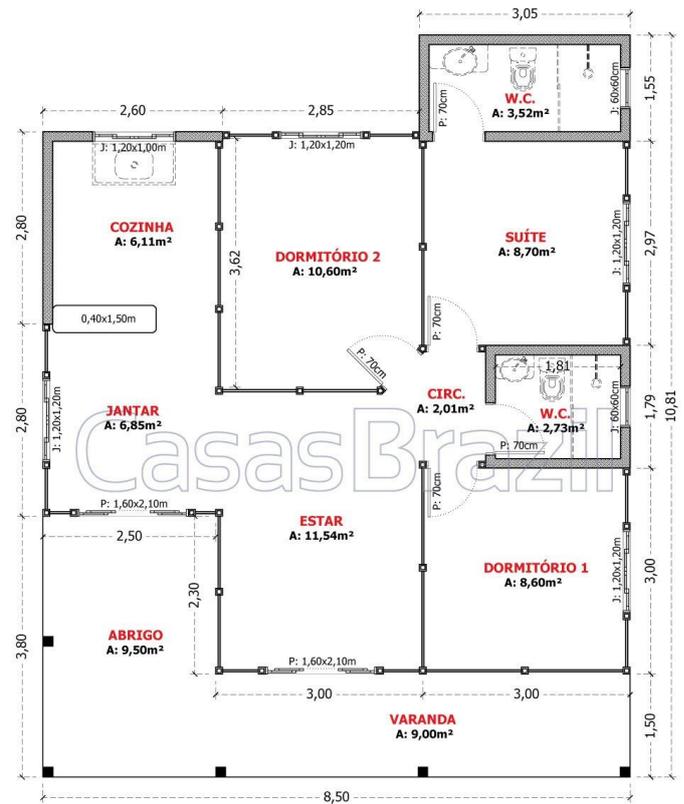
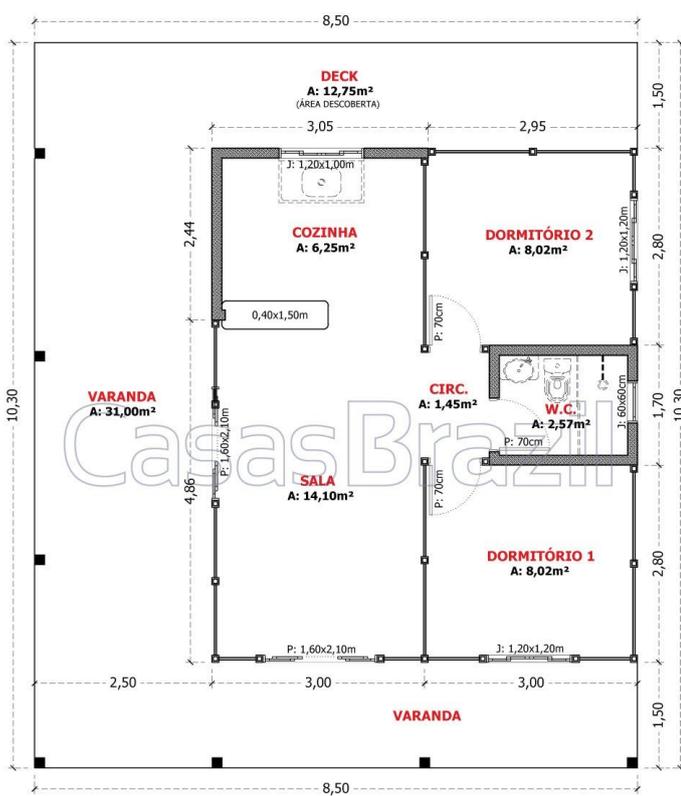
Referência: <https://www.casasbrazil.com.br/projetos/casa-amazonas-a/>. Área: 43,80 m².

Observação: Descontado as áreas de varanda e áreas com paredes de alvenaria (banheiros e cozinha).

Origem da informação: Site na internet

Referência: <https://www.casasbrazil.com.br/projetos/casa-amazonas-a/>. Área: 63,39 m².

Observação: Descontado as áreas de varanda e áreas com paredes de alvenaria (banheiros e cozinha).



Origem da informação: Site na internet

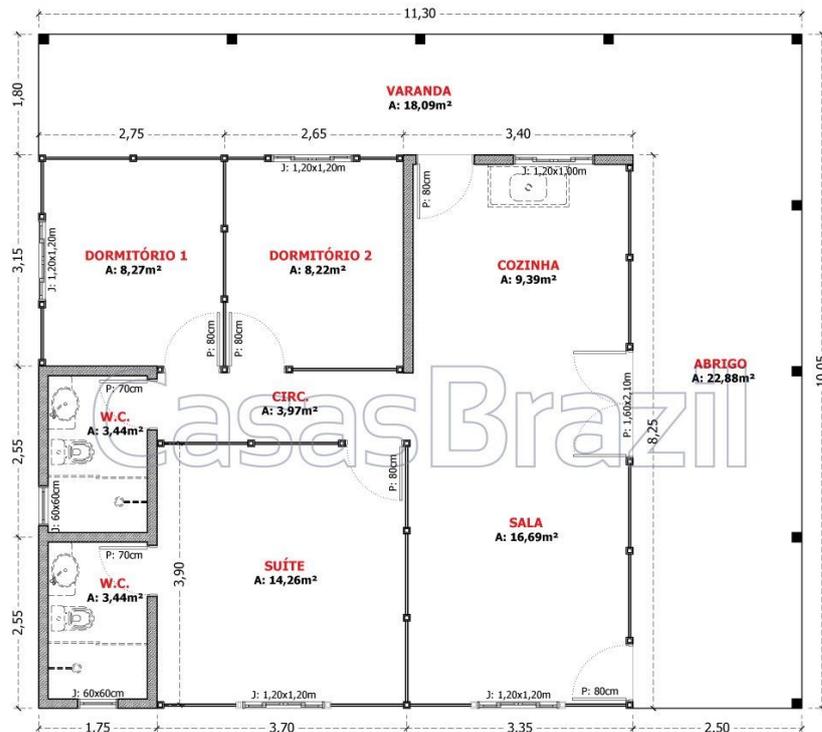
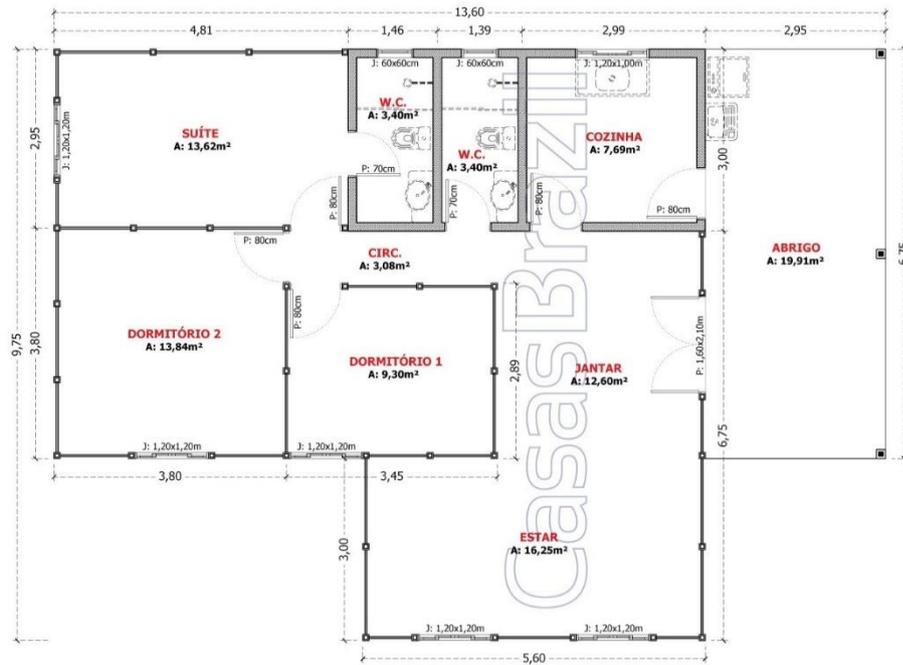
Referência: <https://www.casasbrazil.com.br/projetos/casa-brooklin/>. Área: 83,19 m².

Observação: Descontado as áreas de abrigo e áreas com paredes de alvenaria (banheiros e cozinha).

Origem da informação: Site na internet

Referência <https://www.casasbrazil.com.br/projetos/casa-carvalho/>. Área: 67,68 m².

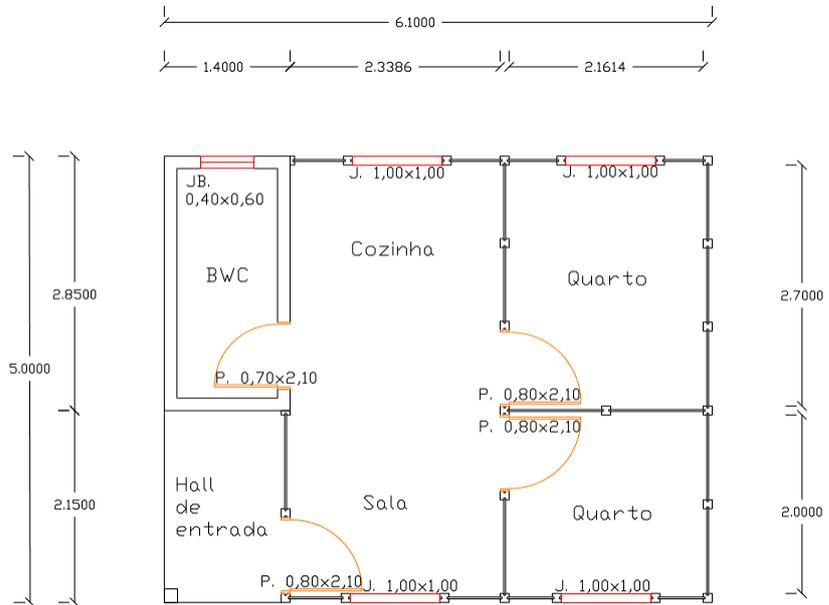
Observação: Descontado as áreas de abrigo e varanda e áreas com paredes de alvenaria (banheiros e cozinha).



Origem da informação: Site na internet

Referência: <https://minhacasaprefabricada.com.br/produto/modelo-tabuleiro-3000m%2b2/> . Área: 25,09 m².

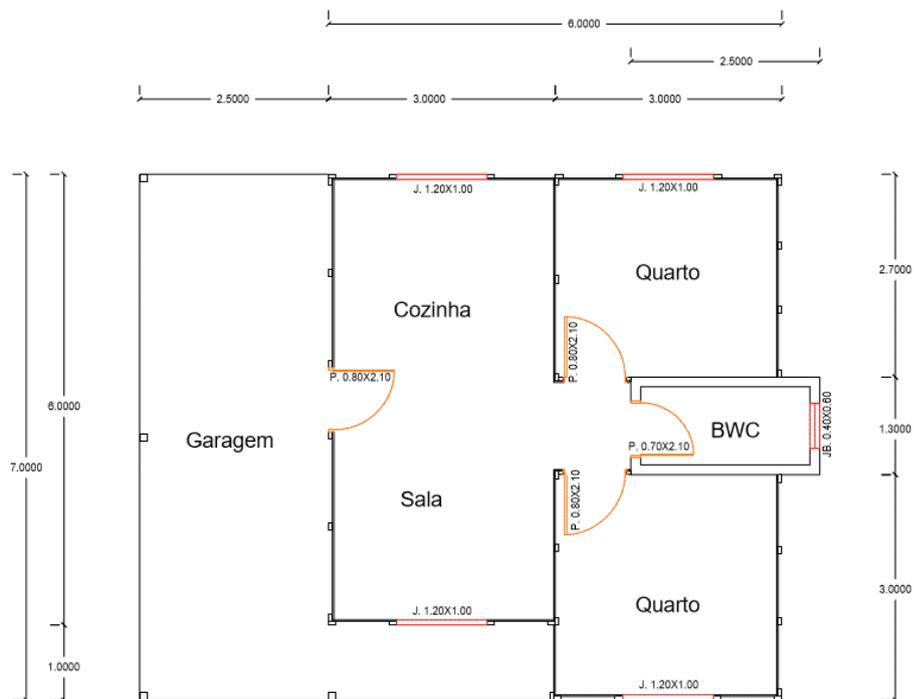
Observação: Descontado as áreas com paredes de alvenaria (banheiro).



Origem da informação: Site na internet

Referência: <https://minhacasaprefabricada.com.br/produto/modelo-pop-2-0-6015m%2b2/>. Área: 39,65 m².

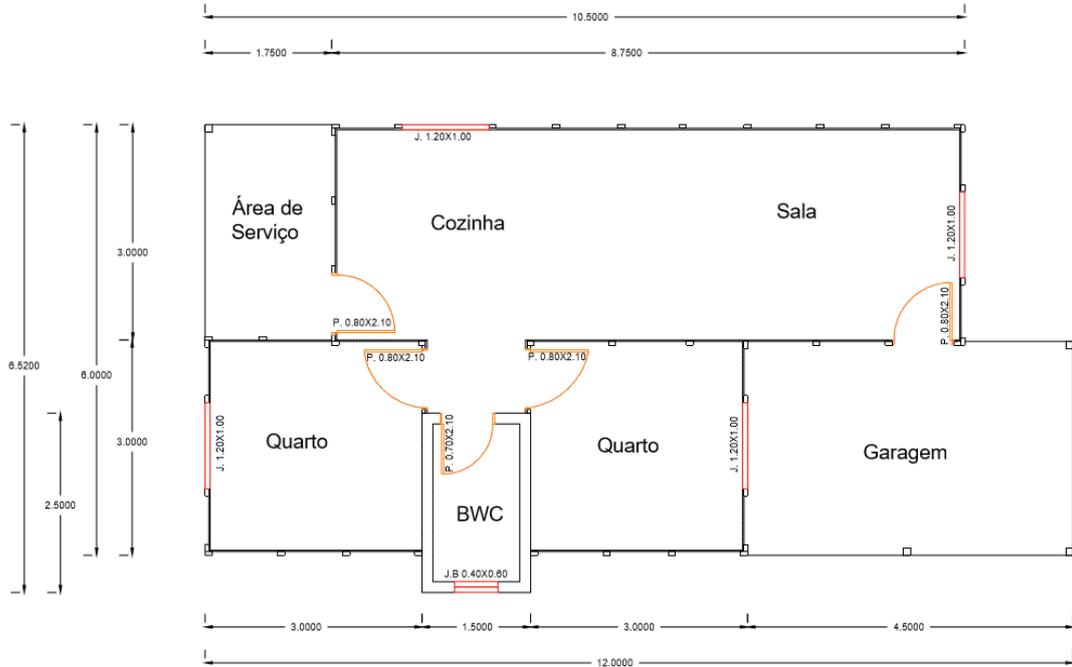
Observação: Descontado as áreas de garagem e com paredes de alvenaria (banheiro).



Origem da informação: Site na internet

Referência <https://minhacasaprefabricada.com.br/produto/modelo-pop-2-1-6825m%2b2/>. Área: 49,35 m².

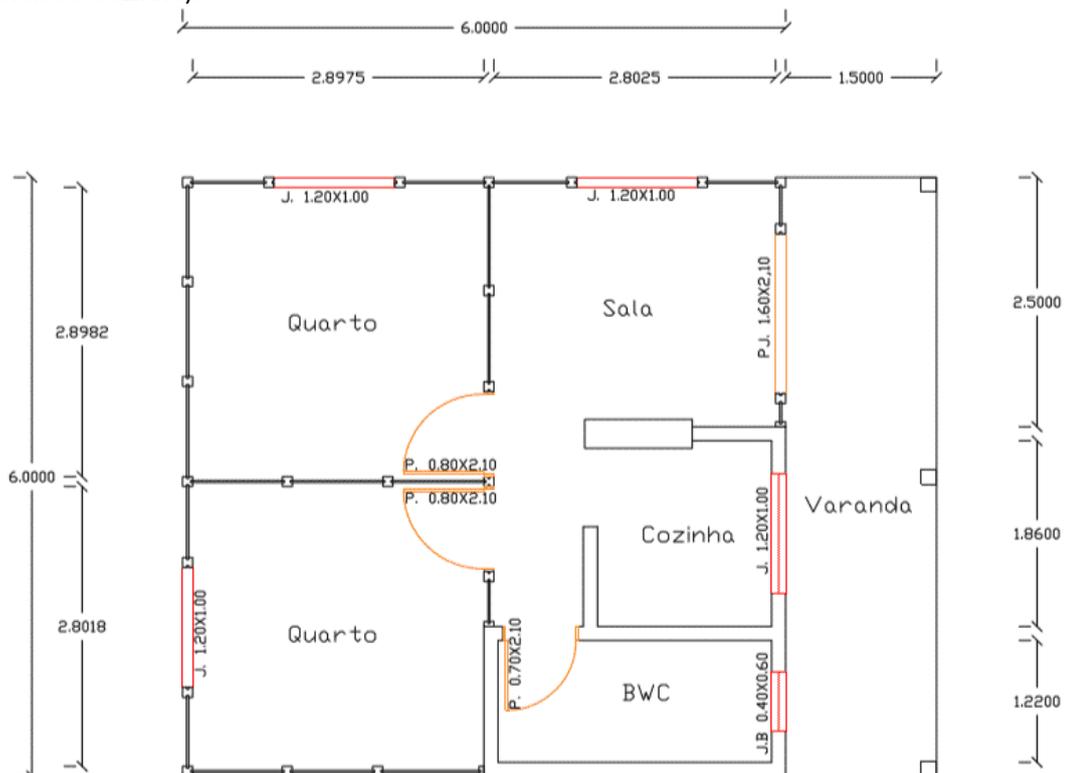
Observação: Descontado as áreas de garagem e áreas com paredes de alvenaria (banheiro).



Origem da informação: Site na internet

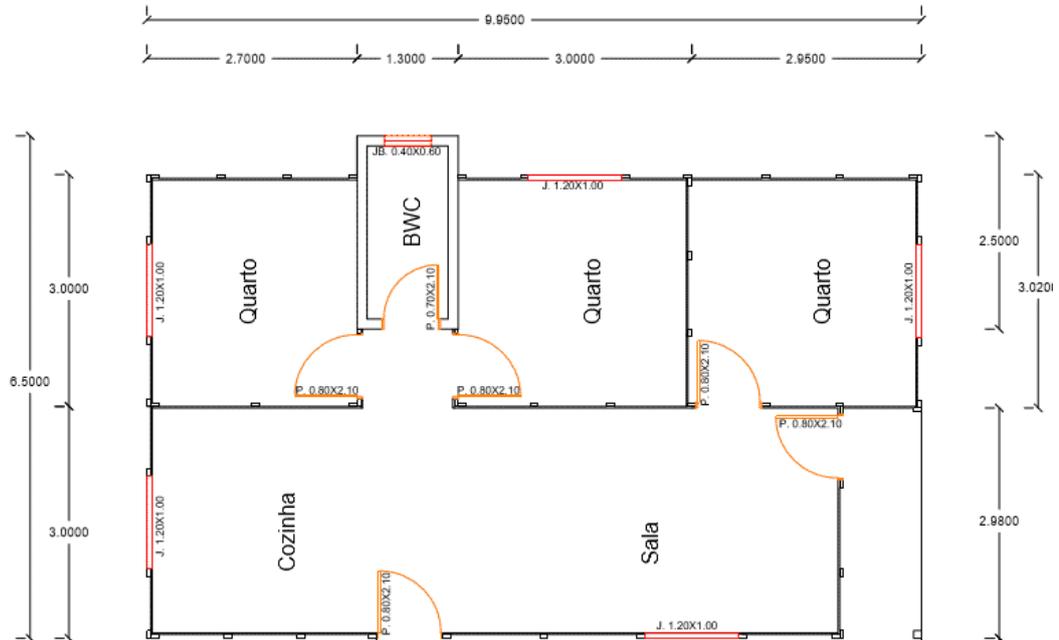
Referência <https://minhacasaprefabricada.com.br/produto/modelo-joinville-de-4500m%2b2/>.

Área: 33,83 m². Observação: Descontado as áreas de varanda e áreas com paredes de alvenaria (banheiro e cozinha).



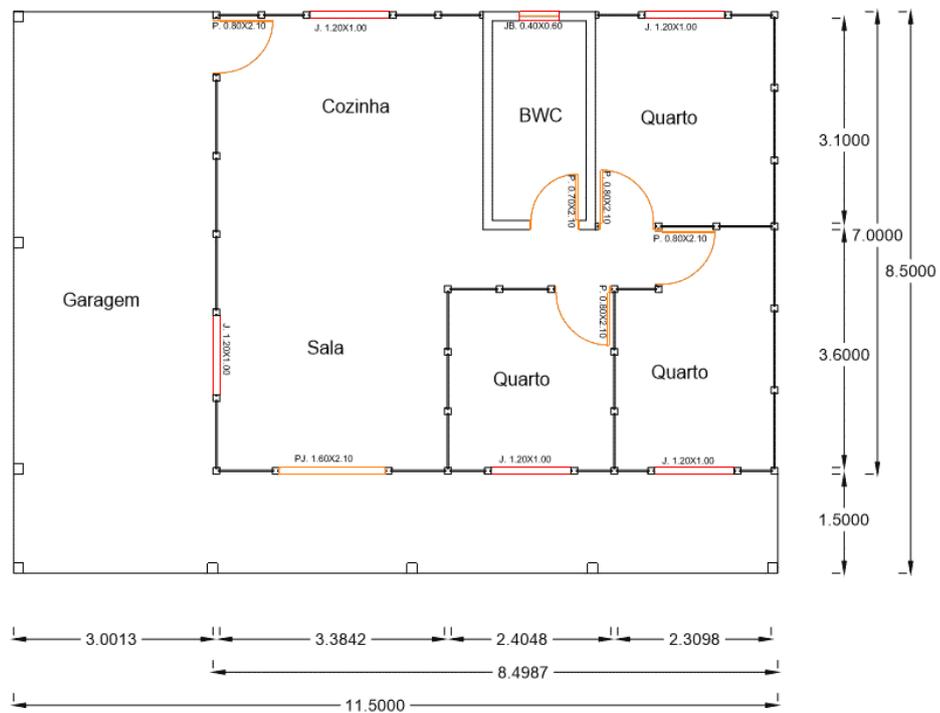
Origem da informação: Site na internet

Referência: <https://minhacasaprefabricada.com.br/produto/modelo-pop-3-0-7785m%c2%b2/>. Área: 61,42 m². Observação: Descontado as áreas de garagem e áreas com paredes de alvenaria (banheiro).



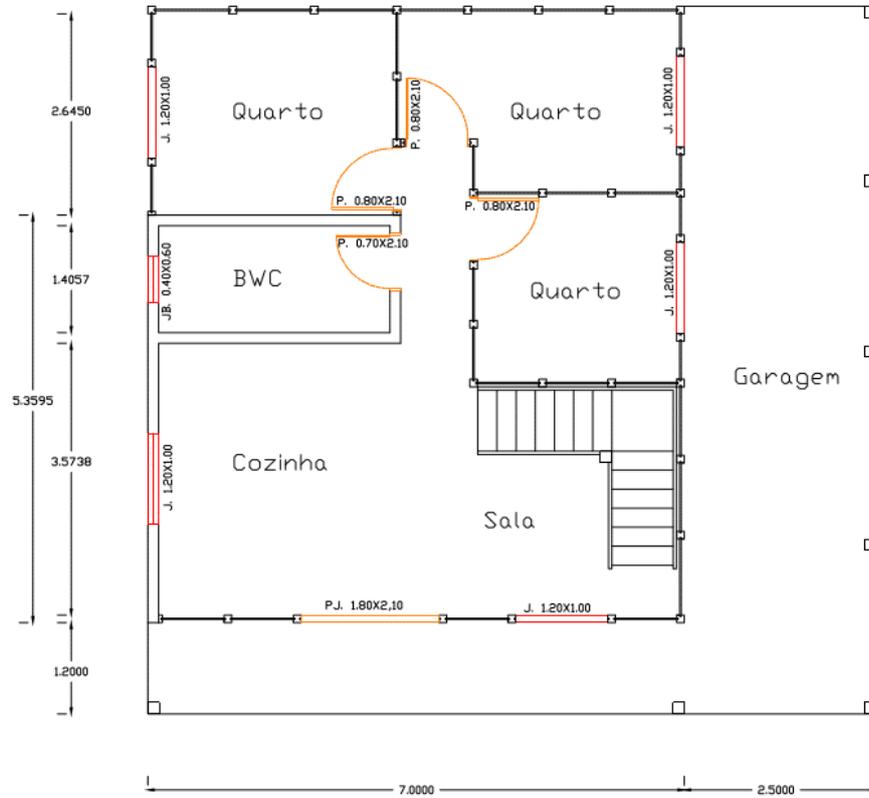
Origem da informação: Site na internet

Referência: <https://minhacasaprefabricada.com.br/produto/modelo-pop-3-2-11058m%c2%b2/>. Área: 55,6 m². Observação: Descontado as áreas de garagem e áreas com paredes de alvenaria (banheiro).



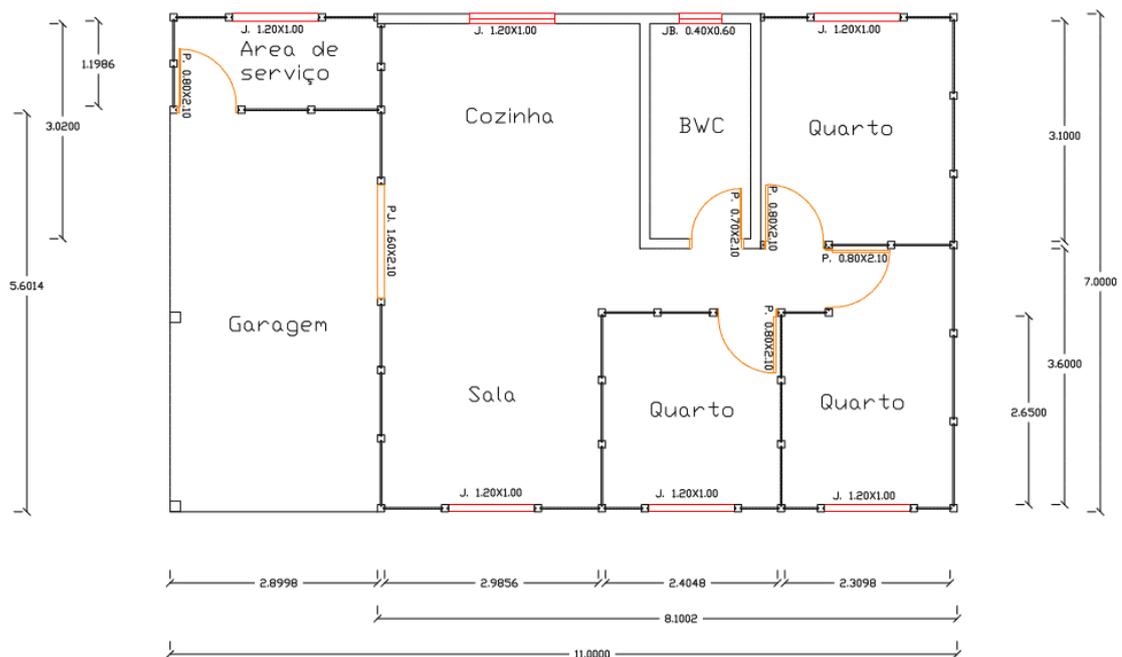
Origem da informação: Site na internet

Referência: <https://minhacasaprefabricada.com.br/produto/modelo-floripa-iii-9775m%c2%b2/>. Área: 48,79 m². Observação: Descontado as áreas de garagem e áreas com paredes de alvenaria (banheiro).



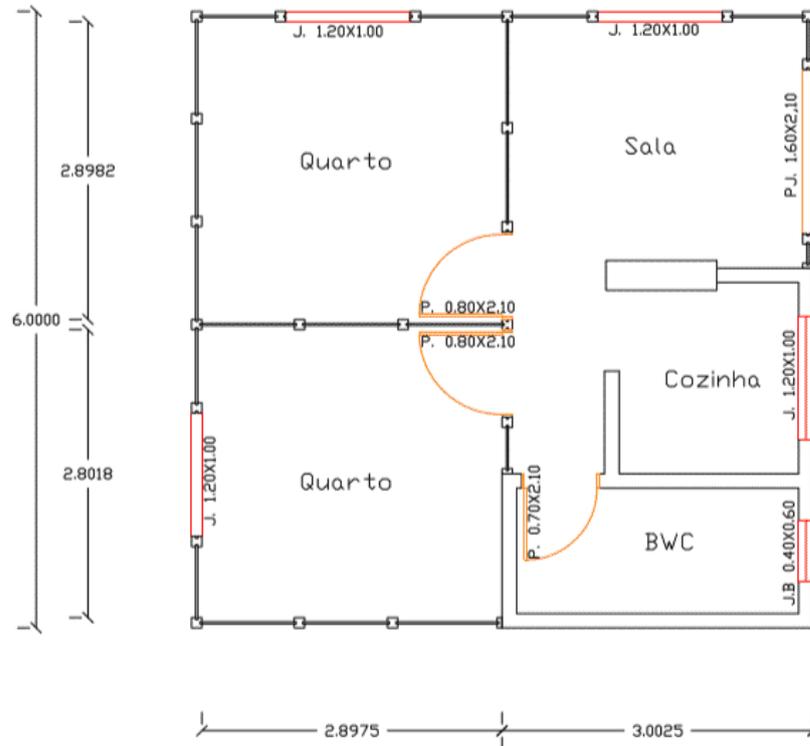
Origem da informação: Site na internet

Referência: <https://minhacasaprefabricada.com.br/produto/modelo-curitibanos-11041m%c2%b2/>. Área: 56,05 m². Observação: Descontado as áreas de garagem e áreas com paredes de alvenaria (banheiro).



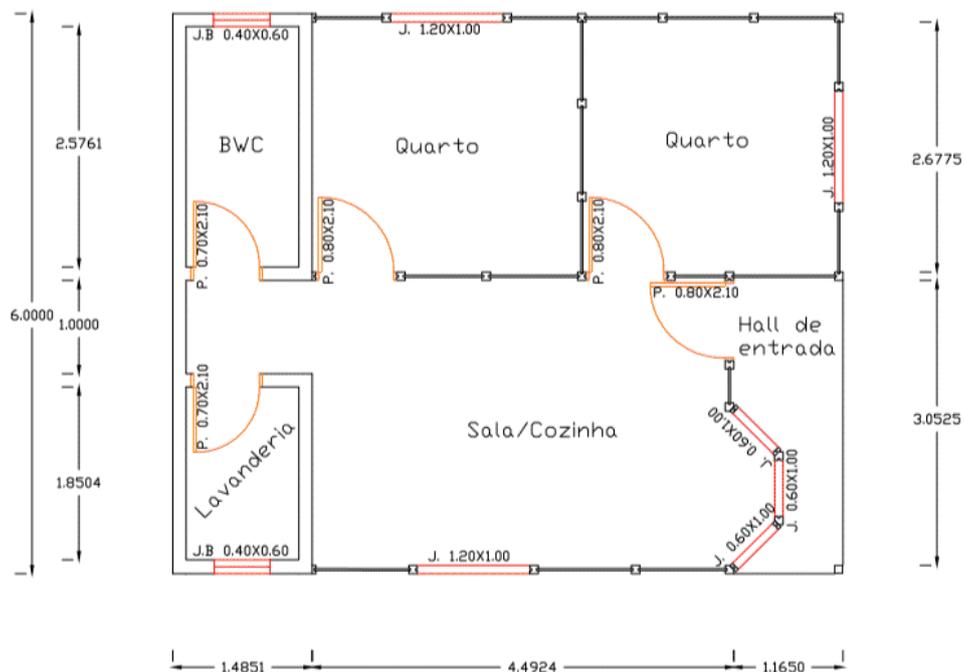
Origem da informação: Site na internet

Referência: <https://minhacasaprefabricada.com.br/produto/modelo-floripa-i-7700m%2b2/>. Área: 33,8 m². Observação: Descontado as áreas de varanda e áreas com paredes de alvenaria (banheiro e cozinha).



Origem da informação: Site na internet

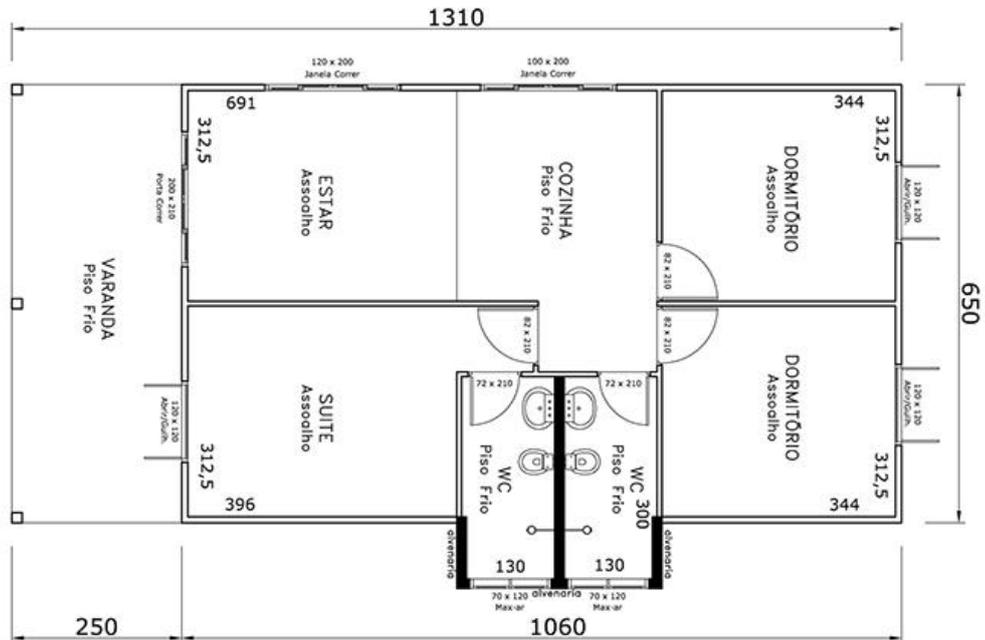
Referência: <https://minhacasaprefabricada.com.br/produto/modelo-joinville-de-4500m%2b2/>. Área: 42,8 m². Observação: Descontado as áreas com paredes de alvenaria (banheiro e lavanderia).



Origem da informação: Site na internet

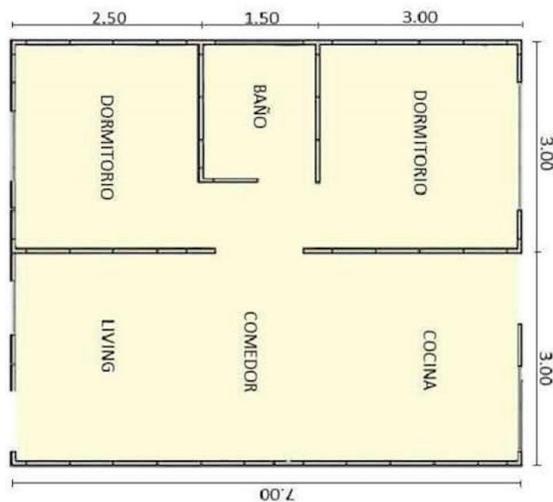
Referência: <https://minhacasaprefabricada.com.br/produto/modelo-blumenau-4200m%c2%b2/>. Área: 73,5 m².

Observação: Descontado as áreas de varanda e áreas com paredes de alvenaria (banheiros).



Origem da informação: Site na internet

Referência: <http://boncasa.com.br/casa-de-madeira-de-3-dormitorios.html>. Área: 42,0 m².



Origem da informação: Site na internet

Referência: <https://casaefesta.com/plantas-de-casa-de-madeira-5-modelos-para-construir/>. Área: 36,0 m².

Origem da informação: Site na internet

Referência: [https://casaefesta.com/plantas-de-casa-de-madeira-05-modelos-para-construir/](https://casaefesta.com/plantas-de-casa-de-madeira-5-modelos-para-construir/). Área: 84,0 m².

