

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**BRUNO VICTOR KOBISKI**

**CONTRIBUIÇÃO DE UMA EDIFICAÇÃO COMO RESERVATÓRIO DE CARBONO:  
UM ESTUDO DE CASO DO ESCRITÓRIO VERDE DA UTFPR**

**DISSERTAÇÃO**

**CURITIBA**

**2014**

**BRUNO VICTOR KOBISKI**

**CONTRIBUIÇÃO DE UMA EDIFICAÇÃO COMO RESERVATÓRIO DE CARBONO:  
UM ESTUDO DE CASO DO ESCRITÓRIO VERDE DA UTFPR**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisição parcial para a obtenção do título de “Mestre em Engenharia Civil”.

Orientador: Prof. Dr. Eloy Fassi Casagrande Junior

**CURITIBA**

**2014**

---

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**

---

K75c      Kobiski, Bruno Victor  
2013      Contribuição de uma edificação como reservatório de  
            carbono : um estudo de caso do Escritório Verde da UTFPR /  
            Bruno Victor Kobiski.-- 2013.  
            82 f.: il.; 30 cm

            Texto em português, com resumo em inglês.  
            Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Civil, Curitiba, 2013.  
            Bibliografia: f. 73-79.

            1. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Escritório  
Verde - Estudo de casos. 2. Desenvolvimento sustentável.  
3. Construção civil - Aspectos ambientais. 4. Dióxido  
de carbono - Aspectos ambientais. 5. Ciclo do carbono  
(Biogeoquímica). 6. Gases estufa - Medição. 7. Engenharia  
civil - Dissertações. I. Casagrande Júnior, Eloy Fassi, orient.  
II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Programa  
de Pós-graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDD 22 -- 624



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação – Câmpus Curitiba  
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Civil



## TERMO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO N.º 40

### CONTRIBUIÇÃO DE UMA EDIFICAÇÃO COMO RESERVATÓRIO DE CARBONO: UM ESTUDO DE CASO DO ESCRITÓRIO VERDE DA UTFPR.

POR

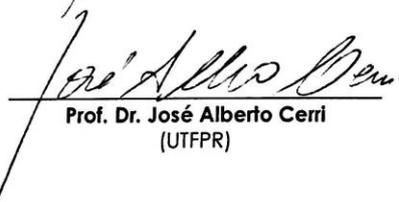
**BRUNO VICTOR KOBISKI**

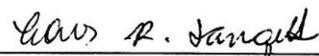
Esta dissertação foi apresentada às 09:00 do dia 20 de fevereiro de 2014, como requisito parcial para a obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL**, área de Meio Ambiente, Linha de pesquisa Sustentabilidade e Recursos Hídricos, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. O Candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO

(aprovado / reprovado)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Eloy Fassil Casagrande Junior  
(Orientador - UTFPR)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Sergio Fernando Tavares  
(UTPR)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Alberto Cerri  
(UTFPR)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta  
(UFPR)

Visto da Coordenação:

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Ronaldo Luis dos Santos Izzo  
Coordenador do PPGE

Avenida Deputado Heitor Alencar Furtado, 4900  
Curitiba/PR - Sede Ecoville CEP 81280-340  
Fone: (41) 3279-4578  
<http://www.ppgec.dacoc.ct.utfpr.edu.br>

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais pelo incentivo sempre presente, educação e amor incondicional, sem os quais não seria possível encarar um desafio como o mestrado. Ao meu pai por todo apoio dado e por todos os puxões de orelha, e tapas enquanto eu ainda era um menino. À minha mãe por todos os quitutes e palavras sábias de alumbramento em momentos difíceis.

Aos meus colegas, sempre presentes no Escritório Verde, que proporcionaram uma convivência tranquila e amigável no ambiente de estudo e de trabalho.

Muito importante foi meu casal de pais adotivos Líbia e Eloy (este último que também é meu orientador e amigo), que contribuíram e continuarão contribuindo em muito com meu desenvolvimento pessoal e acadêmico.

Agradeço ao Professor de matemática Marcus que foi o grande ator responsável por despertar em mim o sonho de ser um pesquisador ainda em minha infância.

Agradeço também ao meu querido irmão Gabriel Kobiski, que teve a paciência de me emprestar seu computador tantas vezes.

Aos Professores Carlos Roberto Sanquetta, Sérgio Tavares e José Alberto Cerri, por contribuírem decisivamente para a realização do trabalho de uma forma cientificamente mais concisa.

Aos meus amigos Bruno Cezar Karam e Sinara Cordeiro por fazerem parte dos momentos pré-apresentação, corrigindo erros, revisando a dissertação e me ouvindo apresentar via Skype.

Um grande agradecimento ao menino Thiago (in memoriam), meu grande amigo e parceiro de aventuras, que me proporcionou uma grande sabedoria em vida e cuja voz cantante e habilidade com o violão jamais serão esquecidas.

Por fim, agradeço às empresas parceiras do projeto do Escritório Verde, que possibilitaram a idealização deste trabalho ao doarem materiais e mão de obra, acreditando em um futuro com menor descaso com o meio ambiente.

A todos vocês o meu muito obrigado!

*Veni, vidi, vici*  
*Gaius Julius Caesar, 47 a.C*

## RESUMO

KOBISKI, Bruno Victor. Contribuição de uma edificação como reservatório de carbono: um estudo de caso do Escritório Verde da UTFPR. 2013 Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013

Nos dias de hoje, a presença do homem no planeta terra traz estatísticas alarmantes no que tange os impactos ambientais causados para suprir suas necessidades. Esta pesquisa se preocupou em realizar um levantamento de emissões de CO<sub>2</sub> de alguns materiais que foram considerados dentro do Escritório Verde da UTFPR por meio da análise do ciclo de vida energético, assim como a quantidade de carbono estocada nestes materiais de forma a descontar as emissões de CO<sub>2</sub> do carbono estocado. O valor obtido foi comparado a duas tipologias florestais. Uma se configura na floresta ombrófila mista montana e outra, um povoamento de *Pinus taeda*. Os materiais analisados foram 6: madeira plástica utilizada no deck e também no pergolado; estrutura *WoodFraming* formada por painéis de *Oriented Strand Board* – OSB, montantes de *Pinus taeda* e vigas “1” em *Pinus taeda*; janelas de *Eucalyptus urograndis*; e uma escada feita com restos de madeira de *Erismia ucinatum* (cedrinho). Os dados obtidos foram ajustados de forma a permitir a equivalência em área do carbono real estocado com as fitofisionomias. Os resultados mostraram que o Escritório Verde pode equivaler a 555,85 metros quadrados de área quando se compara ao carbono estocado na floresta ombrófila mista e a 706,16 metros quadrados de área quando o objeto da comparação é o povoamento de *Pinus taeda*. Dificuldades como a falta de dados e a falta de processos de controle que possibilitem a obtenção dos mesmos foram verificadas como sendo presentes. Esta pesquisa concluiu que o estoque de carbono real pode ser admitido como critério de sustentabilidade para a tomada de decisões dentro da construção civil na medida em que as preocupações com a questão ambiental aumentam.

**Palavras-Chave:** Sustentabilidade, Estoque real de carbono, Sustentabilidade na construção civil, Balanço de carbono

## ABSTRACT

KOBISKI, Bruno Victor. Contribution of a building as a carbon sink: a case study of the UTFPR Green Office. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013

Nowadays, the humanity presence on the planet Earth brings alarming statistics regarding the environmental impacts associated with its needs. This research aimed to conduct a survey in CO<sub>2</sub> emissions of some materials that were considered in the Green Office UTFPR by analyzing the partial energy life cycle, as well as the amount of carbon stored in these materials in order to subtract CO<sub>2</sub> emissions from these values. Obtained values were compared to two forest types. One configures the Araucaria forest and other, a *Pinus taeda* plantation. Six materials were analyzed: Plastic-wood used on the deck and also on the pergola; Wood framing structure formed by panels of Oriented Strand Board, *Pinus taeda studs* and "I" beams also in *Pinus taeda*, windows in *Eucalyptus urograndis*; and a staircase made of *Erismacynatum* wood. The data were adjusted to allow the equivalence of the real carbon stored in vegetation types area. The results showed that the Green Office can equate to 555.85 square meters when compared to the carbon stored in the Araucaria forest and 706.16 square meters when the object of comparison is the plantation of *Pinus taeda*. Difficulties such as the lack of data and lack of processes control that can give support to such datas were verified as being present. This research concluded that the real carbon stock can be admitted as sustainability criteria for decision taking in civil construction as the cares about the environment increase.

**KeyWords:** Sustainability, Real carbon stock, Sustainability in civil construction, carbon balance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tripé da sustentabilidade .....	21
Figura 2 – Relações de Sustentabilidade e Arquitetura .....	24
Figura 3 – Aumento da média de temperatura em continentes.....	28
Figura 4 – Ciclo do Carbono, Estoques (Gt C) e fluxos (Gt/ano).....	30
Figura 5 – Esquema simplificado de Fotossíntese .....	31
Figura 6 - Localização da área de estudo das plantações de <i>Pinus Spp.</i> .....	32
Figura 7 - Vista geral do Escritório Verde.....	35
Figura 8 - Vista interna do Escritório Verde.....	35
Figura 9 - Fases e subconjuntos de análise dentro de uma análise de ciclo de vida na construção civil. Adaptado de MONAHAN & POWELL (2011).....	42
Figura 10 – Estrutura básica do trabalho .....	50
Figura 11 - Escada construída com sobras de <i>Erismia ucinatum</i> .....	55
Figura 12 – Parede demonstrativa da estrutura interna. Painéis OSB e montantes em <i>Pinus taeda</i> .....	55
Figura 13 – Parede demonstrativa da estrutura externa. Painéis OSB e montantes em <i>Pinus taeda</i> .....	56
Figura 14 - Janela em <i>Eucalyptus urograndis</i> .....	56
Figura 15 - Deck em madeira plástica na entrada dos fundos do Escritório Verde ...	57
Figura 16 - Deck em Madeira Plastica na entrada frontal do Escritório Verde .....	57
Figura 17 – Carbono estocado nos materiais analisados.....	67
Figura 18 – Estoque de carbono relativo.....	68
Figura 19 - Carbono orgânico (Mg.ha <sup>-1</sup> ) na Floresta Ombrófila Mista Montana. ....	73
Figura 20 - Carbono orgânico (t.ha <sup>-1</sup> ) em povoamento de <i>Pinus taeda</i> .....	73
Figura 21 - Carbono real estocado (t) nos materiais analisados no Escritório Verde	74
Figura 22 - Balanço de CO <sub>2</sub> .....	75
Figura 23 - Comparação do Estoque de Carbono.....	76

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Razões para sustentabilidade nas construções .....	23
Quadro 2 – Energia embutida nos materiais .....	52
Quadro 3 – Consumo primário de energia por fonte (%MJ).....	53
Quadro 4 – Emissão de CO <sub>2</sub> por fonte .....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características dos modelos de pensamento e valores .....	22
Tabela 2 - Importância das estratégias de redução de GEE .....	44
Tabela 3 – Carbono Orgânico Arbóreo( $t.ha^{-1}$ ) em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> com diferentes idades em General Carneiro, PR.....	60
Tabela 4 - Carbono Orgânico no Sub-bosque e na Serapilheira Acumulada ( $t.ha^{-1}$ ) em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> com diferentes idades em General Carneiro , PR	60
Tabela 5 - Carbono orgânico arbóreo na Floresta Ombrófila Mista Montana ( $t.ha^{-1}$ ) em General Carneiro , PR.....	62
Tabela 6 - Carbono orgânico ( $t.ha^{-1}$ ) no Sub-bosque e na Serapilheira Acumulada na Floresta Ombrófila Mista Montana em General Carneiro, PR .....	63
Tabela 7 – Teores de carbono por espécie.....	66
Tabela 8 – Quantidades de material utilizado e densidades respectivas. ....	66
Tabela 9 – Estoque de carbono e abatimento de $CO_2$ nos materiais utilizados. ....	67
Tabela 10 - Valores de energia embutida para diferentes materiais lenhosos .....	69
Tabela 11 - Classificação dos materiais lenhosos.....	69
Tabela 12 - Fator de emissão de $CO_2$ por MegaJoule de energia consumida na categoria madeira.....	70
Tabela 13 - Emissões de $CO_2$ dos materiais.....	71
Tabela 14 - Balanço de $CO_2$ nos materiais analisados .....	71
Tabela 15 - Estoque Real de Carbono .....	72
Tabela 16 - Relação de área entre a Edificação Escritório Verde e as tipologias florestais.....	77

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

COP	Conferência das Partes
DIEESE	Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i> (Agência de Proteção Ambiental)
EPAMIG	Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
GEE	Gases do Efeito Estufa
GHG	<i>Greenhouse Gases</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
OSB	<i>Oriented Strand Board</i>
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PGRCC	Programa de Gerenciamento de Resíduos Campus Curitiba
RCE	<i>Regional Center of Expertise</i>
TEMA	Tecnologia e Meio Ambiente
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CO <sub>2eq</sub>	Dióxido de Carbono equivalente
CH <sub>4</sub>	Metano
N <sub>2</sub> O	Óxido Nitroso
O <sub>2</sub>	Oxigênio
UV	Ultra-violeta
UV-B	Ultra-Violeta B
m <sup>2</sup>	Metros Quadrados
°C	Graus Célsius
Gt C	Gigatoneladas de Carbono
MJ	Mega Joules
kg	Kilograma
MWh	Mega Watt hora
ha	Hectares
Dap	Diâmetro à altura do peito
Mg	Megagramas
kgCO <sub>2</sub>	Quilogramas de Dióxido de Carbono
kgC	Quilogramas de Carbono
tC	Toneladas de Carbono
Ri	Teor de carbono no lenho para cada material
Vi	Volume utilizado no lenho para cada material
di	Densidade do material em questão
MJ.m <sup>-3</sup>	Mega Joule por metro cúbico

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 PROBLEMA.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	14
<b>1.2.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>14</b>
1.3 JUSTIFICATIVA.....	15
<b>1.3.1 Justificativa Sócioambiental.....</b>	<b>15</b>
<b>1.3.2 Justificativa Tecnológica .....</b>	<b>16</b>
1.4 ESTRUTURA PROPOSTA PARA O DESENVOLVIMENTO DA DISSERTAÇÃO	
17	
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>19</b>
2.1 SUSTENTABILIDADE.....	19
2.2 CONSTRUÇÃO CIVIL E SUSTENTABILIDADE.....	22
<b>2.2.1 Uso da Madeira na Construção Civil.....</b>	<b>25</b>
2.3 MUDANÇAS CLIMÁTICAS .....	27
2.4 SEQUESTRO FLORESTAL DO CARBONO .....	29
<b>2.4.1 Ciclo do Carbono.....</b>	<b>29</b>
<b>2.4.2 Fotossíntese e sequestro de carbono .....</b>	<b>31</b>
<b>2.4.3 Estoque florestal de carbono .....</b>	<b>32</b>
2.5 O ESCRITÓRIO VERDE.....	34
<b>2.5.1 Programas desenvolvidos pelo Escritório Verde .....</b>	<b>36</b>
<b>2.5.2 Tecnologias e Materiais empregados no Escritório Verde .....</b>	<b>37</b>
2.6 INVENTÁRIOS DE GASES DE EFEITO ESTUFA .....	38
<b>2.6.1 Princípios dos Inventários .....</b>	<b>38</b>
2.6.1.1 Aplicabilidade .....	38
2.6.1.2 Integralidade.....	39
2.6.1.3 Consistência .....	39
2.6.1.4 Exatidão.....	39
2.6.1.5 Transparência.....	39
<b>2.6.2 Fator de emissão .....</b>	<b>40</b>
<b>2.6.3 Incertezas .....</b>	<b>40</b>
2.7 INVENTÁRIOS DE GEE NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	41

2.8 ESTUDOS RELACIONADOS À EMISSÃO DE GEE E ESTOQUE DE CARBONO FLORESTAL .....	46
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>49</b>
3.1 INTRODUÇÃO AOS PROCESSOS METODOLÓGICOS.....	49
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	50
3.3 ESTRATÉGIA DE PESQUISA .....	50
3.4 INVENTÁRIO DE CO <sub>2</sub> DOS MATERIAIS CONSIDERADOS NO ESCRITÓRIO VERDE.....	51
3.5 CÁLCULO DO ESTOQUE DE CARBONO NO ESCRITÓRIO VERDE .....	54
<b>3.5.1 Materiais considerados .....</b>	<b>54</b>
<b>3.5.2 Coleta de dados .....</b>	<b>57</b>
<b>3.5.3 Equação representativa do cálculo do estoque de carbono .....</b>	<b>58</b>
3.6 DEFINIÇÃO DO ESTOQUE FLORESTAL DE CARBONO.....	59
3.7 COMPARAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO NO ESCRITÓRIO VERDE COM AS TIPOLOGIAS FLORESTAIS.....	63
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>66</b>
4.1 ESTOQUE DE CARBONO NAS ESPÉCIES .....	66
4.2 INVENTÁRIO DE CO <sub>2</sub> DOS MATERIAIS LENHOSOS DO ESCRITÓRIO VERDE.....	68
4.3 COMPARAÇÃO DOS DADOS.....	72
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>78</b>
5.1 ATENDIMENTO DOS OBJETIVOS PROPOSTOS .....	78
5.2 DISCUSSÃO DAS CONTRIBUIÇÕES.....	78
5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	80
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>81</b>
<b>ANEXO A – PLANTAS DO ESCRITÓRIO VERDE .....</b>	<b>90</b>
<b>ANEXO B – ESTIMATIVAS FITOSSOCIOLÓGICAS DAS ESPÉCIES ENCONTRADAS NA FLORESTA OMBROFILA MISTA MONTANA .....</b>	<b>93</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nos primórdios da civilização, o ser humano já buscava abrigo em ambientes construídos. Avanços tecnológicos em construção não causavam um impacto ambiental perceptível em nível global devido a pouca densidade populacional, pouca atividade de beneficiamento de matérias-primas e também a um contingente reduzido de pessoas no planeta que demandavam uma quantidade pequena de recursos da natureza.

A partir do século XIX, com o avanço da medicina e das tecnologias em geral, um grande crescimento populacional foi deflagrado e este se estende até os dias de hoje. Desta forma, a enorme demanda por materiais fez com que os insumos de construção fossem extraídos de maneira intensa, provocando impactos ambientais latentes, alertando para a preocupação sobre a escassez destes insumos e também trazendo várias consequências para a saúde dos indivíduos (KIBERT; GUY, 1997).

A sustentabilidade é um paradigma atual e tem destaque na construção civil, na qual ainda há um pensamento conservador no modo de construir. Todavia, muito se tem pensado em alternativas para minimizar a quantidade ou aumentar a variedade de insumos utilizados nas construções, fazendo com que se obtenham vantagens econômicas em um setor fortemente competitivo, diminuindo assim os grandes impactos causados na obtenção de matérias primas (FABRÍCIO, 2002).

Uma grande quantidade de energia é utilizada na fabricação dos materiais usados na construção civil, e, juntamente com a grande representatividade desse setor nas atividades do país, grande importância deve ser dada às emissões de gases do efeito estufa – GEE que estão associadas a estes materiais (TAVARES 2006; STACHERA, CASAGRANDE, 2007).

Muito menos energia é necessária para derrubar, cortar e transportar madeira em relação aos materiais mais utilizados na construção civil – cimento, argamassa, gesso, cerâmica vermelha e aço (STEIN, 1989). Desta forma, no contexto em que se consideram parâmetros de sustentabilidade, alternativas que reforcem o uso da madeira na indústria da construção têm grande respaldo.

Florestas representam grandes sumidouros de carbono, pois o mecanismo de fotossíntese das plantas permite reter o dióxido de carbono presente na atmosfera, fazendo com que o carbono fique retido e o oxigênio seja liberado (RENNER, 2004).

Sendo assim, as florestas trabalham de maneira contrária aos processos produtivos no que tange a emissões de GEE.

## 1.1 PROBLEMA

Esta pesquisa apresenta a seguinte questão: O Escritório Verde equivale a quantos metros quadrados de Floresta Ombrófila Mista Montana e também a quantos metros quadrados de uma plantação de *Pinus taeda*, se forem considerados o carbono estocado nos materiais renováveis utilizados na construção e a quantidade de CO<sub>2</sub> liberada para obtenção da energia utilizada na fabricação dos materiais lenhosos?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Realizar um inventário do estoque de carbono nos materiais lenhosos presentes na edificação do Escritório Verde, levando em consideração as emissões de CO<sub>2</sub> resultantes dos processos de obtenção da energia necessária para a fabricação e beneficiamento destes materiais.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Caracterizar os materiais de origem lenhosa que foram utilizados na construção do Escritório Verde;
- b) Calcular a quantidade de carbono estocada nos materiais lenhosos caracterizados e também a quantidade de CO<sub>2</sub> correspondente que estes retiraram da atmosfera através do processo de fotossíntese enquanto faziam parte de um sistema vivo.
- c) Realizar um inventário de emissão de CO<sub>2</sub> dos materiais lenhosos utilizados na construção do Escritório Verde;

- d) Subtrair os valores obtidos de retirada de CO<sub>2</sub> dos valores de emissão de CO<sub>2</sub>
- e) Converter os valores de emissão obtidos em carbono estocado novamente
- f) Atribuir um valor médio de estoque de carbono por hectare de floresta ombrófila mista montana por meio da análise de estudos já publicados na área;
- g) Atribuir um valor médio de estoque de carbono por hectare de uma plantação de *Pinus taeda* por meio da análise de estudos já publicados na área;
- h) Comparar a quantidade real de carbono estocada no Escritório verde com a média de estoque de carbono por tipologia florestal.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

#### 1.3.1 Justificativa Sócioambiental

Como consequência dos impactos ambientais relacionados aos processos industriais, que se intensificaram nas últimas décadas, apresentam-se sérios problemas com relação ao meio ambiente: desastres ambientais, acidentes, vazamentos de petróleo no mar, extinção de espécies animais e vegetais, destruição da camada de ozônio e o efeito estufa (STACHERA, CASAGRANDE, 2007).

Segundo os relatórios do IPCC, o crescente aumento da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera vem causando aumentos na média da temperatura global, e notadamente há um grau elevado de interferência antrópica neste fenômeno (IPCC, 2006).

O Relatório de Desenvolvimento Humano de 2007, da Organização das Nações Unidas – ONU, mostra que as áreas costeiras estão sujeitas a uma série de riscos relacionados ao aumento do nível dos oceanos. Consequências econômicas também estão atreladas à mudanças nas questões alimentares das populações destas áreas devido à alterações das correntes marítimas, que podem diminuir a disponibilidade de espécies disponíveis para pesca (ONU, 2007).

Stern (2006) e Rocha (2009) ressaltam que as emissões de GEE representam um problema interessante, uma vez que os países mais industrializados possuem um volume maior de emissão, mas também são capazes de propor soluções para as consequências climáticas mais facilmente por possuírem mais recursos econômicos. Por outro lado, países mais pobres, que têm contribuições não tão significativas para as mudanças climáticas, sofrerão as mesmas consequências no que tange ao aumento de temperatura.

No Brasil, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, serviços relacionados à engenharia e arquitetura vêm crescendo em volume e importância ao longo dos últimos anos, apresentando cerca de um terço da receita líquida do país. Sendo assim, pesquisas que focam desenvolvimento e melhoria na construção civil, têm grande relevância.

### **1.3.2 Justificativa Tecnológica**

Grandes quantidades de energia são utilizadas para a produção dos materiais da construção civil e a esta energia está associada também um grande impacto ambiental no que tange a emissão de gases do efeito estufa. Os processos de obtenção desta energia envolvem, em maioria, combustão de matéria-prima energética, como por exemplo o carvão, que libera grandes quantidades de CO<sub>2</sub> na atmosfera no ato de sua queima (TAVARES 2006; LOBO, 2010).

A requisição de profissionais ligados à construção civil, que está atualmente ligada à sustentabilidade, vem mudando de perfil por exigir novas técnicas e práticas construtivas, fazendo com que o setor de Pesquisa e Desenvolvimento – P&D ganhe espaço ao atuar no desenvolvimento de produtos e tecnologias para o setor.

De acordo com Lobo (2010), o desenvolvimento de tecnologias com foco em desenvolvimento sustentável é um estímulo às atividades produtivas, pois as empresas se mobilizam no sentido de diminuir impactos ambientais e racionalizar uso de recursos, impulsionadas pela demanda de redução destes impactos gerada pela transversalização do termo sustentabilidade nas camadas da sociedade.

Entre os setores da construção civil, destaque é dado para o setor residencial, por consumir mais de duas vezes o equivalente em energia aos dois outros setores, comercial e público, juntos (BRASIL, 2013).

Vários autores analisaram a emissão de gases do efeito estufa na construção civil (TAVARES, 2006; MARCOS, 2009; LOBO, 2010; KOBISKI, 2011) e também existem vários trabalhos que relacionam estoques de carbono em fitofisionomias. No entanto, a correlação entre as emissões, o estoque de carbono na construção civil e as fitofisionomias, assim como este trabalho propõe, ainda não foi realizada.

#### 1.4 ESTRUTURA PROPOSTA PARA O DESENVOLVIMENTO DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho foi dividido em cinco capítulos.

O primeiro capítulo (introdução) tem a função de contextualizar o assunto o leitor acerca das questões iniciais inerentes ao trabalho que foi desenvolvido. Além disso, apresenta os objetivos específicos assim como o objetivo principal do tema desenvolvido e suas justificativas.

O referencial teórico traz informações que se relacionam com o tema do trabalho. Este capítulo está dividido em sete grandes partes. Primeiramente, uma revisão sobre sustentabilidade é feita. As formas com que a construção civil se relaciona a ela também são exploradas.

Informações sobre as mudanças climáticas e como elas modificam o ambiente, impactando tanto nas relações antrópicas sociais e econômicas quando nas relações biológicas entre todos os seres vivos existentes também são elencadas

Outra parte deste capítulo se dedica a explorar a questão do sequestro florestal de carbono, parte essencial para o desenvolvimento do tema.

Ainda há informações sobre o objeto do estudo de caso na revisão da literatura. O Escritório Verde, seus programas e suas interações com a sociedade são descritas neste capítulo.

Por fim são exploradas as informações acerca de emissões de gases do efeito estufa, de uma maneira geral e também especificamente na construção civil.

Explicações relativas ao método de pesquisa, de coleta de dados, desenvolvimento de cálculos e comparações, são explicadas e detalhadas no terceiro capítulo intitulado “metodologia”.

No quarto capítulo, há uma discussão acerca dos resultados obtidos no trabalho. São apresentados os valores de carbono estocado nos materiais

analisados, assim como as emissões do processo produtivo e as comparações com as tipologias florestais são verificadas.

No último capítulo, intitulado “conclusões”, são feitas as considerações que se puderam verificar a partir do desenvolvimento do trabalho, sob o foco do objetivo planejado. São sugeridas também algumas formas de continuação deste estudo em sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 SUSTENTABILIDADE

O Termo “sustentabilidade”, como conceito, foi definido formalmente em 1987, na apresentação de um documento chamado “Nosso Futuro Comum”, apresentado por G. Harlem Brundtland para a Assembléia Geral da Organização das Nações Unidas – ONU. A partir deste documento, o desenvolvimento sustentável ficou definido como sendo “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades”. Desta forma, “sustentabilidade” passou a ser qualquer prática que não compromete a existência das fontes de insumos desta prática (FARIA, 2011).

Ainda segundo Faria (2011), o conceito de sustentabilidade pode ser abordado de quatro maneiras diferentes:

1. A abordagem econômico-liberal, que se divide em concepção clássica e moderna. A primeira concepção considera que o uso racional e equilibrado de recursos se dá de forma cada vez mais eficiente na medida em que a pressão da concorrência de mercado aumenta. A segunda se apóia no fato de que o uso consciente de insumos pode ser alcançado por meio da internalização dos custos ambientais;
2. A abordagem ecológico-tecnocrata, que difere da abordagem econômico-liberal por apresentar uma idéia de desenvolvimento sustentável planejado. Segundo esta abordagem, a sustentabilidade pode ser alcançada por meios gerenciais, em que o processo decisório toma grande importância e a capacidade técnica do planejador se torna o ponto chave do sucesso do planejamento.
3. A abordagem biocêntrica, que tem seus alicerces baseados na ecologia profunda, tendo a performance ambiental como exigência para a aprovação de políticas e atividades sociais;
4. A abordagem da política de participação democrática, onde entende-se que a sustentabilidade pode ser alcançada por meio da

participação da comunidade, e esta não só participa dos processos decisórios como também os conduz.

Cunha e Hasenclever (2011) citam que para se alcançar o desenvolvimento sustentável, junto com a manutenção do crescimento econômico, com a redução da pobreza e com a conservação do meio ambiente, são necessárias ações em três diferentes direções. Em primeira instância, é necessário que haja um repensar sobre o entendimento de desenvolvimento econômico, abandonando o modelo de produção e lucro, e compreendendo-o como um sistema complexo, no qual a sociedade, o ambiente e a economia se relacionam intensamente. Em segundo lugar, novas pesquisas e tecnologias devem ser pensadas, não de acordo com o interesse do capital, mas privilegiando os interesses da sociedade, se preocupando com as questões ambientais como um todo. Cunha e Hasenclever (2011), p.70 pontuam bem a introdução daecoinovação neste contexto.

“É nesse sentido que se coloca a ecoinovação como o motor do desenvolvimento sustentável, que, junto com a transformação de valores, instituições e da política, iluminará o caminho para um novo paradigma de desenvolvimento, rompendo com a unilateralidade do pensamento econômico neoclássico, transpondo as barreiras rumo à transdisciplinaridade [...]”.

Como terceira direção a ser seguida, Cunha e Hanseclever (2011) ressaltam que as políticas públicas devem ser também redirecionadas: De um modelo paradigmático comprometido com a eficiência de mercado, para um modelo que tenha como prioridade a reversão da degradação ambiental da atualidade e a mitigação da pobreza.

Jacobi (2003) cita que os educadores têm um papel fundamental na internalização de conceitos e conhecimentos, que devem, necessariamente, contemplar as inter-relações do meio natural com o meio social, incluindo a análise dos determinantes do processo, o papel dos diversos atores envolvidos e as formas de organização social que potencializam as ações alternativas de um novo desenvolvimento, preconizando a sustentabilidade sócio-ambiental. Também comenta que diversas experiências mostram que, havendo vontade nas ações políticas, principalmente nas ações políticas, é possível viabilizar ações em prol do desenvolvimento ambiental, em conciliação com desempenho econômico e inclusão social.

Apesar de a sustentabilidade ter um conceito muitas vezes complexo, em linhas mais gerais, ela pode ser definida como um tripé, onde, no desenvolvimento

de um produto ou atividade, são consideradas as questões econômicas, sociais e ambientais. Esta prática pode ser representada segundo o modelo *triple bottom line* adaptado por Silva et al. (2010).

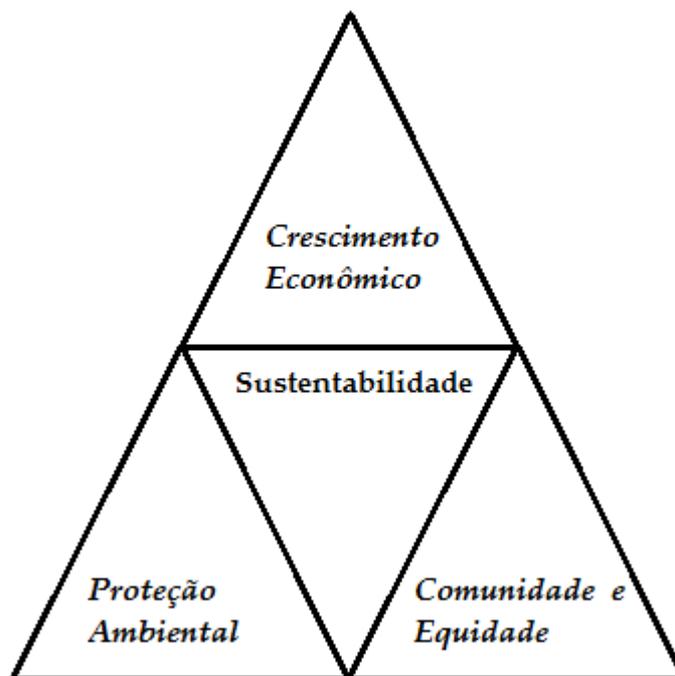


Figura 1 -Tripé da sustentabilidade  
Adaptado de Silva et al. (2010)

A sociedade, de uma maneira geral, vem mostrando traços de transição de conceitos norteadores. Há claramente valores do movimento da ecologia profunda ganhando força e também há um número suficiente de pensadores eloquentes que poderiam convencer líderes políticos acerca dos méritos deste movimento. Contudo, para atingir a sustentabilidade, uma mudança muito mais profunda é necessária. Uma mudança de paradigmas. Esta mudança não requer somente uma expansão da percepção da sociedade mas também dos valores cultuados por ela (CAPRA, 1996).

Capra (1996) defende em seu livro, intitulado "*A teia da vida*", que em um modelo de pensamento sistêmico, ocorrem mudanças da forma auto-afirmativa para a forma integrativa, onde o indivíduo se torna parte do ambiente em que vive, como um sistema complexo e integrado. Também diz que a cultura industrial ocidental negligencia as tendências integrativas e deposita ênfase excessiva nas auto-afirmativas. Capra (1996) demonstra as diferenças nas formas de pensamento e nos

valores quando contrastados os dois modelos de pensamento. Estas informações estão descritas na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1 - Características dos modelos de pensamento e valores

<b>Pensamento</b>		<b>Valores</b>	
<i>Auto-afirmativo</i>	<i>Integrativo</i>	<i>Auto-afirmativo</i>	<i>Integrativo</i>
Racional	Intuitivo	Expansão	Conservação
Análise	Síntese	Competição	Cooperação
Reducionista	Holístico	Quantidade	Qualidade
Linear	Não-linear	Dominação	Parceria

Fonte: CAPRA (1996)

Jacobi (2003), por fim, comenta que a internalização de conceitos acerca da problemática ambiental se tornaram urgentes, e este saber, ainda imaturo, demanda esforços para estabelecer as visões, valores e pensamentos integrativos citados por Capra (1996) e também estimular uma reflexão sobre as interações indivíduo-natureza e ambiente-desenvolvimento. Neste sentido, a educação ambiental adquire papel fundamental para a fixação dos conceitos de sustentabilidade na sociedade como um todo.

## 2.2 CONSTRUÇÃO CIVIL E SUSTENTABILIDADE

Segundo uma pesquisa realizada em 2011, pelo Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos – DIEESE, o mercado da construção civil no Brasil apresentava sinais de instabilidade até o ano de 2003 devido à falta de incentivos, pouca disponibilidade de recursos e também uma presença de financiamento imobiliário inexpressiva. Porém, a partir de 2004 houve aumento dos investimentos em obras de infraestrutura e em unidades habitacionais. Em 2010, o desempenho do setor foi o melhor dos últimos 24 anos, com taxa de crescimento de 11,6%, seguindo a tendência nacional (DIEESE, 2011).

Com o crescimento da construção civil, também há um aumento na demanda de recursos naturais e também um subsequente aumento da degradação ambiental. Segundo Freitas (2009), estratégias para minimizar os impactos e os resíduos que a construção civil produz são imprescindíveis em um momento onde os recursos se tornam cada vez mais escassos.

De acordo com Lobo (2008) existem 4 pontos principais que podem ser aplicados esforços no sentido de diminuir impactos da construção civil, conforme o Quadro 1.

<b>RAZÕES</b>	<b>ARGUMENTOS</b>
Matérias primas	A redução da oferta e crescente demanda por insumos elevam o custo de produção
Desperdícios	Alto índice de desperdício
Valorização do Produto	Produto com maior valor agregado
Eficiência	Redução dos custos de manutenção e operacionalização da produção

Quadro 1 – Razões para sustentabilidade nas construções  
Fonte: Adaptado de Lobo (2008).

Os conceitos de sustentabilidade pertinentes às edificações ainda não foram bem estabelecidos, sobretudo nas esferas econômicas e sociais (BOYLE, 2004; TAVARES, 2006).

Contudo, mesmo nos aspectos relativos ao meio ambiente, é necessário definir um parâmetro para avaliação de sustentabilidade, visto a complexidade do tema. As ações para edificações mais eficientes e o atendimento destas metas podem ser observados na Figura 2, que relaciona sustentabilidade e arquitetura.

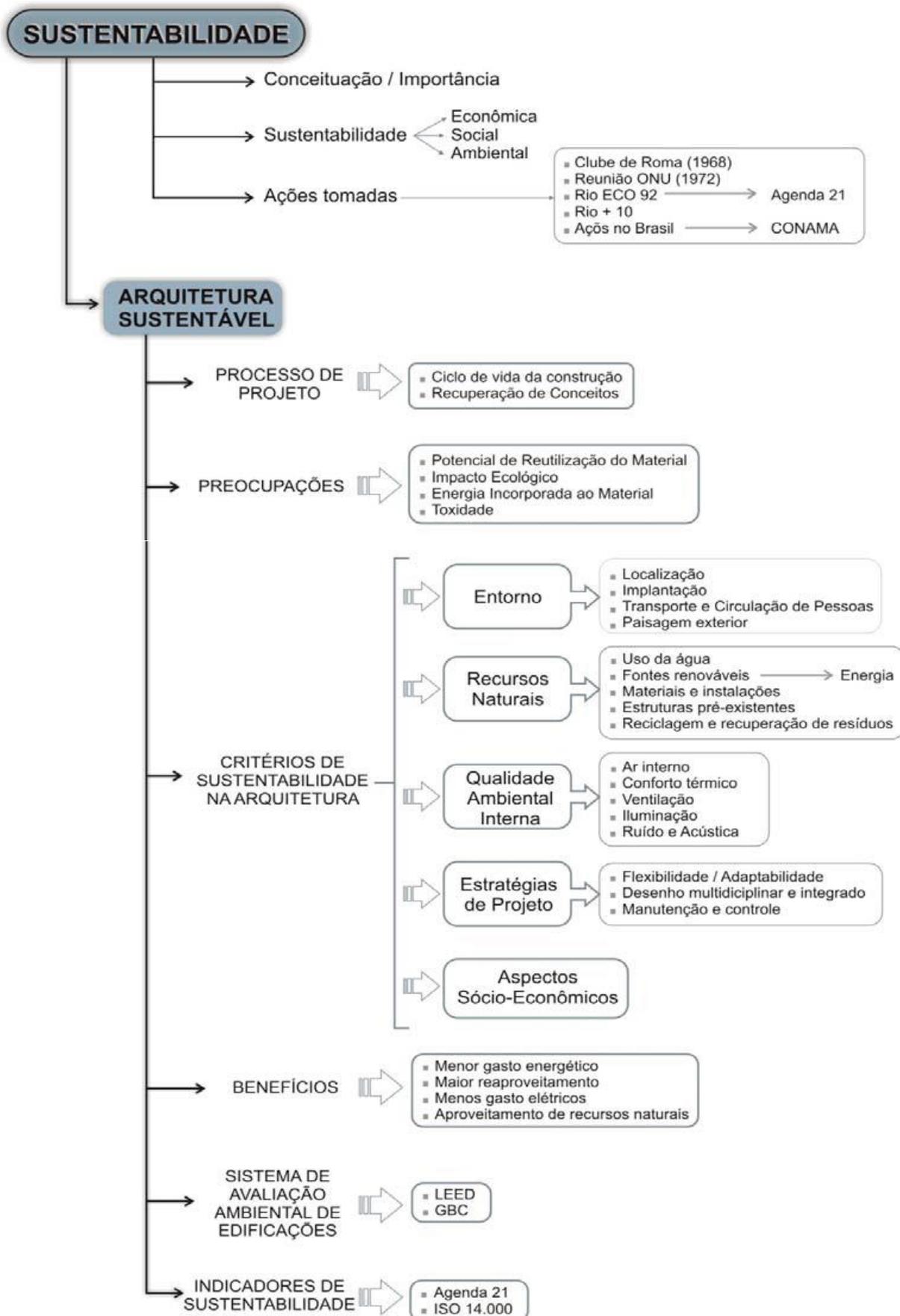


Figura 2 – Relações de Sustentabilidade e Arquitetura  
 Fonte: Lobo *apud* Mülfarth (2002)

O benefício de se planejar uma edificação adicionando questões acerca da preocupação ambiental se reflete em até 40% de ganho em eficiência da edificação (GBCB, 2008). Estes ganhos estão relacionados à redução do consumo de água, do consumo de energia elétrica e à racionalização do uso de materiais (LOBO et al. 2009).

Casagrande (2004) *apud* Manzini e Vezzoli (2002), relata que a sustentabilidade pode ser incorporada na construção civil e para isso as ações devem ser baseadas em algumas diretrizes, como demonstrado a seguir:

- Minimização da utilização de recursos minerais e energéticos;
- Escolha de recursos e processos de baixo impacto ambiental
- Otimização da vida útil dos produtos
- Escolha de produtos que possam ser reciclados ou reaproveitados
- Escolha de produtos e processos que possam ser facilmente revertidos ou desmontados.

Casagrande (2004) também infere que o pensamento sistêmico deve estar inserido na esfera social para que a sustentabilidade possa adentrar o campo da construção civil com maior eficiência.

### **2.2.1 Uso da Madeira na Construção Civil**

Na construção civil, o uso de madeira tem sido muito estudado. Vários autores contribuem com informações acerca deste material. Marques (2008) demonstrou que a madeira tem um ótimo desempenho ambiental quando se considera o seu potencial de aquecimento global, a quantidade de energia incorporada, o potencial de reciclagem, e as reservas remanescentes de matéria prima. Também denotou como sendo uma boa opção com relação às propriedades de isolamento térmico e acústico. Porém, foi verificada pouca eficiência do material no que tange custos econômicos pois os custos operacionais da madeira são elevados em relação aos materiais mais comuns usados em construção civil como o cimento.

Sathre & Gustavsson (2008) reforçaram que políticas públicas devem ser estudadas de forma a encorajar mudanças no paradigma construtivo atual, promovendo construções com o uso de madeira, que apresentam menores impactos

ambientais. Segundo eles, uma construção em *wood frame* consome até 72% menos energia para a sua produção do que a mesma construção em concreto e alvenaria. Também foi verificada uma redução substancial na emissão de gases do efeito estufa devido, principalmente, à menor necessidade do uso de combustíveis fósseis.

Ainda segundo Sathre & Gustavsson (2008), o uso de resíduos de madeira como combustível apresenta um maior custo econômico com relação ao uso de resíduos da construção de alvenaria e concreto armado, quando não são considerados os custos externos e nenhum tipo de taxa pelo uso de energia. Porém, quando os custos sociais do uso de energias não renováveis são adicionados, o uso de biocombustíveis que são originados durante o ciclo de vida das construções em *wood frame* se tornam economicamente interessantes.

Wang (2013), ao realizar uma pesquisa quantitativa para entender o uso de madeira relacionado aos *green buildings*, evidenciou que a busca pela performance ambiental é a principal alavanca para a adoção de madeira na construção civil como opção para os *green buildings*. Também foi mostrado que a madeira como material da construção civil está passando de um produto de baixo valor e baixa tecnologia para um produto de alto valor e alta tecnologia, incluindo o uso de estruturas híbridas (madeira e aço) e compósitos (como madeira e plástico).

Produtos feitos a partir de madeira também podem servir como reservatórios de carbono, contribuindo para a mitigação de emissões de gases do efeito estufa. Donlan et al. (2012) analisaram a quantidade de carbono estocada nos produtos de origem florestal desde o ano de 1960 na Irlanda e concluíram que a quantidade de carbono estocada nesses produtos é bastante representativa e pode contribuir significativamente para os cálculos de mitigação de gases do efeito estufa. Somente em móveis para casas, Donlan et al (2012) calcularam que o estoque de carbono em 2009 era de aproximadamente 120 mil toneladas de carbono.

No Brasil, segundo Mattos et al. (2008), a produção de painéis de compensado é atribuída a aproximadamente 200 empresas, que produzem um volume de cerca de 4 milhões de metros cúbicos anuais. Essa produção é dividida entre as regiões norte e sul. A região norte se caracteriza pela produção de madeira tropical de floresta nativa, enquanto a região sul se caracteriza pela utilização de madeira de florestas plantadas.

## 2.3 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Uma crescente preocupação tem sido denotada nos últimos anos com a questão do clima em nível mundial. Em todo o planeta, a comunidade científica se mobiliza no sentido de encontrar soluções para o crescente aumento da concentração de gases do efeito estufa – GEE na atmosfera, que causam diversas consequências climáticas em âmbito global. Segundo Vitousek (1997), a questão das mudanças climáticas está entre os dois assuntos mais preocupantes atualmente, juntamente com a perda da diversidade biológica, que também é consequência do aumento de temperatura.

Segundo informações extraídas do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC, órgão referência no assunto mudanças climáticas, em seu quarto Relatório de Avaliação, publicado no ano de 2007, a média da temperatura global aumentou  $0,6^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  durante o século XX. Para o século XXI, as previsões do IPCC indicam que a média da temperatura global poderá aumentar ainda mais, em torno de  $1,8^{\circ}\text{C}$  a  $4^{\circ}\text{C}$ , havendo maior número de dias com elevada incidência de ondas de calor e fazendo com que as estações possuam dias mais quentes. Dias mais frios também pode ocorrer devido ao desequilíbrio nas correntes de ar e marítimas causadas pelo aumento de temperatura. A velocidade dos ventos e o volume de chuvas também podem variar e (IPCC, 2007).

A Figura 3 a seguir demonstra uma comparação das mudanças em temperatura observadas em diferentes continentes e também em nível global.

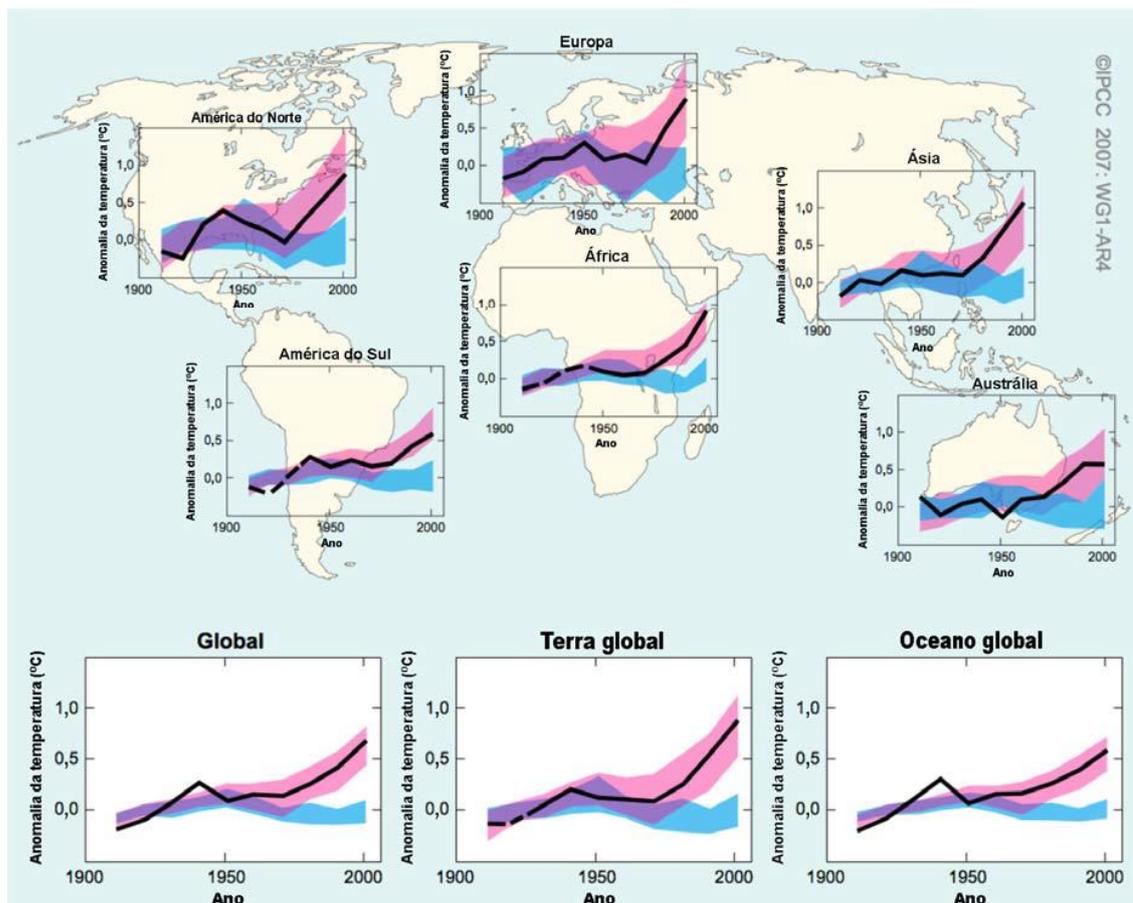


Figura 3 – Aumento da média de temperatura em continentes.  
Fonte: IPCC (2007)

Os principais causadores do aumento da temperatura global são os gases do efeito estufa, que são liberados na atmosfera através de vários mecanismos naturais e antrópicos. Os principais GEEs são, ainda de acordo com o IPCC, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), hidrofluorcarbonos (HFC), perfluorcarbonos (PFC) e hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ). Dos diferentes GEEs, o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) se constitui no principal, sendo lançado na atmosfera em níveis extremos nos últimos 40 anos.

Os gases citados são capazes de interagir com a radiação solar, principalmente quando ela está sendo refletida para o espaço, alterando o balanço energético da Terra. A radiação emitida da Terra para o espaço apresenta comprimentos de onda na faixa de  $4\ \mu\text{m}$  a  $50\ \mu\text{m}$ . Essa região é chamada de Infravermelho porque nesses comprimentos de onda há emissão de calor. É nesta faixa que os GEEs atuam, absorvendo e refletindo a energia de volta à superfície, impedindo a radiação de deixar o planeta e causando o chamado efeito estufa. O

aumento das concentrações destes gases na atmosfera contribui diretamente para um fenômeno que é conhecido como aquecimento global (BAIRD, 2002).

As previsões dos estudos científicos incentivaram os países a tratar acordos entre si com metas de redução de GEEs. Em dezembro de 1997, em Quioto, durante a terceira Conferência das Partes – COP3, foi convencionado um Protocolo em que os países industrializados se comprometeram a diminuir suas emissões em 5,2% em relação ao ano de 1990, até o ano de 2012. Este Protocolo entrou em vigor somente em 2005, e dispõe de diversos artigos que descrevem as obrigações dos países assinantes com relação às suas emissões de GEEs (PROTOCOLO DE QUIOTO, 1997).

Com o Protocolo de Quioto, houve a possibilidade de transformar emissões evitadas de CO<sub>2</sub> em moeda de troca a partir do sistema de créditos de carbono. Desta forma, há grandes iniciativas para reduzir emissões de GEEs, sob várias formas diferentes, estimuladas pela oportunidade de negócio (RIBEIRO, 2006).

No Brasil, que assinou o protocolo em 2002 em caráter de redução voluntária, existe a Lei nº 12.187 de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima e oficializa um compromisso voluntário do Brasil junto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, estabelecendo uma redução na emissão de GEEs de 36,1% a 38,9% das emissões projetadas até 2020.

## 2.4 SEQUESTRO FLORESTAL DO CARBONO

### 2.4.1 Ciclo do Carbono

A atmosfera é composta principalmente de oxigênio (21%) e nitrogênio (78%). O vapor d'água também é um GEE, mas as atividades humanas tem pouca interferência direta no seu ciclo, configurando o CO<sub>2</sub> como mais importante gás causador do aquecimento global. Os GEEs, que se concentram naturalmente na atmosfera, representam menos do que a milésima parte do volume total da mesma.

O CO<sub>2</sub> circula entre quatro principais compartimentos de estoque de carbono: a atmosfera, os oceanos, os depósitos de combustível fóssil, a biomassa terrestre e solo. Estes compartimentos são mostrados na Figura 4 abaixo. Dos 6,3

Gt C/ano emitidos no período de 1989 a 1998, 3,3Gt C permanecem na atmosfera, provocando o aumento do efeito estufa, e o restante é assimilado pela biomassa terrestre e pelos oceanos, em partes aproximadamente iguais (IPCC, 2000)

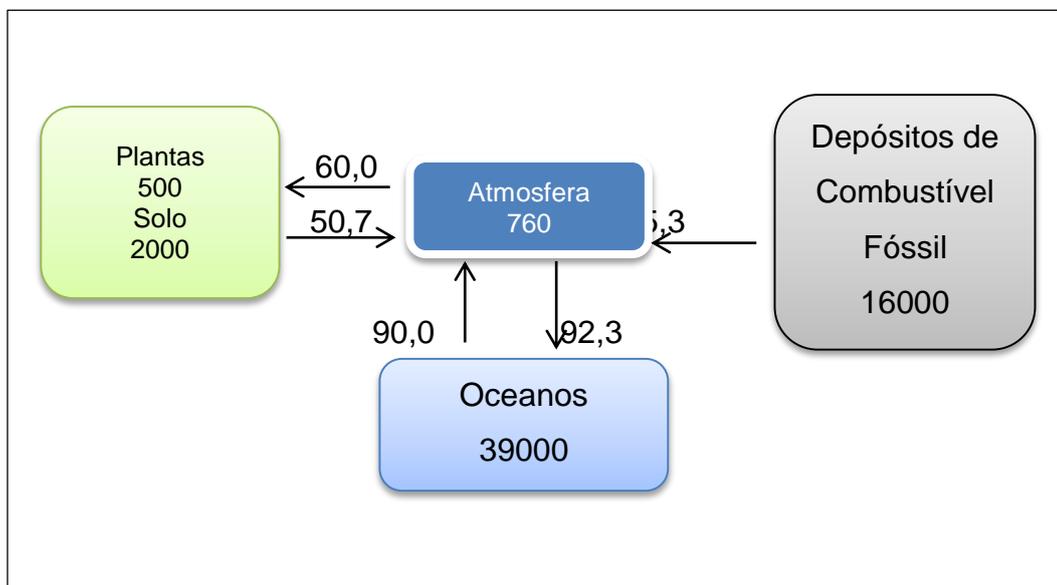


Figura 4 – Ciclo do Carbono, Estoques (Gt C) e fluxos (Gt/ano)  
Fonte: Adaptado de IPCC (2000)

O fluxo de carbono entre as plantas e o solo, que representam a biomassa terrestre, e a atmosfera refere-se à efeitos de mitigação biológica como fotossíntese (IPCC, 2000). Contudo, oscilações nestas trocas estão previstas devido ao uso de fertilizantes e também devido ao amadurecimento das florestas, que têm suas taxas de absorção de CO<sub>2</sub> e assimilação de carbono diminuídas à medida que a idade das florestas aumenta (IPCC, 2001).

Zepp et al. (1995) comentam que aumentos de radiação UV solar podem afetar os ciclos biogeoquímicos terrestres e aquáticos alterando, assim, ambas as fontes e sumidouros de gases do efeito estufa, como o CO<sub>2</sub>. Nos ecossistemas terrestres, o aumento da radiação UV-B pode modificar tanto a produção como a degradação de matéria vegetal, contribuindo para a mudança do perfil de emissões destes gases para a atmosfera. A biodegradabilidade de alguns componentes orgânicos também pode ser alterada pela oscilação da radiação UV-B. Esta variação pode afetar a produção microbológica de CO<sub>2</sub> assim como a disponibilidade de nutrientes para as plantas.

## 2.4.2 Fotossíntese e sequestro de carbono

O conceito de sequestro de carbono foi consagrado pela Conferência de Quioto, no Japão, em 1997. Metodologias dispostas no site do *United Nations Framework Convention on Climate Change* – UNFCCC, demonstram que a questão ganhou força através dos mecanismos de desenvolvimento limpo, que podem reverter o sequestro de carbono das árvores em créditos de carbono.

O sequestro florestal de carbono está ligado ao processo de fixação de carbono pelos vegetais por meio de um mecanismo biológico chamado fotossíntese. Através dele, o  $\text{CO}_2$  é absorvido pelas plantas e novamente lançado à atmosfera na forma de  $\text{O}_2$  sendo o átomo de carbono incorporado ao material lenhoso.

A Figura 5 a seguir demonstra o esquema simplificado deste processo.

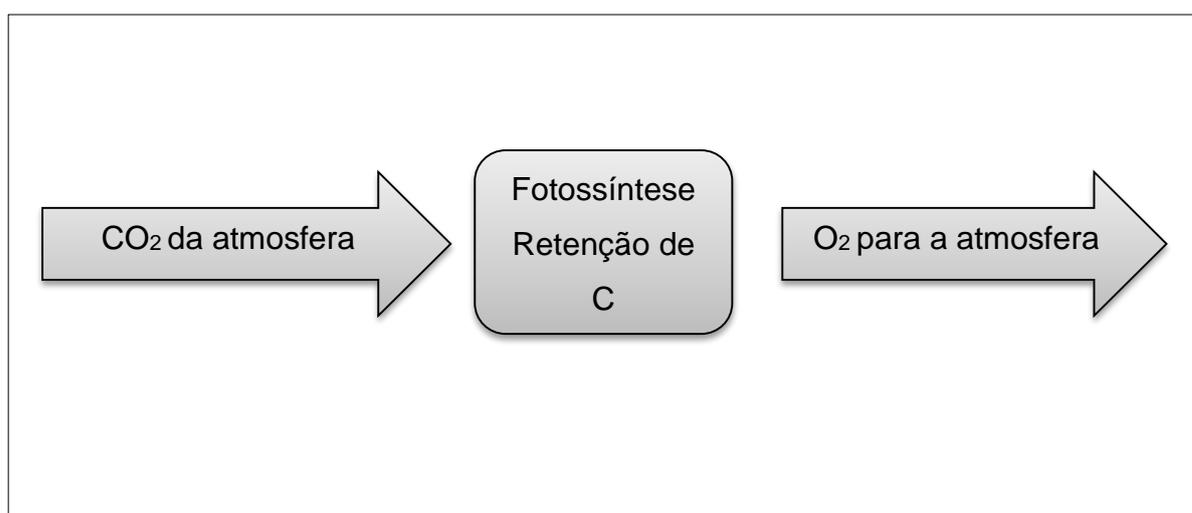


Figura 5 – Esquema simplificado de Fotossíntese  
Fonte: O autor (2012)

Sendo assim, segundo Renner (2004), mecanismos de coleta de  $\text{CO}_2$  da atmosfera tendem a ser minimizadores do impacto causado pelo aumento da temperatura global em tempos futuros, desde que o carbono seja armazenado na forma orgânica por um período longo o suficiente, evitando o acúmulo do gás correspondente na atmosfera.

Frizzo e Silva (1998) estabelecem que, de maneira geral, a composição química da madeira em massa está em cerca de 50% de carbono, 6% de hidrogênio e 44% de oxigênio. Os autores desprezaram pequenas quantidades de nitrogênio e minerais.

Apesar de haver a adoção de um fator de 0,5 kg de carbono por quilograma de madeira (FIGUEIREDO ET AL. 2002; FRIZZO E SILVA, 1998), Koehler,

Watzlawick e Kirchner (2002) reforçam que o uso de fatores-padrão para espécies distintas pode levar a um valor sub ou superestimado do estoque de carbono, pois estas pequenas variações de quantidade de carbono nas espécies pode levar a uma grande diferença em números absolutos para grandes áreas florestais.

### 2.4.3 Estoque florestal de carbono

Balbinot et al. (2007) estudaram a quantidade de carbono estocada em plantações de *Pinus* spp. em diferentes idades nos municípios de Bituruna e General Carneiro, no sul do estado do Paraná. A Figura 6 a seguir demonstra a área de estudo.

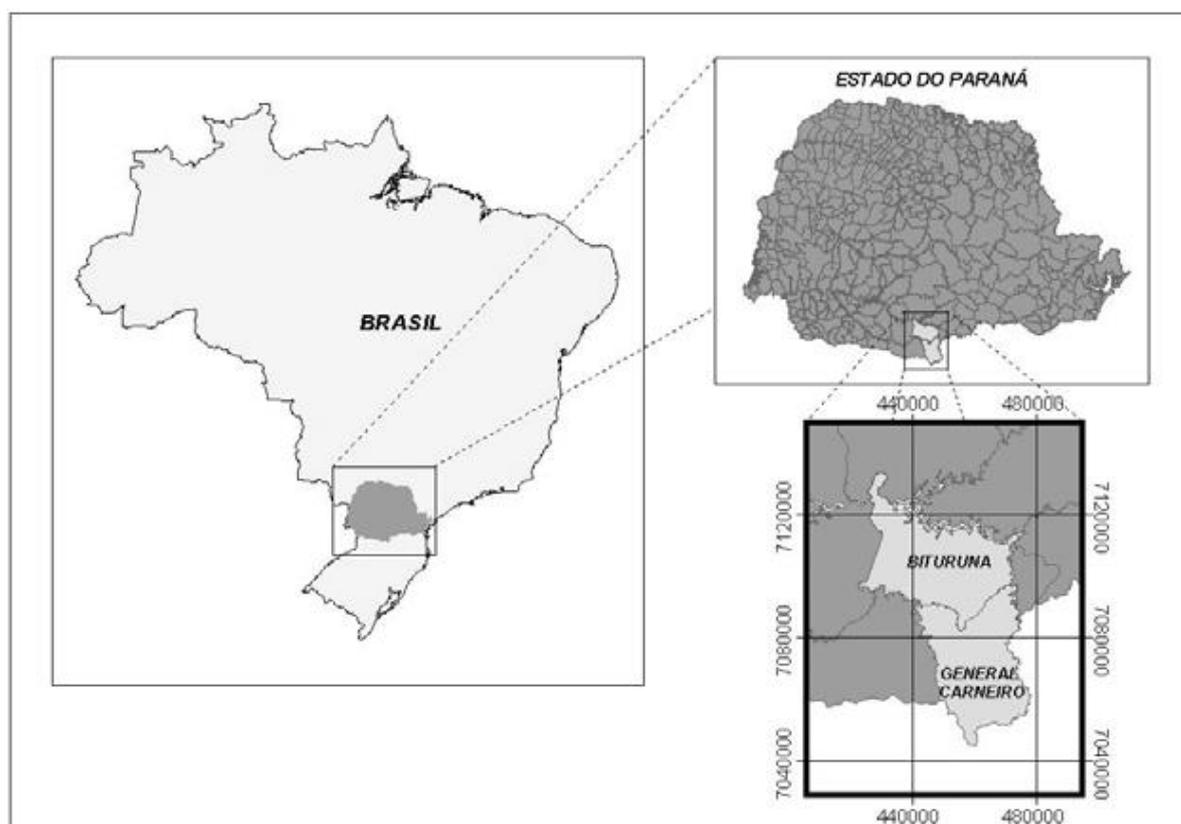


Figura 6 - Localização da área de estudo das plantações de *Pinus* Spp.  
Fonte: BALBINOT et al. (2007)

O software SISPINUS, que foi desenvolvido pela EMBRAPA florestas e pela Universidade Federal do Paraná – UFPR, foi utilizado para se obter o valor do estoque de carbono. Por meio de simulações e equações de retenção de carbono para cada compartimento das árvores, o estudo indicou que plantações de *Pinus* spp. com mais de 15 anos de idade conseguem reter aproximadamente 102,7 tC por hectare. O estudo também cita outros autores como Schumacher (2002), que

encontrou valores próximos de estoque de carbono ( $114 \text{ tC.ha}^{-1}$ ) em plantações de *Pinus taeda* de 15 anos no Rio Grande do Sul.

Outro estudo realizado na floresta atlântica por Cunha et al.(2009) em duas parcelas de 200 e 10 ha no município de Santa Maria Madalena, que é situado no estado do Rio de Janeiro, encontrou valores de  $63,4 \text{ tC.ha}^{-1}$  e  $68,415 \text{ tC.ha}^{-1}$  para as áreas de 200 e 10ha respectivamente. As áreas de estudos continham aproximadamente 40 anos de idade.

Figueiredo et al. (2000) analisaram o estoque de carbono em parcelas da Floresta Tropical Densa no sudoeste acreano. O estudo levou em consideração diferentes dap's, utilizando diferentes metodologias para calcular a fitomassa em  $\text{dap} \geq 10 \text{ cm}$  com,  $10 \text{ cm} \geq \text{dap} \geq 5 \text{ cm}$  e dap's inferiores a 5 cm em uma floresta primária e em duas parcelas de floresta secundária, com idades diferentes (25 e 15 anos).

Como resultado das estimativas, a floresta primária teve uma biomassa aérea de  $228,6 \text{ t.ha}^{-1}$  enquanto que nas florestas secundárias, a biomassa foi calculada em  $79,3$  e  $128,8 \text{ t.ha}^{-1}$ , respectivamente para as florestas de 15 e 25 anos.

Para o cálculo do estoque de carbono, Figueiredo et al. (2000) utilizaram o valor de teor de carbono como sendo de 50% em relação a massa total de todos os outros elementos químicos presentes nas árvores. Sendo assim, a quantidade de carbono absorvida pela floresta primária foi de  $114,3 \text{ t.ha}^{-1}$ , enquanto que na floresta secundária o valor de carbono absorvido, em média, foi de 52,0 %.

Higuchi e Carvalho (1994), ao estudar a fitomassa em espécies arbóreas da Amazônia, concluíram que o teor de carbono é maior no tronco (48%) e nos galhos (48%), sendo menor nas folhas (39%). O peso relativo destes três compartimentos também foi analisado e constatado que o tronco representa a maior porcentagem (65%). Os galhos representam 31% do peso total das árvores e as folhas, 4%. Este estudo também constatou que a densidade básica varia de espécie para espécie, e, dentro de uma mesma espécie, também varia no sentido base-topo e medula-casca. Sendo assim, a quantidade de carbono por peso de material também pode variar ligeiramente dentro de uma mesma espécie.

Fernandes et. al (2007) concordam com Higuchi e Carvalho (1994), demonstrando, por meio de um estudo da quantidade de carbono nos diferentes componentes das árvores de *Hevea* sp. Com 12 anos de idade, na fazenda experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG, que as partes com maior conteúdo de carbono são os galhos e o tronco, seguidos

de raízes e folhas. Este estudo também demonstrou que o peso relativo de cada componente pode variar de acordo com o diâmetro a 1,3 m do solo (dap). Por fim, a quantidade de carbono estocada nas árvores de *Hevea* sp foi mensurada em 62,1 tC.ha<sup>-1</sup>, com densidade de 476 árvores por hectare.

Imagens de satélite também podem ser utilizadas para estimativa da fitomassa em uma dada área e, juntamente com técnicas de geoprocessamento, é possível monitorar a diminuição ou o incremento do estoque de carbono em uma fitofisionomia. Pereira et al. (2000) realizaram um estudo deste tipo, comprovando a consistência do método, apesar de encontrar algumas dificuldades na leitura das imagens de satélite. A classificação das imagens interpretou áreas de capoeiras novas como pastagens, acarretando erros de mensuração do estoque de carbono.

Silveira et. al (2007) apontam que as estimativas de biomassa e estoque de carbono têm relevância ao fornecer dados para cálculos de emissões de gases do efeito estufa pela queima e decomposição da matéria orgânica, tanto em ambientes naturais como em ambientes antrópicos. Contudo, comentam também que a maioria das estimativas leva em consideração somente a parte viva e aérea das árvores enquanto as raízes, a vegetação rasteira no solo e a porção morta da vegetação são negligenciadas.

## 2.5 O ESCRITÓRIO VERDE

O Escritório Verde da UTFPR se situa na Avenida Silva Jardim, nº 807, na cidade de Curitiba, Paraná, e tem a aprovação da direção do *Campus* Curitiba para desenvolver políticas e práticas voltadas à sustentabilidade. Esta iniciativa foi idealizada pelo grupo TEMA – Tecnologia e Meio Ambiente, que conta com a presença de estudantes, professores, pesquisadores e também pessoal administrativo. O objetivo deste órgão é implantar uma série de programas para reduzir os impactos ambientais causados pela atividade acadêmica e também propor soluções para problemas socioambientais por meio de pesquisa científica (ESCRITÓRIO VERDE ONLINE, 2011). As Figuras 7 e 8, a seguir, demonstram a vista frontal do Escritório Verde e também a vista interna. No anexo I se encontram as plantas da referida edificação.



Figura 7 - Vista geral do Escritório Verde  
Fonte: Escritório Verde Online (2012)



Figura 8 - Vista interna do Escritório Verde  
Fonte: Escritório Verde Online (2012)

### 2.5.1 Programas desenvolvidos pelo Escritório Verde

Vários programas estão atualmente em desenvolvimento para aumentar a eficiência ambiental do *Campus* Curitiba como resultado do esforço para se atingir os objetivos preconizados no “Pacto 21”, que consiste em um documento oficial retificado pela UTFPR e também outras instituições de ensino superior no Paraná no intuito de compatibilizar ações com os princípios da Agenda 21<sup>1</sup>. As ações em desenvolvimento são:

- CAZA – Carbono Zero na Academia: Um programa que visa reduzir os impactos ambientais relacionados à emissão de gases do efeito estufa pela universidade através da substituição de materiais e projetos de compensação e mitigação de emissões;
- REZTO – Resíduo Zero Tecnológico e Orgânico: A continuação do programa de gerenciamento de resíduos do *Câmpus* Curitiba – PGRCC, que tem como principal objetivo a correta coleta, armazenamento, reuso e disposição dos resíduos orgânicos, recicláveis e não recicláveis produzidos;
- TRECO – Tratando Resíduos Eletrônicos e da Computação: Estudar soluções para o reaproveitamento de resíduos eletrônicos que em seu desuso acabam por ocupar espaço na universidade. O programa também prevê a oportunidade de criar parcerias com a comunidade externa através de projetos de extensão universitária;
- COMPRA VERDE: Esta ação tem por objetivo implantar políticas de compras que levam em consideração o fator sustentabilidade nos fornecedores, incluindo nos editais requisitos ambientais específicos dependendo de cada material ou equipamento;
- SELO VERDE: Estudo das condições ambientais locais e aspectos de avaliação para criar um selo de eficiência em sustentabilidade que contempla tecnologias para a construção de edifícios, processos e escolha de materiais;

<sup>1</sup> A Agenda 21 pode ser definida como uma ferramenta de planejamento para a criação de sociedades sustentáveis conciliando a performance ambiental com desenvolvimento social e econômico

- PRÊMIO CIDADANIA VERDE UTFPR: Prêmio dado a cada ano pela UTFPR para uma pessoa ou grupo cujas ações contribuem para atingir um nível elevado de eficiência econômica, social e ambiental;
- CONSULTORIA VERDE: Prestação de serviços com viés ambiental por meio de uma empresa júnior que funciona dentro do Escritório Verde, atuando em interdisciplinares com uma equipe multidisciplinar formada por alunos da UTFPR com o apoio de consultores externos especializados;
- EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE: Programa que visa, através do grupo RCE – *Regional Center of Expertise*, implantar a educação para a sustentabilidade nos vários níveis de ensino, contando com uma revista de lançamento periódico e vários pesquisadores.

### 2.5.2 Tecnologias e Materiais empregados no Escritório Verde

A edificação do Escritório Verde é um resultado da interação universidade-empresa, aplicando várias tecnologias disponíveis no mercado em um só lugar. Portanto, as alternativas tecnológicas propostas pelas empresas tendem a atuar em conjunto.

As seguintes diretrizes de construção foram utilizadas na edificação:

- Diretrizes bioclimáticas aplicadas no design arquitetônico
- Sistema *Wood-Framing* de construção
- Isolamento acústico
- Isolamento térmico
- Telhados Verdes
- Eficiência de iluminação
- Sistema de aquecimento termodinâmico
- Sistema fotovoltaico de geração de energia
- Sistema de coleta de água de chuva
- Elevação do piso com uso de placas de material reciclável
- Uso de madeira certificada
- Pisos drenantes na parte externa da edificação

- Uso de materiais alternativos

## 2.6 INVENTÁRIOS DE GASES DE EFEITO ESTUFA

O Inventário de Emissões Atmosféricas é uma listagem atualizada e abrangente das emissões atmosféricas causadas por fontes ou grupo de fontes que estão localizadas numa área geográfica específica (EPA, 2003).

A partir do desenvolvimento de Inventários, as empresas, organizações e instituições podem gerir convenientemente os seus riscos de emissões, tendo o reconhecimento de uma iniciativa voluntária antecipada, e assim, se preparando para futuras políticas climáticas, nacionais ou regionais (VIEIRA, 2006).

O Greenhouse – GHG Protocol Corporate Standard é um documento que fornece diretrizes e também é guia passo-a-passo para empresas e organizações que queiram executar um inventário no âmbito dos 6 principais GEEs.

Segundo o GHG Protocol, a correta mensuração de um inventário de GEE é imprescindível, pois um inventário bem estruturado pode trazer vantagens económicas, a seguir:

- Na gestão de riscos de GEE e na identificação de oportunidades de redução;
- Em programas voluntários de GEE;
- Na participação em programas obrigatórios de GEE;
- Na participação no mercado de carbono;
- No reconhecimento pela ação de preocupação ambiental antecipada

### 2.6.1 Princípios dos Inventários

Para a confecção de um bom inventário, alguns pressupostos devem ser seguidos. As premissas abaixo se baseiam no Protocolo GHG.

#### 2.6.1.1 Aplicabilidade

Para se tornar relevante, um inventário deve conter as informações necessárias para os gestores e tomadores de decisões. Este princípio se preocupa em delimitar o escopo de trabalho de forma a representar o conteúdo, as realidades

econômicas e também suas relações comerciais. Para isso, devem ser controladas as situações operacionais, como por exemplo controle, posse, acordos legais etc e também os limites operacionais do inventário.

#### 2.6.1.2 Integralidade

É importante relatar todas as emissões dentro dos limites de trabalho escolhido. Falhas na integralidade do inventário podem ocorrer devido à falta de dados ou o custo elevado. Concluir o inventário com níveis mínimos de emissão pode ser tentador, contudo isto pode trazer consequências negativas à perfeição do inventário e também pode depreciar os ganhos em projetos de mecanismos de desenvolvimento limpo.

#### 2.6.1.3 Consistência

Ao longo do tempo, a tendência é a de que se façam comparações com inventários anteriores, então é essencial a esta comparação que os limites operacionais, as aproximações matemáticas e as metodologias utilizadas sejam as mesmas para diferentes inventários dentro de uma mesma corporação.

#### 2.6.1.4 Exatidão

Preocupação extra deve ser dada para a questão da exatidão em inventários, reduzindo ao máximo as incertezas e sempre procurando usar dados confiáveis e com qualidade quantitativa.

#### 2.6.1.5 Transparência

Todas as informações relevantes devem ser mostradas no relatório para que os tomadores de decisão possam agir com um grau acentuado de confiança. Informações omitidas acarretam perda de qualidade e também insegurança para a tomada de decisões.

### 2.6.2 Fator de emissão

O fator de emissão de uma fonte geradora de GEE é um número que expressa uma relação entre a quantidade de GEE liberado por unidade de energia para uma dada atividade. Desta forma, tem-se uma estimativa de quão intensa é a atividade em termos de emissão. Por exemplo, de acordo com o MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia, o fator de emissão médio de CO<sub>2</sub> pelo consumo de energia elétrica, para o mês de dezembro de 2010, é de 0,051 tCO<sub>2</sub>/MWh. Isto significa que a cada MegaWattthora utilizado naquele mês, existe uma emissão de 0,051 toneladas de CO<sub>2</sub>. Desta forma, o fator de emissão deve ser multiplicado pelo dado de atividade de forma a resultar em um valor de emissão de GEEs.

Especificamente para o consumo de energia elétrica, o fator de emissão é uma média nacional e leva em conta todos os processos de produção de energia no país em um dado mês. Todavia, existem fatores de emissão que são mais específicos e podem retratar de forma exata e precisa a emissão de um dado de atividade. Existem diferentes fatores de emissão que são aplicáveis a diferentes atividades, como consumo de combustível, processos químicos, agropecuários entre outros.

### 2.6.3 Incertezas

Brasil et al. (2008), em seu trabalho sobre métodos e usos para inventários de gases do efeito estufa, comentam sobre a gestão de incerteza como sendo um fator determinante para a tomada de decisão nas organizações.

O IPCC classifica 7 tipos de incertezas comuns que devem ser reduzidas ao máximo.

- Erros de mensuração
- Erros de amostragem estatística
- Falta de representatividade dos dados
- Registo e classificações deficientes
- Ausência de dados
- Falta de completude dos dados
- Incerteza nos modelos

Para reduzir as incertezas de um inventário, torna-se então evidente a necessidade da preparação da organização com relação aos registros dos equipamentos, automóveis, consumo de energia elétrica entre outros, pois um inventário reúne muitas informações que não podem ser extraídas sem um preparo adequado.

## 2.7 INVENTÁRIOS DE GEE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Na construção civil, as metodologias de inventário de GEE diferem da metodologia do GHG Protocol. As metodologias mais utilizadas levam em consideração a análise do ciclo de vida energético dos materiais (TAVARES 2006; MICHELINE, 2009; LOBO, 2010; KOBISKI, 2011).

Nestes casos, é considerado o consumo total de energia para a fabricação, uso e descarte do material. Contudo, estas 3 etapas do ciclo de vida nem sempre são contempladas nos inventários por falta de dados consistentes.

Na Figura 9 abaixo, são relacionadas as etapas de construção que podem ser avaliadas quanto à emissão de gases do efeito estufa.

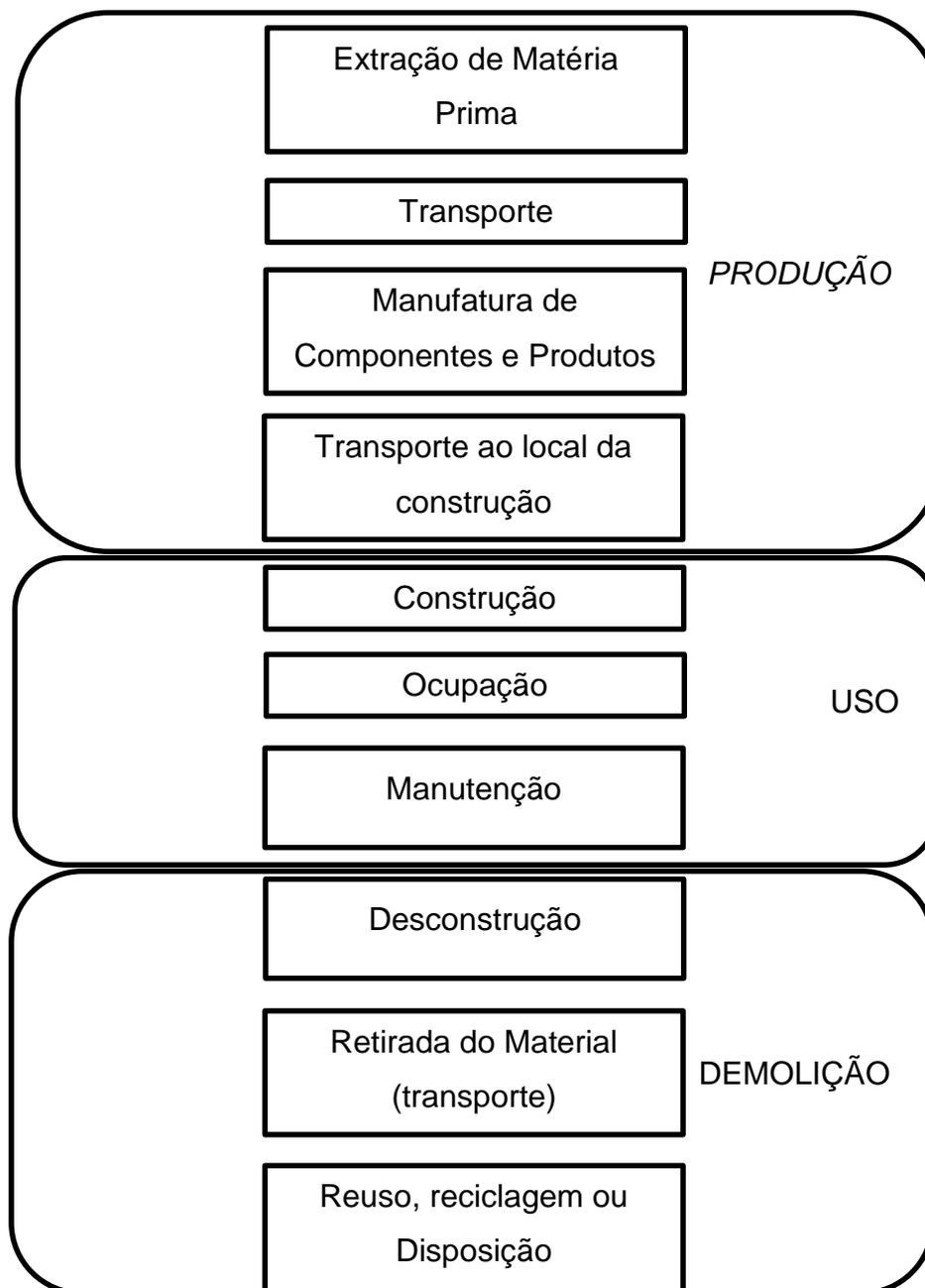


Figura 9 - Fases e subconjuntos de análise dentro de uma análise de ciclo de vida na construção civil. Adaptado de MONAHAN & POWELL (2011).

Börjesson e Gustavsson (2000) analisaram o balanço de emissões de CO<sub>2</sub> na construção civil, comparando o modelo de construção *wood frame* com o modelo tradicional de alvenaria e concreto armado, baseando-se no ciclo de vida completo dos materiais utilizados. Neste balanço foram incluídos:

- emissões advindas do consumo de combustíveis fósseis durante a produção dos materiais;
- mudanças no estoque florestal de carbono;
- métodos de processamento da madeira de demolição;

- d) liberação de CO<sub>2</sub> de processos químicos necessários para a fabricação dos materiais assim como a recombinação do CO<sub>2</sub> nas paredes de concreto ao longo do tempo

Os resultados mostraram que as emissões das construções de alvenaria e concreto armado podem ser reduzidas pela metade se for considerado um ciclo de vida de 100 anos, devido ao processo de carbonatação do concreto, que se caracteriza pela assimilação do CO<sub>2</sub> ao concreto devido à diminuição progressiva do pH do material, que inicialmente se encontra em valores de 13, à 9. .

Para o uso da técnica *wood frame*, o resultado das emissões depende muito do tipo de destinação final da madeira de demolição, podendo ser:

- I. Próxima a zero, se forem utilizados processos de queima de biomassa em substituição à combustíveis fósseis.
- II. Alta, se a madeira de demolição for disposta em aterros, causando emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>.
- III. Próxima a zero, se os gases gerados a partir da decomposição da madeira em aterros for capturado e usado como insumo energético em substituição à combustíveis fósseis
- IV. Negativa, se a madeira for reutilizada.

De acordo com Monahan & Powell (2011), ao comparar diferentes estruturas na construção civil com relação ao seu impacto para as mudanças climáticas, utilizar a energia embutida como única referência para estimar emissões de gases do efeito estufa do material pode levar a um entendimento incompleto da questão. Neste sentido, frizam que a análise do ciclo de vida dos materiais deve ser empregada de forma sistêmica, focando em diferentes pontos, para que seja obtida uma análise mais abrangente.

Mao et al. (2013) analisaram emissões de gases do efeito estufa em diferentes modos de construção para o mesmo tipo de material, constatando que o modelo de construção que utiliza peças pré-fabricadas é mais eficiente, emitindo menos CO<sub>2</sub> por metro quadrado de construção.

Nesta análise, foi também diagnosticado que entre as cinco fontes de emissões consideradas (energia embutida dos materiais de construção; transporte dos materiais de construção; transporte de resíduos de construção e solo; transporte de componentes pré-fabricados; operação de equipamentos e técnicas de construção), a fonte que mais se destaca, em termos de lançamento de CO<sub>2</sub> à

atmosfera, é a energia embutida dos materiais de construção, representando cerca de 85% do total. A redução de emissões entre os dois tipos de construção – casas que utilizam elementos pré fabricados em contraste com casas que não possuem estes elementos – demonstrou ser de 15,3%, mostrando que a escolha do método construtivo pode, significativamente, reduzir impactos ambientais relacionados à mudança do clima.

Gustavsson & Sathre (2006) concordam que a adoção de métodos construtivos utilizando madeira, de maneira geral, contribui de forma eficaz para a redução de gases do efeito estufa dentro da construção civil. Porém, ressaltam que estas análises dependem muito de quais variáveis estão sendo consideradas, pois as construções em *wood frame* podem ser mais impactantes se for considerado um cenário pessimista para *wood frame* e um cenário otimista para construções em alvenaria.

Os referidos autores ainda concluem que a recuperação dos resíduos de madeira utilizados nas edificações, tanto para reuso como para substituição de combustíveis fósseis na obtenção de energia, possui um papel fundamental na redução de emissões de gases do efeito estufa.

Truit (2012) demonstra que fontes diferentes causam impactos de significância variada e lista possibilidades de redução nas principais atividades emissoras de gases do efeito estufa na construção civil de acordo com sua importância para o montante de emissões. A Tabela 2 a seguir mostra estes dados:

Tabela 2 - Importância das estratégias de redução de GEE

<b>Influência Majoritária</b>		
Escolha do combustível	Equipamentos em modo ocioso	Uso de Eletricidade
Manutenção de equipamentos	Seleção de Equipamentos	Reciclagem de Materiais
<b>Influência Moderada</b>		
Seleção de Materiais	Transporte de empregados	
Transporte de materiais	Remoção de Vegetação	
<b>Influência Minoritária</b>		
Escolha do local	Desing estrutural, e desempenho	

Fonte: Truit (2009).

A partir destes dados, Truit (2009) elencou algumas medidas para que as emissões sejam reduzidas ao máximo no processo de construção como um todo:

- escolha de combustíveis: A quantidade de combustível consumida pode causar variações nas emissões de gases do efeito estufa se forem utilizados biocombustíveis como, por exemplo, o álcool, que possui um fator de emissão de CO<sub>2</sub> igual a zero devido ao processo de retenção de CO<sub>2</sub> que ocorre no crescimento da cana-de-açúcar. (IPCC, 2006) ou outros tipos de biocombustíveis.
- equipamentos em modo ocioso: O consumo de combustível pode ser alto em máquinas que ficam ligadas em modo ocioso, principalmente caminhões e tratores usados para carregar e descarregar. Diretrizes que diminuam o tempo de ociosidade das máquinas ou que façam com que os motores sejam desligados quando estas estão paradas podem fazer com que o consumo de combustível seja menor, e assim contribuindo para a redução de emissões de gases do efeito estufa.
- manutenção de equipamentos: A correta manutenção de equipamentos também diminui o consumo de combustível, contribuindo para a redução de emissões assim como citado acima. O autor cita um estudo feito pela Administração de Saúde e Segurança Ocupacional de Michigan que demonstra que uma empilhadeira pode consumir até 1512 litros de propano a mais durante sua atividade anual se não for feita a manutenção regular. Também há desperdício de combustível quando as rodas dos veículos estão desalinhas. O consumo pode aumentar entre 3 e 4%.
- seleção de equipamentos: Equipamentos devem ser selecionados de forma a atender especificamente a demanda exigida do empreendimento. Máquinas muito grandes podem causar um consumo excessivo desnecessário pois precisam promover a movimentação de seu próprio peso. Equipamentos e máquinas velhas também podem ser substituídas por modelos mais novos que possuem melhores técnicas de combustão e filtros mais eficientes, que promovem uma menor emissão de GEE.
- materiais de construção: A escolha dos materiais pode influenciar a emissão total de GEE pois cada material está atrelado a um ciclo de vida, e possui suas próprias emissões de processo que estão

relacionadas ao consumo de eletricidade e da produção em sí. Neste caso, a escolha deve priorizar materiais de baixa pegada de carbono. A aquisição de materiais provindos de técnicas de reaproveitamento ou reciclagem de materiais também pode ser feita, evitando emissões de processo.

- resíduos da construção: Deve se dar prioridade ao reaproveitamento e à reciclagem dos materiais. Estes passos muitas vezes promovem a eliminação de emissões causadas no processo de produção dos materiais. Em alguns casos a reciclagem ou o reaproveitamento tornam-se economicamente viáveis para o empreendedor.

## 2.8 ESTUDOS RELACIONADOS À EMISSÃO DE GEE E ESTOQUE DE CARBONO FLORESTAL

A comunidade científica vem demonstrando interesse no que diz respeito à emissão de gases do efeito estufa na construção civil e os impactos ambientais relacionados à mudança do clima que este setor traz. Recentemente, alguns autores propuseram modelos de compensação destas emissões por meio do plantio de espécies florestais.

Flizikowski (2012) estudou uma maneira de desenvolver uma ferramenta de quantificação, utilizando a metodologia proposta pelo GHG *Protocol*, para calcular as emissões de gases do efeito estufa em empreendimentos da construção civil. Os resultados mostraram que uma obra de aproximadamente 60 mil m<sup>2</sup> emite cerca de 119 mil tCO<sub>2eq</sub> quando considerados os seguintes aspectos:

- emissões da utilização de combustíveis
- emissões dos Resíduos gerados pela obra
- emissões pela aquisição de energia elétrica
- emissões pela Fabricação dos materiais utilizados
- emissões pela utilização e combustíveis das empresas terceirizadas

Através de uma simulação de cenários florestais no programa SisPinus – Embrapa Florestas, que é capaz de estimar a quantidade de dióxido de carbono fixado por qualquer idade em povoamentos de *Pinus taeda* ou *Pinus elliottii*, Flizikowski (2012) propôs um modelo de compensação das emissões através do

plântio de mudas, verificando que seriam necessárias cerca de 278 mil mudas plantadas em uma área de 263 ha para compensar a emissão de 119 mil tCO<sub>2</sub>eq.

Hagale (2011) também propôs compensar emissões de uma obra governamental em Brasília – DF. A metodologia incluiu:

1. a contabilização de emissões de gases do efeito estufa somente do consumo de combustível das máquinas utilizadas na obra;
2. a contabilização de emissões de gases do efeito estufa do consumo de combustível dos veículos de transporte coletivo;
3. o levantamento do conteúdo de carbono do total da vegetação suprimida;
4. a estimativa da quantidade de indivíduos florestais necessária para compensar as emissões da obra.

O estudo mostrou que as emissões pelo consumo de combustível para fins de construção e transporte de materiais foram na ordem de 2.833 tCO<sub>2</sub> e que a quantidade de árvores que teriam que ser plantadas para a compensação ambiental seriam de 343.623 mudas para a espécie *Blepharocalyx salcifolius* e 3.443.290 mudas para a espécie *Eremanthus glomerulatus*.

No município do Rio de Janeiro, a partir de 1979, foram desenvolvidos instrumentos legais que estabeleciam medidas de proteção à área arborea do município. Estas leis impuseram diretrizes de plantio de árvores de acordo com o tamanho da obra a ser construída. Em 1984 estas diretrizes foram incorporadas no processo de licenciamento das obras de acordo com a Lei Municipal nº 613/84 para plantio dentro do terreno da obra.

Com o Decreto nº 4874/84 ficou regularizado o plantio, em dobro, de mudas em áreas públicas, mas a eficiência do método se dava em cerca de 50% devido à manutenção necessária que dependia de verbas públicas.

Diante da verificação da ineficácia da legislação, foi instituído o Programa Municipal de Arborização Urbana, no Decreto nº 27.740/2007, que estabeleceu procedimentos para implantação, gestão e conservação de áreas verdes urbanas. Em seguida, o Decreto nº 27.758 de 2007 definiu ações de manutenção das áreas plantadas por um período de no mínimo um ano, sendo o empreendedor responsável por tais ações.

Por fim, com a publicação do Decreto nº 31.180/2009, ficou definido que em empreendimentos com área total construída superior à 180m<sup>2</sup>, é obrigatória a

compensação de emissões de gases do efeito estufa, partindo-se do princípio de que cada metro quadrado de construção possui uma emissão de 20kg de CO<sub>2</sub> e que cada árvore, em seu ciclo de 20 anos consegue absorver 500kg de CO<sub>2</sub> da atmosfera.

Laera et al. (2012), constataram, por meio de comparações entre árvores plantadas e metragem de obras no município do Rio de Janeiro, que nem todas as obras seguiram o determinado pela legislação e que a quantidade de árvores necessárias para compensar determinada obra não satisfaz a real necessidade de compensação das emissões de gases do efeito estufa no município do Rio de Janeiro.

Os estudos citados tratam a compensação de emissões a partir do plantio de árvores. Contudo, apesar de estudos tratarem de emissões de gases do efeito estufa, estoque de carbono e construção civil, não foram encontrados trabalhos que tratem construções como reservatórios de carbono, comparando a quantidade de carbono estocada e as emissões de CO<sub>2</sub> da edificação com a quantidade de carbono estocada nas tipologias florestais.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo, são demonstradas as ferramentas e os métodos utilizados para realizar o trabalho proposto. Nele, são descritos os processos metodológicos utilizados a fim de proporcionar um plano de fundo para as ações que foram tomadas a fim de atingir os objetivos determinados, assim como um detalhamento destas ações, para que seja possível a reprodução do método em trabalhos futuros.

#### 3.1 INTRODUÇÃO AOS PROCESSOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa se dedicou em comparar duas tipologias florestais com o Escritório Verde em termos de carbono estocado. Para o escritório verde foram também observadas as emissões de CO<sub>2</sub> dos materiais utilizados na construção como atenuantes do valor de estoque de carbono. As emissões de CO<sub>2</sub> foram calculadas a partir da metodologia de levantamento da energia embutida proposto por Tavares (2006). Processos de fabricação de materiais de construção que não envolviam consumo de energia mas possuíam relação com liberação de dióxido de carbono, também foram incluídas neste método. O estoque de carbono foi calculado a partir de dados de volume de utilização de madeira na edificação. As tipologias florestais escolhidas como referência para a comparação de estoque de carbono foram:

- Um povoamento de *Pinus taeda* em General Carneiro – PR, estudada por Watzlawick (2003) em relação ao acúmulo de biomassa em diferentes partes das árvores em diferentes idades e também em sub-bosques e material orgânico acumulado no solo (serapilheira).
- Floresta Ombrófila Mista Montana, também estudada por Watzlawick (2003) em relação ao acúmulo de biomassa em diferentes partes das árvores em diferentes idades e também em sub-bosques e material orgânico acumulado no solo.

Diantes destes dados foi possível fazer as comparações necessárias para se atingir o objetivo proposto. A Figura 10 a seguir resume os passos seguidos.

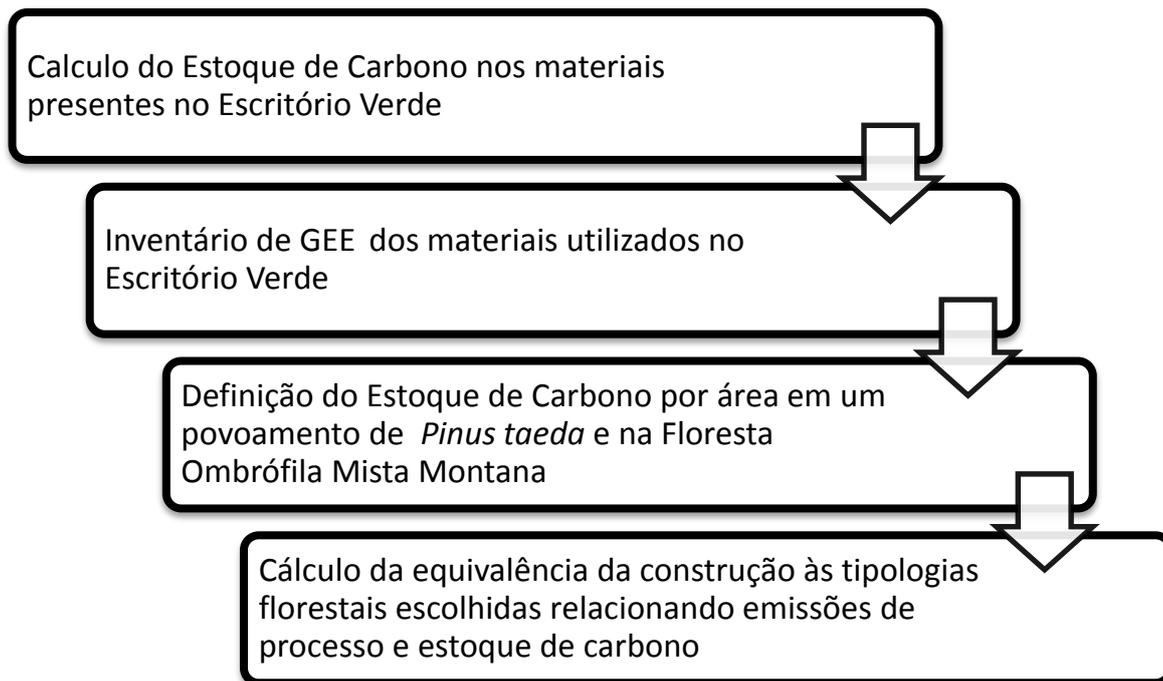


Figura 10 – Estrutura básica do trabalho  
Fonte: O autor (2012).

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa é de natureza aplicada, com caráter descritivo. Buscou-se utilizar conceitos já estabelecidos por outros trabalhos para estender a visão sobre um parâmetro de sustentabilidade já conhecido, mas ainda não explorado dentro da construção civil. O estudo da relação do Escritório Verde com as tipologias florestais conferiu um caráter comparativo a esta pesquisa.

### 3.3 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Nesta pesquisa, a estratégia utilizada foi a de um estudo de caso como modelo de pesquisa. De acordo com Ventura (2007), esta estratégia é adequada para descrever o comportamento ou as características de um objeto de pesquisa isolado. Portanto, devem ser tomadas precauções com as conclusões do estudo, que devem preservar o perfil das características individuais do objeto de estudo, buscando evitar as generalizações.

Yin (2002), define que um estudo de caso como método de pesquisa deve se ater à duas questões básicas inerentes a realização do trabalho. As questões são

“como?” e “porque?”. Nestes casos, a revisão bibliográfica torna-se um elemento importante, pois podem ser levantados, tomando-se o devido cuidado com as generalizações, casos semelhantes ao objeto de estudo que servirão como plano de fundo para a pesquisa, podendo servir como alvo de comparações e aumentando a qualidade científica da mesma.

Segundo Gil (1995), um estudo de caso não possui uma rigidez de formato. Porém, é possível dividi-lo em quatro partes principais:

1. Caracterização da unidade-caso
2. Coleta de dados
3. Seleção, análise e interpretação de dados
4. Elaboração do relatório

Ainda de acordo com Ventura (2007), o uso de estudo de caso como modelo de pesquisa é interessante por enfatizar as diferentes dimensões de um problema, apresentando uma análise mais aprofundada do objeto de estudo e suas relações com casos parecidos. Portanto procurou-se seguir esta estrutura para esta pesquisa, tomando os devidos cuidados e seguindo os procedimentos adequados característicos de um estudo de caso.

### 3.4 INVENTÁRIO DE CO<sub>2</sub> DOS MATERIAIS CONSIDERADOS NO ESCRITÓRIO VERDE

Para o inventário de GEEs, a metodologia utilizada é a mesma que foi proposta por TAVARES (2006). Esta metodologia leva em consideração a energia embutida nos materiais selecionados, ou seja, toda a energia que foi utilizada no ciclo de vida parcial do material, incluindo as etapas de fabricação e uso. Esta energia é dividida por fonte e cada fonte possui um fator de emissão de CO<sub>2</sub> associado. MARCOS (2009), LOBO (2010) e KOBISKI (2011) utilizaram esta mesma metodologia para cálculos de emissões de CO<sub>2</sub> na construção civil. Os Quadros 2, 3 e 4 a seguir detalham o esquema de cálculo destas emissões.

<b>Materiais</b>	<b>EE (MJ.m<sup>-3</sup>)</b>
Aço	235.500
Alumínio anodizado	567.000
Alumínio reciclado	46.710
Areia	80
Argamassa	3.906
Borracha natural – Latex	63.480
Borracha sintética	160.650
Brita	247,5
Cal virgem	4.500
Cerâmica- 8 furos	4.060
Cerâmica branca	52.075
Cerâmica- telha	10.260
Cimento Portland	8.190
Cobre	669.975
Concreto	2.760
Fibrocimento – telha	9.600
Madeira- seca ao forno	2.100
Madeira – seca ao ar livre	300
Madeira – lamin. Colada	4.875
Madeira – MDF	5.850
Solo – cimento- bloco	1.020
Solvente – tolueno	74.690
Tinta acrílica	79.300
Tinta óleo	127.530
Tinta PVA látex	84.500
Tubo – PVC	104.000
Vidro Plano	46.250

Quadro 2 – Energia embutida nos materiais

Fonte: TAVARES (2006)

Esta é a energia total gasta na confecção dos materiais, expressa em MJ.m<sup>-3</sup>, significando que para cada metro cúbico de material utilizado são gastos os valores dispostos na tabela em Mega Joules em energia. De acordo com a pesquisa de Tavares (2006), o uso de cimento, cerâmica, aço, cal, areia e brita nas construções representa mais de 90% de toda a energia embutida, sendo estes, portanto, os materiais mais representativos.

Estes valores de energia, como mostrado a seguir, possuem correspondência percentual para cada tipologia de consumo de energia primária.

FONTES	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS NÃO RENOVÁVEIS							RENOVÁVEIS				
	ÓLEO DIESEL E COMBUSTÍVEL	GÁS NATURAL	GLP	COQUE DE PETRÓLEO	OUTRAS SECUNDÁRIAS DE PETRÓLEO	CARVÃO MINERAL	COQUE DE CARVÃO MINERAL	ELETRICIDADE	CARVÃO VEGETAL	LENHA	OUTRAS FONTES PRIM. RENOVÁVEIS	OUTRAS
Aço e ferro	1	6					71	10				12
Alumínio	21	7			4		10	54				4
Areia	99							1				
Argamassa	86			10				4				
Cal	12							8		80		
Cerâmica revest	15	68	5					12				
Cerâmica verm.	4		8					2		85		1
Cimento	3			61		8		12	9			7
Cobre	10	44					5	41				
Concreto	82			9				9				
Fibrocimento	84		2					14				
Impermeabilizante	10	30			34			26				
Madeira	83							17				
Pedra	85							15				
Plásticos	10	30			34			26				
Tintas	90							10				
Outros materiais	8	11				7	10	20	9		35	

Quadro 3 – Consumo primário de energia por fonte (%MJ).  
Fonte: Adaptado de TAVARES (2006)

Cada fonte de consumo primário de energia possui uma emissão de CO<sub>2</sub> relativa à ela. A seguir esta relação é explicitada.

FONTE	CO <sub>2</sub> (kg/MJ)
Eletricidade	0,0181
Óleo combustível	0,0798
Gás natural	0,0506
GLP	0,0633
Coque de carvão mineral	0,0915
Coque de petróleo	0,0726
Carvão vegetal	0,051
Lenha	0,0816
Outras	0,0357

Quadro 4 – Emissão de CO<sub>2</sub> por fonte  
Fonte: Adaptado de TAVARES (2006)

Desta forma, as emissões podem ser calculadas por meio da equação:

$$Emissão\ kgCO_2 = \sum_{i=1}^n a_i . b_i . c_i$$

Onde:

$a$  = energia embutida por tipologia de material para o volume utilizado na construção (MJ);

$b$  = consumo percentual de energia primária por fonte;

$c$  = emissão de CO<sub>2</sub> por fonte (kgCO<sub>2</sub>.MJ<sup>-1</sup>)

$n$  = número de materiais

$i$  = Tipologia de material

Ainda para alguns materiais, foi necessária a conversão de unidades de massa em volume devido à indisponibilidade de dados.

### 3.5 CÁLCULO DO ESTOQUE DE CARBONO NO ESCRITÓRIO VERDE

Somente os materiais lenhosos do Escritório Verde foram considerados neste cálculo, pois o vegetal retira CO<sub>2</sub> da atmosfera enquanto cresce, retendo o carbono e liberando O<sub>2</sub> novamente para o ambiente. Alguns materiais como 2 portas de banheiro e uma porta de entrada não foram consideradas no cálculo devido a sua pequena representatividade.

#### 3.5.1 Materiais considerados

Os materiais analisados foram: madeira plástica utilizada no deck e também no pergolado, que possui uma composição de 35% em polietileno de baixa densidade, 50% em serragem e 15% em aglomerantes; estrutura *Wood Framing* formada por painéis de *Oriented Strand Board* – OSB, montantes de *Pinus taeda* e vigas “1” em *Pinus taeda*; janelas de *Eucalyptus urograndis*; e uma escada em madeira de *Erismacynatum* (cedrinho).

As Figuras 11, 12, 13 e 14, 15 e 16 a seguir, ilustram os materiais selecionados.

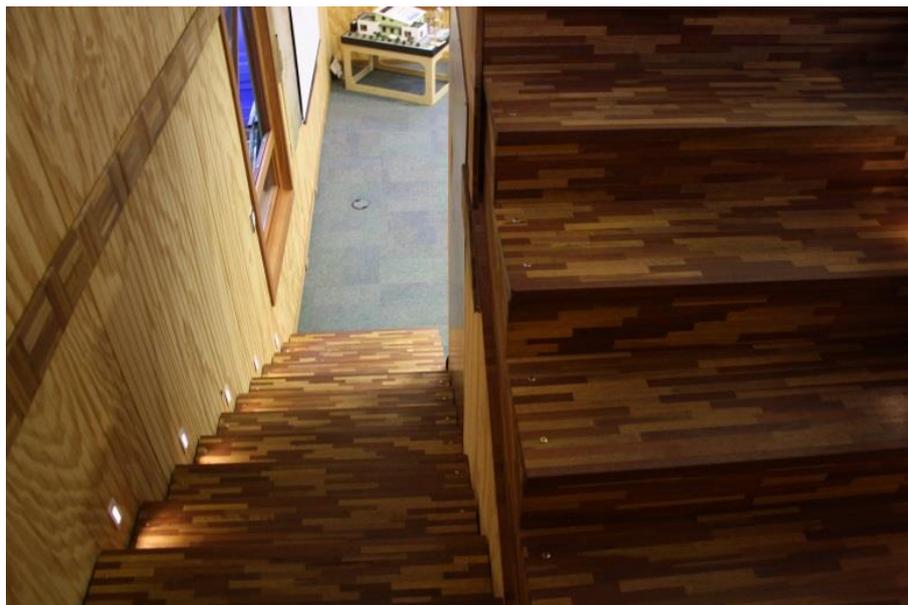


Figura 11 - Escada construída com sobras de *Erisma ucinatum*  
Fonte: O autor.



Figura 12 – Parede demonstrativa da estrutura interna. Painéis OSB e montantes em *Pinus taeda*  
Fonte: O autor.

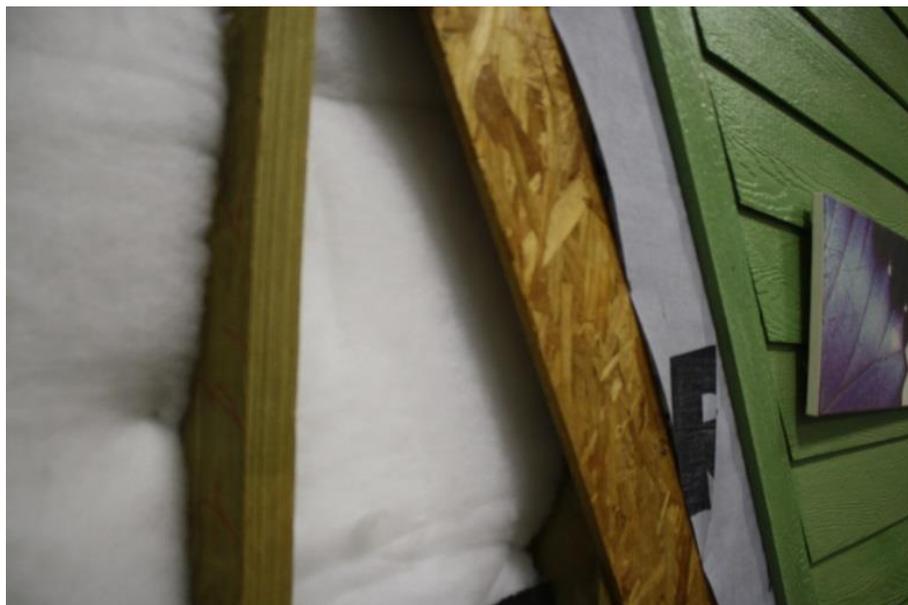


Figura 13 – Parede demonstrativa da estrutura externa. Painéis OSB e montantes em *Pinus taeda*  
Fonte: O autor.



Figura 14 - Janela em *Eucalyptus urograndis*  
Fonte: O autor



Figura 15 - Deck em madeira plástica na entrada dos fundos do Escritório Verde  
Fonte: O autor



Figura 16 - Deck em Madeira Plastica na entrada frontal do Escritório Verde  
Fonte: O autor

### 3.5.2 Coleta de dados

A coleta de dados se deu por meio de notas fiscais, informações das fábricas dos produtos analisados e artigos científicos.

Prioridade foi dada pela aquisição de dados através das empresas fornecedoras dos produtos. Nos casos onde isso não foi possível obter informações das empresas, recorreu-se à informação contida na comunidade científica.

A empresa LP Brasil forneceu dados de densidade das espécies dos produtos que compõem o sistema *Wood framing*. A empresa Madeplast forneceu dados de densidade do produto que compõe o deck do escritório assim como a porcentagem de madeira no compósito (50%). A empresa FORPLAS forneceu valores de densidade para a espécie *Erismia ucinatum*.

Balbinot et al. (2003) estudaram exemplares de *Pinus taeda* com 5 anos de idade, realizando estudos sobre o estoque de carbono na espécie e encontrando um valor de 457 g.kg<sup>-1</sup> (gramas de carbono em 1 kilograma de material) na madeira.

Em um estudo realizado por Neves (2000), clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* tiveram teores médios de carbonos determinados em 524g.kg<sup>-1</sup>, 479,6 g.kg<sup>-1</sup>, 525,1 g.kg<sup>-1</sup>, 506,6 g.kg<sup>-1</sup> e 507,0 g.kg<sup>-1</sup> para folhas, casca, galhos, lenho e raiz grossa, respectivamente.

Para *Erismia ucinatum*, foi utilizado um valor de 0,457 g.kg<sup>-1</sup> de acordo com Carlos Roberto Sanquetta, engenheiro florestal.

### 3.5.3 Equação representativa do cálculo do estoque de carbono

O estoque de carbono se configura em uma quantidade carbono em massa presente em um volume de material. Os dados coletados possuíam valores em metros cúbicos. Neste caso, foi necessário idealizar uma equação que representasse a quantidade de carbono. Como o volume foi dado em m<sup>3</sup>, foram utilizados valores de densidade em kg.m<sup>-3</sup> e valores de teor de carbono no lenho em tC.kg<sup>-1</sup>. Sendo assim a o estoque de carbono se deu através da seguinte equação:

$$tC = \sum_{i=1}^n Ri . Vi . di$$

onde:

tC: Toneladas de carbono estocado;

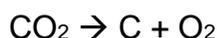
Ri: Teor de carbono no lenho para cada espécie;

Vi: Volume Utilizado na Construção para cada material;

di: Densidade do material em questão;

n: nº de espécies

Para o cálculo de CO<sub>2</sub> abatido, que é o correspondente em CO<sub>2</sub> retirado da atmosfera para a fixação de certa quantidade de carbono no material renovável, recorreu-se ao cálculo estequiométrico da reação de fotossíntese:



### 3.6 DEFINIÇÃO DO ESTOQUE FLORESTAL DE CARBONO

A definição do estoque florestal de carbono por hectare de fitofisionomia se constitui numa importante etapa deste trabalho, pois torna-se possível a obtenção do objeto de comparação com o Escritório Verde.

Neste sentido, o trabalho de Watzlawick (2003) foi escolhido como referência, por apontar estimativas de estoque de carbono em povoamentos de *Pinus taeda*, no município de General Carneiro, no estado do Paraná, discriminando diferentes partes das árvores como acículas (folhas), galhos vivos, galhos mortos, casca do fuste, madeira do fuste e raízes.

Na pesquisa de Watzlawick (2003), as raízes foram coletadas até uma profundidade de 0,5 m e a densidade arbórea na área considerada foi de 300 árvores por hectare. Foi feita uma média do estoque de carbono em diferentes idades de *Pinus taeda*, com 14, 19, 21, 22, 23 e 32 anos de idade.

A média de carbono estocado por hectare neste tipo de vegetação é demonstrada na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 – Carbono Orgânico Arbóreo(t.ha<sup>-1</sup>) em povoamentos de *Pinus taeda* com diferentes idades em General Carneiro, PR

Idade (anos)	Componentes						Total
	Acículas	Galhos Vivos	Galhos Mortos	Casca do Fuste	Madeira do Fuste	Raízes	
14	2,36	9,62	1,80	7,41	40,75	9,89	75,94
16	2,36	4,26	1,54	3,70	33,98	5,73	61,84
19	1,55	4,72	1,65	3,48	26,61	4,99	57,01
21	3,38	14,08	4,18	12,78	80,07	10,69	135,49
22	3,82	12,82	4,06	12,31	64,06	16,43	119,07
23	4,07	19,31	5,12	12,39	66,53	10,10	130,42
32	3,43	8,65	1,82	7,84	42,46	10,26	96,20
Média	3,00	10,49	2,88	8,56	50,64	9,73	96,56
Incerteza	1,29	7,51	2,12	5,66	27,55	5,27	45,63

Fonte: Adaptado de WATZLAWICK (2003)

O carbono orgânico no sub-bosque e na serapilheira acumulada também foram analisados por Watzlawick (2003). Estes valores representam cerca de 10% da quantidade de carbono orgânico arbóreo. Portanto, também foram considerados nesta pesquisa. A Tabela 4 a seguir explicita estes valores.

Tabela 4 - Carbono Orgânico no Sub-bosque e na Serapilheira Acumulada (t.ha<sup>-1</sup>) em povoamentos de *Pinus taeda* com diferentes idades em General Carneiro, PR

Idade (anos)	Carbono Orgânico	
	Sub-Bosque	Serapilheira
14	1,12	8,55
16	0,4	7,43
19	0,5	9,85
21	1,21	7,73
22	3,91	3,92
23	3,6	9,23
32	1,18	3,96
Média	1,7	7,24
Incerteza	2,02	3,36

Fonte: Adaptado de WATZLAWICK, 2003.

As incertezas foram calculadas com base em um intervalo de confiança de 99%. Para o efeito de comparação, o valor médio de estoque total de carbono foi escolhido como referência.

Também foram retirados do trabalho de Watzlawick (2003), valores referenciais de estoque de carbono por hectare de Floresta Ombrófila Mista Montana, para que se pudesse comparar o estoque de carbono do escritório verde com uma área nativa.

Os valores encontrados por Watzlawick (2003) estão descritos na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5 - Carbono orgânico arbóreo na Floresta Ombrófila Mista Montana (t.ha<sup>-1</sup>) em General Carneiro, PR

Idade (anos)	Componentes							Total
	Acículas	Galhos Vivos	Galhos Mortos	Casca do Fuste	Madeira do Fuste	Raízes	Miscelânea	
1	0,40	4,60	0,03	0,44	14,23	4,61	0,05	24,36
2	0,96	8,26	0,58	2,02	10,78	4,96	0,09	27,65
3	0,59	9,63	0,03	1,53	10,94	5,52	0,01	28,25
4	0,47	3,61	0,22	2,45	16,21	6,62	0,03	29,61
5	0,97	13,31	0,03	1,56	12,22	7,73	0,09	35,91
6	2,54	10,91	0,20	3,86	14,85	9,18	0,19	41,73
7	1,65	35,69	6,05	3,58	35,51	11,16	0,29	93,93
8	1,59	29,52	1,98	1,91	17,52	11,52	0,59	64,63
9	2,49	13,44	0,47	10,2	27,5	11,56	0,19	65,85
10	2,75	10,35	0,95	13,71	32,5	12,03	0,06	72,35
11	4,26	9,83	0,59	17,68	28,5	12,20	0,16	73,22
12	0,98	28,12	1,02	2,26	32,28	14,06	0,66	79,38
13	2,24	57,49	1,12	2,50	32,64	14,63	1,67	112,29
14	2,39	58,22	1,35	6,75	45,11	15,01	1,87	130,70
15	5,49	59,13	1,86	16,57	57,64	15,94	0,84	157,47
16	3,99	82,86	1,17	9,04	45,35	24,80	1,21	168,42
17	0,99	100,29	0,67	0,98	52,53	25,07	3,59	184,12
18	2,21	86,74	0,72	8,05	64,27	26,10	1,74	189,83
19	4,24	91,21	1,04	9,43	81,64	26,19	1,06	214,81
20	3,47	54,14	1,38	63,45	118,59	45,88	1,96	288,87
Média	2,01	35,91	1,02	8,12	35,02	14,69	0,87	104,17
Incerteza	0,82	18,53	0,74	7,88	15,53	5,99	0,54	47,70

Fonte: Adaptado de WATZLAWICK (2003).

Igualmente ao povoamento de *Pinus taeda*, a quantidade de carbono orgânico do sub-bosque e da serapilheira acumulada também foram consideradas. Os valores são mostrados na Tabela 6 a seguir:

Tabela 6 - Carbono orgânico (t.ha<sup>-1</sup>) no Sub-bosque e na Serapilheira Acumulada na Floresta Ombrófila Mista Montana em General Carneiro, PR

Idade (anos)	Carbono Orgânico	
	Sub-bosque	Serapilheira
1	2,3	2,69
2	2,85	2,9
4	5,71	5,71
5	6,73	6,48
6	8,2	7,16
7	12,91	7,24
8	14,21	7,32
9	14,59	7,5
10	16,45	7,54
11	19,39	7,62
12	22	7,7
13	23,58	7,98
14	29,31	8,07
15	29,55	8,89
16	30,73	9,17
17	31,43	10,71
18	33,97	11,84
19	47,04	13,74
20	80,83	15,05
Média	21,85	8,01
Incerteza	10,48	1,75

Fonte: Adaptado de WATZLAWICK, 2003.

Para a Floresta Ombrófila Mista Montana, a densidade arbórea encontrada foi de 590 indivíduos por hectare. As espécies que foram encontradas na área de estudo estão relacionadas no anexo B.

Sendo assim, os valores escolhidos para a comparação foram 134,03 e 105,5 tC.ha<sup>-1</sup> para a Floresta Ombrófila Mista Montana e para o plantação de *Pinus taeda*, respectivamente. Estes valores são resultantes da soma do carbono orgânico arbóreo, do sub-bosque e da serapilheira acumulada.

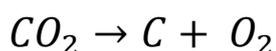
### 3.7 COMPARAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO NO ESCRITÓRIO VERDE COM AS TIPOLOGIAS FLORESTAIS

Nesta etapa do estudo, foi feita a comparação entre a quantidade de carbono real estocada nos materiais analisados e as tipologias escolhidas, que

correspondem à plantação de *Pinus taeda* e a floresta ombrófila mista montana, ambas situadas em General Carneiro, PR.

A quantidade real de carbono estocada foi definida por este trabalho como a quantidade de carbono presente na madeira, subtraída das emissões de dióxido de carbono provenientes do processamento destes materiais. Esta operação de subtração normalmente não é possível devido à incompatibilidade de variáveis. Porém, através da conversão dos números de carbono estocado em valores de CO<sub>2</sub> removido da atmosfera, foi possível fazer um balanço entre esse CO<sub>2</sub> removido da atmosfera no crescimento das árvores e o CO<sub>2</sub> emitido no processamento dos materiais, que foram confeccionados a partir destas árvores.

Sendo assim, foi utilizado o balanço de massa por meio da equação simplificada de fotossíntese para relacionar a quantidade de carbono estocada nos materiais com a quantidade de CO<sub>2</sub> removido da atmosfera. A equação de fotossíntese simplificada é mostrada abaixo:



A relação de massa entre o dióxido de carbono e o carbono é de aproximadamente 3,6. Então, as quantidades de estoque de carbono foram multiplicadas por este valor para que se pudesse obter o correspondente de CO<sub>2</sub> retirado da atmosfera pelos materiais lenhosos, enquanto estes faziam parte de um sistema vivo.

Após a conversão, a quantidade de CO<sub>2</sub> retirada da atmosfera pelos materiais analisados foi então comparada com as emissões de CO<sub>2</sub> que foram inventariadas por meio da metodologia de análise do ciclo de vida energético de materiais proposta por Tavares (2006). Nesta fase, foi definido o balanço de CO<sub>2</sub>, por meio da seguinte equação:

$$\text{Balanço de } CO_2 = \sum_i (A_i - B_i)$$

Em que:

A = Quantidade de CO<sub>2</sub> retirada da atmosfera pelo material do tipo i (tCO<sub>2</sub>)

B = Quantidade de CO<sub>2</sub> emitida no processo de fabricação do material do tipo i (tCO<sub>2</sub>)

i = tipologia de material

Para a comparação com as tipologias florestais, foi necessária a reconversão do balanço de CO<sub>2</sub> em toneladas de carbono estocado, dividindo o valor obtido por 3,6. Nesta etapa foi obtido o valor real de carbono estocado.

Por fim, esta quantidade de carbono estocada foi relacionada aos sistemas florestais, sendo possível definir um valor correspondente em hectares de fitofisionomia, assim como mostra a equação a seguir.

$$Va_i = \frac{C_r}{A_i}$$

Em que:

Va<sub>i</sub> = Valor de equivalência em área para a fitofisionomia do tipo i (ha)

A<sub>i</sub> = Quantidade de carbono estocada no sistema fitofisionomia do tipo i (kgC.ha<sup>-1</sup>)

C<sub>r</sub> = Quantidade real de carbono estocada no escritório verde da UTFPR

i = tipologia do sistema florestal

A seguir estes passos são demonstrados:

1. Conversão dos valores de carbono estocado obtidos em CO<sub>2</sub> absorvido da atmosfera (relação C – CO<sub>2</sub>);
2. Subtração dos valores de CO<sub>2</sub> absorvido da atmosfera pelos valores de emissão de CO<sub>2</sub> obtidos por meio da análise da energia embutida nos materiais;
3. Reconversão do resultado em um valor de toneladas de carbono real estocado (relação CO<sub>2</sub> – C) para que seja possível a comparação com as fitofisionomias;
4. Comparação dos valores.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ESTOQUE DE CARBONO NAS ESPÉCIES

O cálculo do estoque de carbono foi feito a partir do teor de carbono em cada espécie de vegetal que foi utilizada nos materiais.

A Tabela 7 a seguir contém os valores de teor de carbono para cada espécie analisada em gramas de carbono por quilograma de material.

Tabela 7 – Teores de carbono por espécie.

<b>Espécie</b>	<b>Teor de Carbono (gC.kg<sup>-1</sup>)</b>
<sup>2</sup> <i>Eucalyptus urograndis</i>	506,6
<sup>3</sup> <i>Erismia ucinatum</i>	475
<sup>1</sup> <i>Pinus taeda</i>	457

Fonte: <sup>1</sup> BALBINOT (2000), <sup>2</sup> NEVES (2003), <sup>3</sup> SANQUETTA (2012)

Na tabela 8 são mostrados a quantidade de material utilizado e valores de densidade.

Tabela 8 – Quantidades de material utilizado e densidades respectivas.

<b>Material</b>	<b>Densidade (kg.m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Quantidade utilizada (m<sup>3</sup>)</b>
Oriented Strand Board	597,5	10,5 <sup>2</sup>
Vigas I	597,5	5,5 <sup>2</sup>
Montantes	590	10,1 <sup>2</sup>
Decks	1300	1,20 <sup>4</sup>
Janela	520	6,9 <sup>3</sup>
Escada	570	0,75 <sup>1</sup>

Fonte: FORPLAS, LP BUILDING BRASIL, MADO, MADEPLAST 2014..

Com estes dados foi possível calcular a quantidade de carbono estocado nos materiais e conseqüentemente a quantidade de CO<sub>2</sub> abatido da atmosfera durante o período de crescimento do material renovável. A Tabela 9 a seguir reúne estes dados.

Tabela 9 – Estoque de carbono e abatimento de CO<sub>2</sub> nos materiais utilizados.

<i>Material</i>	<i>Carbono Estocado (tC)</i>	<i>CO<sub>2</sub> abatido (tCO<sub>2</sub>)</i>
Oriented Strand Board	2,887	10,39
Vigas I	1,502	5,41
Montantes	2,73	9,83
Madeira Plástica	0,39	1,41
Janela	1,82	6,55
Escada	0,203	0,73
<b>Total</b>	<b>9,52</b>	<b>32,34</b>

Fonte: O autor.

Absolutamente, foi observado que os painéis de OSB e os montantes, que formam a macro estrutura da edificação tiveram maior importância no quesito estoque de carbono, representando juntos mais da metade de todo o carbono estocado na construção. A Figura 17 a seguir mostra as quantidades totais de estoque de carbono para os materiais .

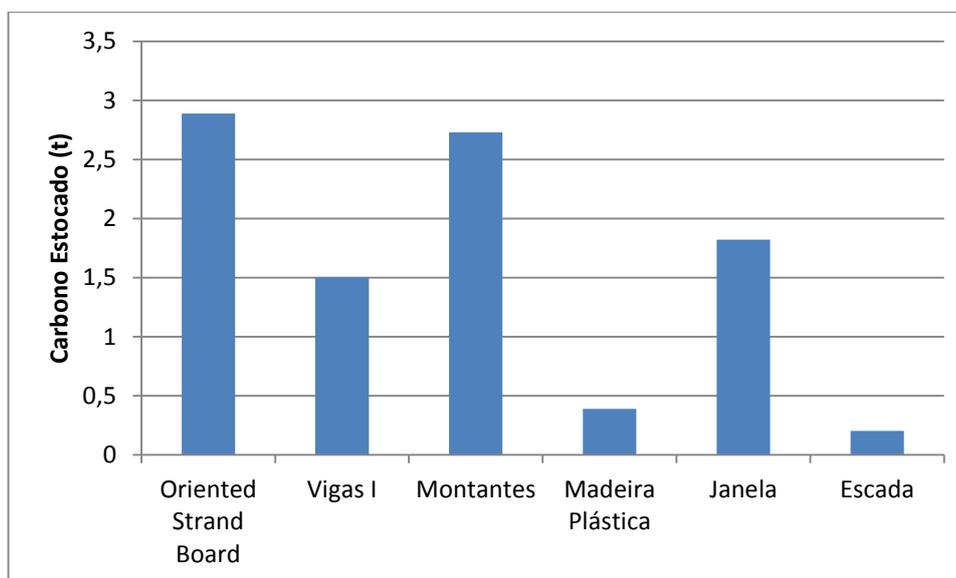


Figura 17 – Carbono estocado nos materiais analisados

Fonte: O autor

A Figura 18 a mostra a quantidade relativa de carbono estocado por tipologia de material.

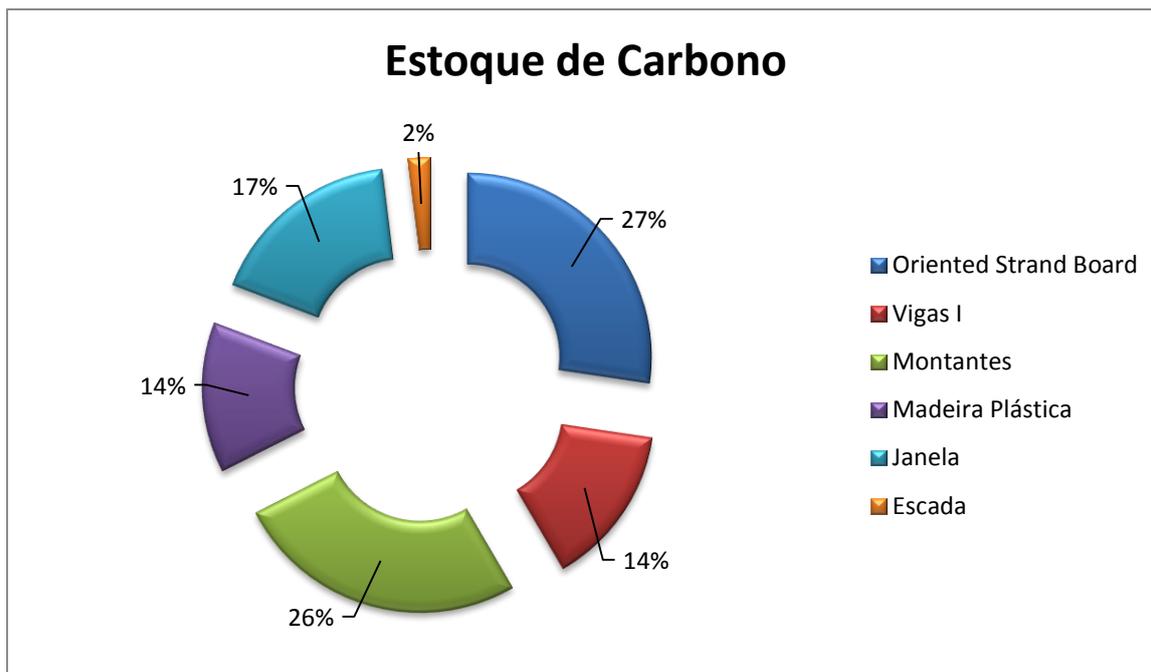


Figura 18 – Estoque de carbono relativo.  
Fonte: O autor

## 4.2 INVENTÁRIO DE CO<sub>2</sub> DOS MATERIAIS LENHOSOS DO ESCRITÓRIO VERDE

A partir da análise da quantidade de material lenhoso que foi utilizado no escritório e da aplicação da metodologia de análise do ciclo de vida energética de edificações residenciais brasileiras, proposta por Tavares (2006), foi possível obter a quantidade de CO<sub>2</sub> emitida no processo de fabricação e processamento destes materiais.

Os materiais avaliados foram:

- Montantes em *Pinus taeda*, que dão a sustentação da estrutura *wood framing*.
- Vigas I em *Pinus taeda*
- Painéis *Oriented Strand Board*, em *Pinus taeda* que compõem a vedação interna e externa do escritório verde;
- Janelas em *Eucalyptus urograndis*;
- Escada em *Erismia ucinatum*;
- Deck e em madeira plástica com 50% de *Pinus taeda*, compondo os decks externos;

Dentro da metodologia proposta por Tavares, os materiais lenhosos podem ser classificados em 4 diferentes categorias, com valores distintos de consumo energético, assim como é demonstrado na Tabela 10 a seguir.

Tabela 10 - Valores de energia embutida para diferentes materiais lenhosos

<b><i>Tipo de material</i></b>	<b><i>EE (MJ.m<sup>-3</sup>)</i></b>
Madeira- seca ao forno	2.100
Madeira – seca ao ar livre	300
Madeira – lamin. Colada	4.875
Madeira – MDF	5.850

Fonte: Tavares (2006)

Desta forma, por meio de uma avaliação simples do processo produtivo, os materiais foram classificados dentro destas quatro categorias, conforme a Tabela 11 abaixo.

Tabela 11 - Classificação dos materiais lenhosos

<b><i>Material</i></b>	<b><i>Classificação</i></b>
Oriented Strand Board	Madeira Laminada Colada
Vigas I	Madeira Seca ao Ar livre
Montantes	Madeira Seca ao Ar livre
Madeira Plástica	Madeira Laminada Colada
Janela	Madeira Seca em estufa
Escada	Madeira Laminada Colada

Fonte: O autor

A madeira plástica foi enquadrada como madeira laminada colada por possuir processos que envolvem altas temperaturas que dispendem muita energia. Apesar de não possuir classificação na metodologia proposta por Tavares (2006), este trabalho considerou que a classificação “madeira laminada colada” se adequa melhor ao material em questão.

Assim, assim, a emissão de CO<sub>2</sub> foi calculada baseada na quantidade de energia embutida no material, no volume de material utilizado, e no fator de emissão

associado à energia embutida, de acordo com os percentuais de distribuição no consumo desta energia. O fator de emissão foi calculado baseado nas Tabelas 3 e 4 consoante a Tabela 12 abaixo.

Tabela 12 - Fator de emissão de CO<sub>2</sub> por MegaJoule de energia consumida na categoria madeira

Fonte	Porcentagem do total de energia consumida (%)	Emissão (kgCO <sub>2</sub> .MJ <sup>-1</sup> )
Óleo Combustível	83	0,0798
Eletricidade	17	0,0181
Total	100	0,069

Fonte: Adaptado de TAVARES (2006).

Esta pode ser citada como uma limitação do estudo, uma vez que materiais diferentes passam por diferentes processos de fabricação. Estas diferenças resultam em variações nas porcentagens e nas tipologias de energia consumida. Porém, segundo a metodologia utilizada, não há como distinguir diferentes processos no que tange o fator de emissão de CO<sub>2</sub> para diferentes tipos de madeira.

Os materiais foram analisados quanto a sua emissão de CO<sub>2</sub>, a partir das variáveis citadas acima. A Tabela 13 a seguir ilustra os valores de emissão dos materiais considerados neste estudo. A energia embutida se refere aos valores dispostos no Quadro 2 de acordo com a classificação de cada material e com o volume utilizado.

Tabela 13 - Emissões de CO<sub>2</sub> dos materiais.

<i>Material</i>	<i>Quantidade utilizada (m<sup>3</sup>)</i>	<i>Energia Embutida (MJ)</i>	<i>Fator de Emissão (tCO<sub>2</sub>.MJ<sup>-1</sup>)</i>	<i>Emissão (tCO<sub>2</sub>)</i>
Oriented Strand Board	10,5	51187,5		3,53
Vigas I	5,5	1650		0,11
Montantes	10,1	3030	6,9 . 10 <sup>-5</sup>	0,21
Madeira Plástica	1,2	5850		0,40
Janela	6,9	14490		1,00
Escada	0,75	3656,25		0,25
<b>Total</b>				<b>5,51</b>

Fonte: O autor.

De acordo com os objetivos propostos, a correlação entre as emissões de CO<sub>2</sub> e o estoque de carbono nos materiais lenhosos foi possível devido à conversão do estoque de carbono em quantidade correspondente de CO<sub>2</sub> retirada da atmosfera. A Tabela 14 abaixo demonstra estes valores.

Tabela 14 - Balanço de CO<sub>2</sub> nos materiais analisados

<i>Material</i>	<i>CO<sub>2</sub> abatido (tCO<sub>2</sub>)</i>	<i>Emissões (tCO<sub>2</sub>)</i>	<i>Balanço positivo de CO<sub>2</sub>(tCO<sub>2</sub>)</i>
Oriented Strand Board	10,39	3,53	6,86
Vigas I	5,41	0,11	5,30
Montantes	9,83	0,21	9,62
Madeira Plástica	1,41	0,40	1,01
Janela	6,55	1,00	5,55
Escada	0,73	0,25	0,48
<b>Total</b>	<b>32,34</b>	<b>5,51</b>	<b>26,83</b>

Fonte: O autor

A partir destes valores, foi possível estabelecer a quantidade real de carbono estocada nos materiais, resultado da subtração correspondente em CO<sub>2</sub> abatido da atmosfera pelos materiais da quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> geradas no processo

de produção destes materiais e posterior reconversão em carbono estocado. Os valores reais de quantidade de carbono estocado são mostrados na Tabela 15 a seguir.

Tabela 15 - Estoque Real de Carbono

<i>Material</i>	<i>Balço positivo de CO<sub>2</sub></i> <i>(tCO<sub>2</sub>)</i>	<i>Estoque Real de</i> <i>Carbono(tC)</i>
Oriented Strand Board	+ 6,86	1,91
Vigas I	+ 5,30	1,47
Montantes	+ 9,62	2,67
Madeira Plástica	+ 1,01	0,28
Janela	+ 5,55	1,54
Escada	+ 0,48	0,13
<b>Total</b>	<b>+ 26,83</b>	<b>7,45</b>

Fonte: O autor

#### 4.3 COMPARAÇÃO DOS DADOS

Comparar a quantidade de carbono estocado na forma orgânica dentro dos materiais lenhosos presentes na edificação do Escritório Verde com a quantidade de carbono estocado por metro quadrado de duas tipologias florestais – uma floresta nativa e uma plantação de *Pinus taeda* – foi um dos objetivos desta pesquisa.

De acordo com os dados obtidos apresentados no trabalho realizado por Watzlawick (2003), as duas tipologias florestais apresentaram diferentes índices de biomassa por área e, conseqüentemente, diferentes índices de carbono estocado. As quantidades de carbono estocadas nas partes distintas consideradas são delimitadas nas Figuras 19 e 20.

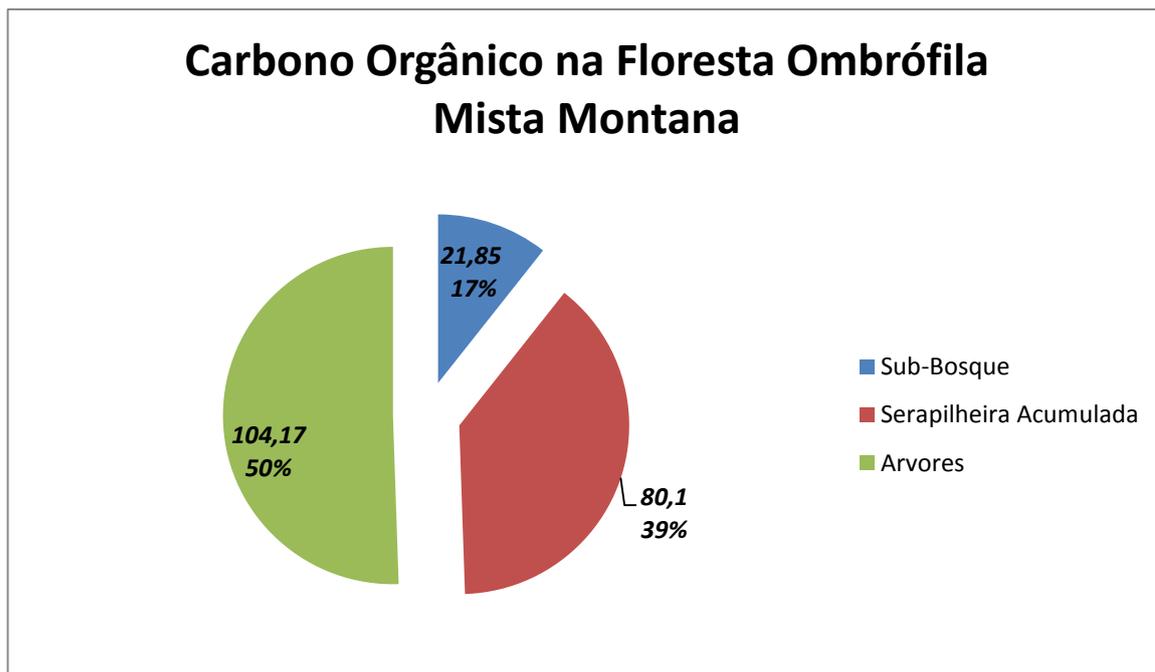


Figura 19 - Carbono orgânico (Mg.ha<sup>-1</sup>) na Floresta Ombrófila Mista Montana.  
Fonte: Adaptado de WATZLAWICK (2003).

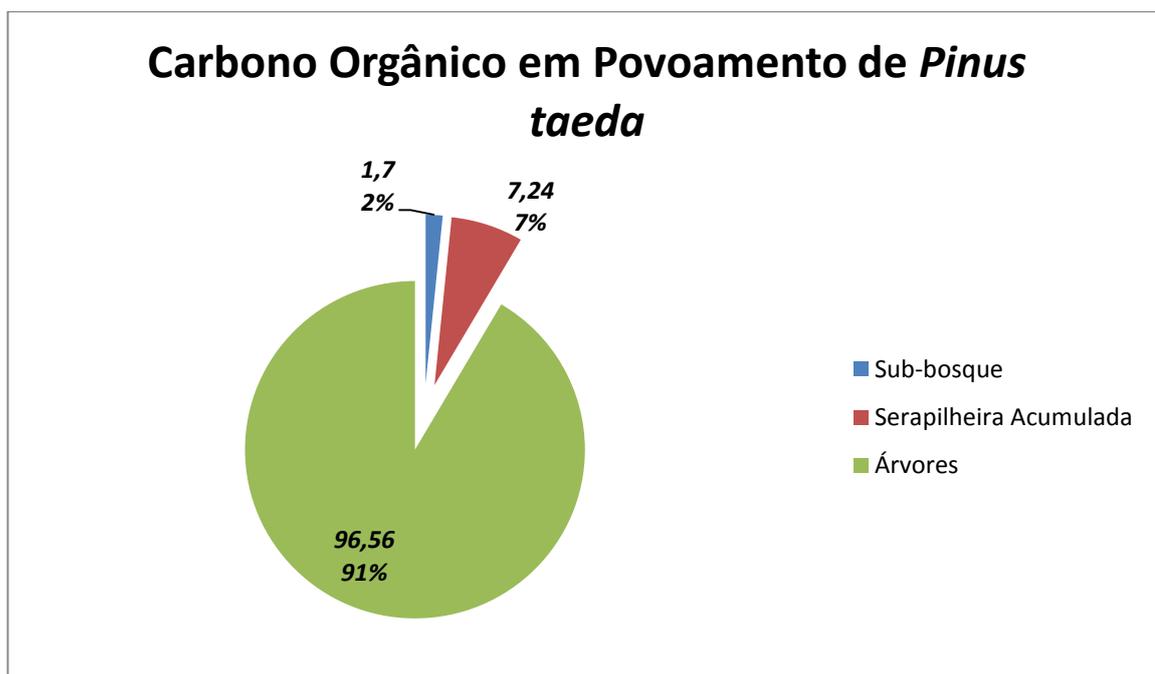


Figura 20 - Carbono orgânico (t.ha<sup>-1</sup>) em povoamento de *Pinus taeda*  
Fonte: Adaptado de WATZLAWICK, 2003.

As quantidades relativas de carbono real estocado no Escritório Verde por meio dos materiais lenhosos utilizados na edificação difere um pouco do padrão da Figura 18, uma vez que a quantidade de CO<sub>2</sub> liberada nos processos dos materiais é

diferente segundo a classificação dada a eles (Tabelas 9 e 10). A Figura 21 a seguir demonstra estes valores.

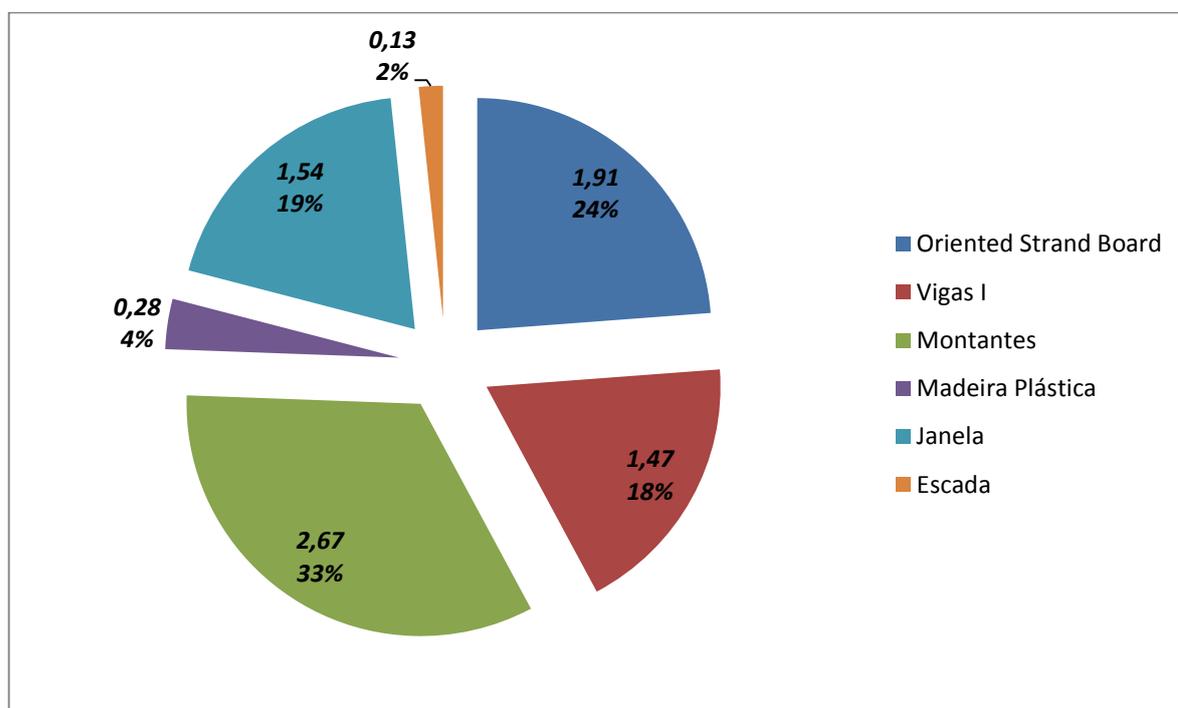


Figura 21 - Carbono real estocado (t) nos materiais analisados no Escritório Verde

Fonte: O autor

Importância foi dada para a quantidade de CO<sub>2</sub> emitida no processo, de forma a valorizar a quantidade real de carbono estocada. A figura a seguir demonstra claramente a relação entre a quantidade de CO<sub>2</sub> capturada da atmosfera pelos materiais enquanto árvores e as emissões de CO<sub>2</sub> do processamento destes, de forma a gerar os valores descritos na Figura 20 por meio da divisão dos valores pela constante aproximada de 3,6 (relação mássica entre C e CO<sub>2</sub>).

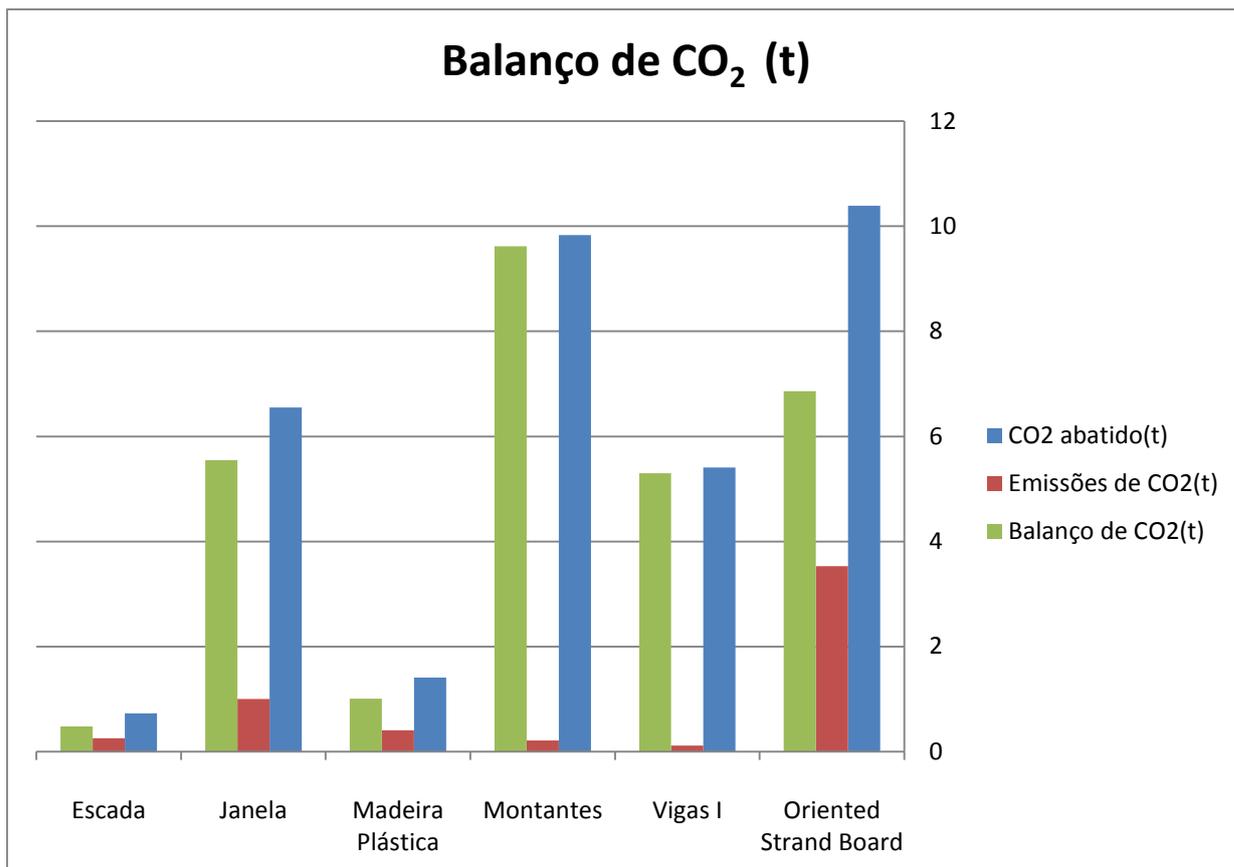


Figura 22 - Balanco de CO<sub>2</sub>  
Fonte: O autor

Estes valores resultam ao total no balanço positivo de 26,83 tCO<sub>2</sub>, conforme descrito na Tabela 14.

Nesta figura pode-se observar que as emissões de processo impactam de forma significativa no balanço de CO<sub>2</sub>, e que, desta forma, ao avaliar uma edificação como um reservatório de carbono, é necessário que se leve em consideração as emissões de CO<sub>2</sub> e não somente o estoque de carbono nos materiais.

Também é importante salientar que, segundo Börjesson e Gustavsson (2000), podem ocorrer emissões significativas de CO<sub>2</sub> na fase de desuso dos materiais e estas emissões podem variar de acordo com o destino dado a eles. Porém, esta pesquisa adquire valia como ferramenta de análise de edificações como reservatórios de carbono, desempenhando o mesmo papel de áreas cobertas de vegetação. A análise destas edificações não pode, contudo, ter uma dimensão temporal, servindo apenas para avaliar o estoque real de carbono nas edificações em um instante T, podendo ser utilizada de uma maneira aglutinada uma vez que dados estejam disponíveis. Sendo assim, é possível, em trabalhos futuros, uma análise de edificações em nível regional ou nacional.

Para o efeito de comparação com as tipologias florestais, este valor foi transformado em toneladas de carbono, e, pelo valor positivo, foram denominadas de toneladas de carbono real estocado.

A quantidade de carbono real estocada dentro dos materiais que compõem a edificação, de acordo com a Tabela 15, é de 7,45 tC. Com este valor, foi possível a comparação com a quantidade de carbono estocada por área de fitofisionomia. A Figura 23 a seguir demonstra a comparação dos valores encontrados com as tipologias florestais escolhidas. Os valores das fitofisionomias se referem à uma área de 1(um) hectare.

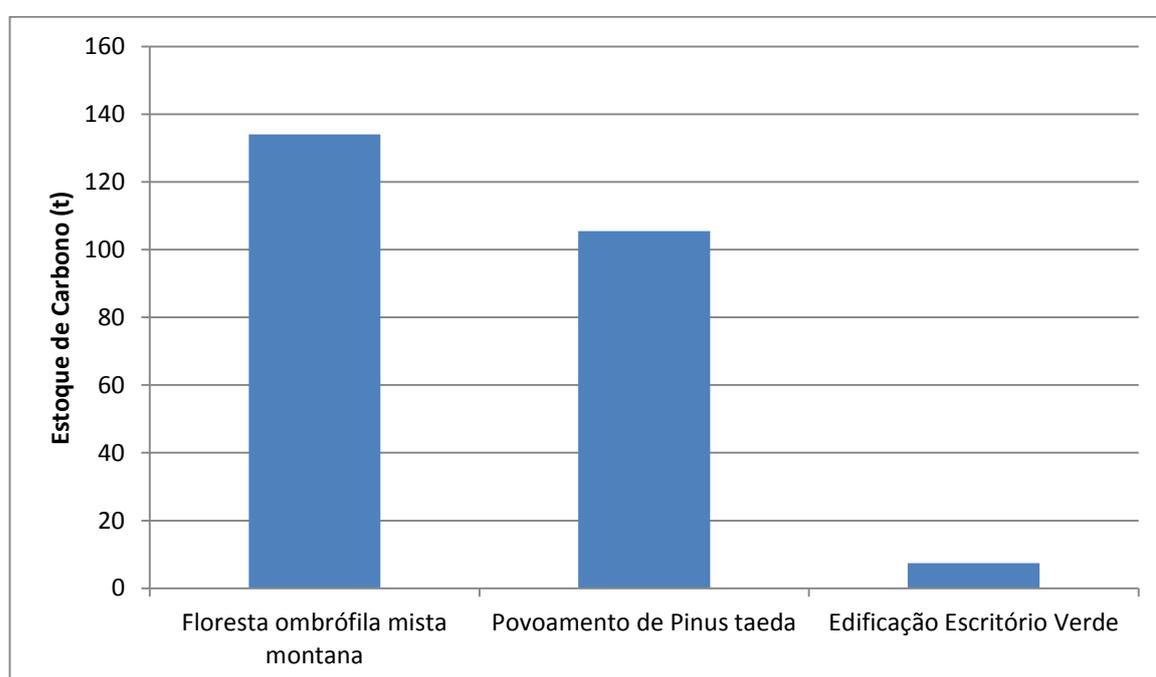


Figura 23 - Comparação do Estoque de Carbono  
Fonte: O autor

Esta figura revela que o Escritório Verde tem importância como reservatório de carbono, uma vez que a edificação possui uma área de 150 m<sup>2</sup> e os valores considerados nas tipologias florestais são referentes a 10000 m<sup>2</sup>.

Especificamente, quando comparados os estoques de carbono por área, a edificação do Escritório Verde estoca 0,050 tC.m<sup>-2</sup> em comparação com 0,013 tC.m<sup>-2</sup> para a Floresta Ombrófila Mista Montana e 0,011tC.m<sup>-2</sup> para o povoamento de *Pinus taeda*.

Este dado revela que as construções em *wood framing* podem estocar muito mais carbono por área – cerca de cinco vezes mais carbono – do que as florestas, mesmo considerando as emissões de CO<sub>2</sub> como atenuantes do valor de estoque nas construções.

Uma comparação mais precisa pode ser feita quando se analisa a correspondência em metros quadrados da edificação Escritório Verde com as fitofisionomias em termos de estoque de carbono. A Tabela 16 abaixo explicita um valor de área para o Escritório Verde que corresponde ao valor encontrado de estoque de carbono em certa área de fitofisionomia e se configura no objetivo principal do trabalho.

Tabela 16 - Relação de área entre a Edificação Escritório Verde e as tipologias florestais

<b>Fitofisionomia</b>	<b>Estoque de carbono (tC.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Equivalente em área do estoque real de carbono nos materiais do Escritório Verde(m<sup>2</sup>)</b>
Floresta Ombrófila Mista Montana	134,03	555,85
Povoamento de <i>Pinus taeda</i>	105,5	706,16

Fonte: O autor

Estes dados mostram que uma edificação construída no modelo *wood framing*, pode ser muito significativa em termos de estoque de carbono, mesmo considerando as emissões de CO<sub>2</sub> dos processos de produção dos materiais. Com 150 metros quadrados de área construída, o Escritório Verde consegue estocar uma quantidade real de carbono equivalente a 555,85 m<sup>2</sup> de Floresta Ombrófila Mista Montana e a 706,16 m<sup>2</sup> de um povoamento *Pinus taeda*.

Os valores apresentados neste trabalho revelam uma correlação positiva entre uma edificação e um reservatório de carbono representado por uma fitofisionomia qualquer. Neste caso, o estoque real de carbono pode ser considerado também um critério de sustentabilidade para a escolha de materiais e processos construtivos dentro do universo da construção civil, principalmente por levar em consideração as emissões do processo produtivo dos materiais analisados.

Contudo, alguns fatores puderam ser identificados como atenuantes da qualidade da pesquisa, como:

- a) Dados de entrada com pouca exatidão, assim como dados de energia embutida;
- b) Grandes incertezas associadas;
- c) Dificuldade de coleta de dados de fornecedores de material;
- d) Ausência de outros trabalhos que tratam edificações como reservatórios de carbono;

## 5 CONCLUSÕES

### 5.1 ATENDIMENTO DOS OBJETIVOS PROPOSTOS

- Como conclusão, ressalta-se que o objetivo principal desta pesquisa foi alcançado. Além disso, ao alcançar os objetivos específicos, outros indicadores foram explorados e explicitados.
- O Escritório Verde consegue estocar cerca de 7,45 toneladas de carbono devido aos materiais utilizados em sua construção se for considerada a emissão de CO<sub>2</sub> resultante do processo de produção dos mesmos. Caso contrário, se as emissões de CO<sub>2</sub> não forem consideradas, este valor fica estabelecido em 9,52 toneladas de carbono.
- Em relação às fitofisionomias, a pesquisa destacou que o Escritório Verde pode equivaler a 555,85 metros quadrados de floresta ombrófila mista montana e à 706,16 metros quadrados de povoamentos de *Pinus taeda*.
- Em se tratando de estoque de carbono por área, o Escritório Verde consegue reter aproximadamente 4 vezes mais carbono por metro quadrado quando comparado às duas tipologias florestais escolhidas. Sendo 0,05 tC.m<sup>-2</sup> para o Escritório Verde, 0,013 tC.m<sup>-2</sup> para a Floresta Ombrófila Mista Montana e 0,011 tC.m<sup>-2</sup> para o povoamento de *Pinus taeda*.
- Em termos de retirada de CO<sub>2</sub> da atmosfera, desconsiderando as emissões advindas do processamento dos materiais, o Escritório Verde conseguiu retirar 32,34 tCO<sub>2</sub> a partir dos materiais lenhosos presentes na edificação.

### 5.2 DISCUSSÃO DAS CONTRIBUIÇÕES

- As emissões de CO<sub>2</sub> existem em todos os processos de produção de madeira onde ocorre consumo de energia ou reações que liberam o gás. Esta pesquisa explicitou que este fator pode influenciar

significativamente o balanço de carbono em uma edificação quando se explora a contribuição desta edificação como um reservatório de carbono. Dentro dos conceitos de avaliação ambiental, às análises de balanço de carbono não são de fácil compreensão e ainda há muito a ser estudado no sentido de se obter e maior variabilidade, exatidão e precisão de dados para cálculos.

- Lobo (2010) descreve a metodologia de análise do ciclo de vida energético de materiais para explorar emissões de CO<sub>2</sub> como uma ferramenta de sustentabilidade. Sendo assim, esta pesquisa adiciona mais um fator de sustentabilidade, contribuindo para uma maior exatidão e novas possibilidades de análise para tomadas de decisão na construção civil uma vez que questões que tangem emissões de CO<sub>2</sub> ou balanços de carbono têm implicações globais de âmbito ambiental, social e econômico. Além do mais, uma parte representativa das quantidades de CO<sub>2</sub> que são lançadas anualmente na atmosfera é de responsabilidade da construção civil. Neste caso, este estudo, ao trazer implicações interessantes à cerca deste assunto, contribui para o avanço das pesquisas de sustentabilidade neste setor.
- Ressalta-se que a comparação do Escritório Verde com as fitofisionomias se dá somente enquanto reservatório de carbono, sendo desprezadas as infinitas variáveis e benefícios trazidos pelas áreas com cobertura vegetal, assim como preservação da biodiversidade, amenização de fatores climáticos entre outros.
- O valor de correspondência em área do Escritório Verde em relação as tipologias florestais é um valor consideravelmente alto e que pode, futuramente, ser utilizado para viabilizar metodologias de mecanismos de desenvolvimento limpo dentro do escopo setorial “construção”.
- A análise de incertezas, que considerou uma margem de erro de 10% para a metodologia proposta por Tavares (2006) e utilizou uma incerteza de cerca de 50%, valor este observado por Watzlawick (2003), trouxe desvios consideráveis para a pesquisa.

Alguns fatores dificultaram a pesquisa, como:

- a) Dados de entrada com pouca exatidão, assim como dados de energia embutida;
- b) Grandes incertezas associadas;
- c) Dificuldade de coleta de dados de fornecedores de material;
- d) Ausência de outros trabalhos que tratam de edificações como reservatórios de carbono.

### 5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Visto que há um grande avanço tecnológico e científico em torno da minimização dos impactos ambientais causados pela presença do homem no planeta, considera-se importante que haja desdobramentos desta pesquisa. Tal continuidade pode ser listada em tópicos a seguir:

- Uso da metodologia proposta nesta pesquisa para avaliação de outras edificações;
- Uso da metodologia proposta nesta pesquisa para avaliar o equivalente em área de fitofisionomia para um grupo de edificações em caráter regional ou nacional;
- Uso dos conceitos explicitados nesta pesquisa para propor novas metodologias junto ao UNFCCC, a fim de se desenvolver projetos de mecanismos de desenvolvimento limpo, uma vez que a retenção de carbono em construções atingiu um valor satisfatório e junto a uma futura análise econômica, poderá, dependendo da aprovação da metodologia no UNFCCC, propiciar ganhos econômicos à projetos de construção de casas no modelo *wood framing*, em grandes quantidades;
- Ampliação das pesquisas em energia embutida a fim de se obter fatores de emissão mais específicos que possam contribuir positivamente para a questão do balanço de carbono;
  - Ainda pode se citar o uso deste trabalho em projetos e pesquisas que tenham o objetivo de se alinhar com os preceitos de sustentabilidade, principalmente nas questões que tangem o estoque de carbono nas construções.

## REFERÊNCIAS

BAIRD, C; **Química Ambiental**, 2ª ed., Bookman: Porto Alegre, 2002.

BALBINOT, R. VALERIO. A.F. SANQUETTA, C.R. CALDEIRA, M.V.W. SILVESTRE. R. Estoque de Carbono em Plantações de *Pinus* spp. em Diferentes Idades no Sul do Estado do Paraná. **Revista Floresta** v.38 nº 2. 2007. p 317-324.

BÖRJESSON, J. GUSTAVSSON, L. Greenhouse gas balances in building construction: wood versus concrete from life-cycle and forest land-use perspectives. **Energy Policy**, v.28. p 575-588. 2000.

BOYLE, C. **Sustainable Buildings in New Zealand**. IPENZ Presidential Task Committee on Sustainability. New Zealand, March 2004

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2005: Ano base 2004**. Brasília, 2005.

BRASIL, G.H. SOUZA, P.A. CARVALHO, J.A. Inventários corporativos de gases de efeito estufa: métodos e usos. **Revista eletrônica Sistemas & Gestão**. v3, nº1 p.15-26. Jan 2008

CAPRA, F. **A Teia da Vida. Uma Nova Compreensão Científica dos Sistemas Vivos**. Editora Cultrix. São Paulo, 1996.

CASAGRANDE JR, E. F. Inovação Tecnológica e Sustentabilidade: Possíveis Ferramentas para uma Necessária Interface. **Revista Educação & Tecnologia**, Curitiba, v.8., n.2, 2004

CUNHA, G.M. GAMA-RODRIGUES, A.C. GAMA-RODRIGUES. E.F. VELOSO, A.C.X. Biomassa e Estoque de Carbono em Nutrientes em Florestas Montanas da Mata Atlântica na Região Norte do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.33. p 1175-1185

CUNHA, S.K. HASENCLEVER, L. **Ecoinovação e a Transição Para o Desenvolvimento Sustentável**. Sustentabilidade: anais de textos selecionados do V seminário sobre Sustentabilidade. p. 51-71. Editora Juruá. Curitiba. 2011

Decreto nº.31.180, de 30 de setembro de 2009. Dispõe sobre a compensação das emissões de gases do efeito estufa durante a construção das edificações licenciadas pela Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. **Diário Oficial do município do Rio de Janeiro**, 2009. Disponível em:

< <http://www.ademi.org.br/IMG/pdf/doc-869.pdf> > Acesso em: 22/01/2014.

DIEESE – DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICAS E ESTUDOS SÓCIOECONÔMICOS. **Estudo Setorial da Construção**. n.56. 2011. Disponível em <<http://www.dieese.org.br/esp/estPesq56ConstrucaoCivil.pdf>> Acesso em 22/11/2012

DONLAN, J. BYRNE, K. SKOG. K. Carbon Storage in Harvested Wood Products for Ireland 1961-2009. **Biomass and Bioenergy** v.46. Pag.731-738

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **National Air Quality and Emission Trends Report**. 2003

ESCRITÓRIO VERDE ONLINE. **O que é o Escritório Verde**. Disponível em <<http://www.escriptorioverdeonline.com.br/>> Acesso em 09/05/2013

FABRÍCIO, M. M. **Engenharia simultânea no projeto de edifícios**. 317 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, SãoPaulo, 2002.

FARIA, J.H. **Por uma Teoria Crítica da Sustentabilidade**. Sustentabilidade: anais de textos selecionados do V seminário sobre Sustentabilidade. p. 15-23. Editora Juruá. Curitiba. 2011

FERNANDES, T.J.G. SOARES, C.P.B. JACOVINE. L.A.G. ALVARENGA.A.P. Quantificação do carbono estocado na parte aérea e raízes de Hevea sp., aos 12

anos de idade, na Zona da Mata Mineira. **Revista Árvore**. vol.31 no.4 Viçosa Julho/agosto 2007.

FIGUEIREDO, E.O.; WADT, L.H.O.; PEREIRA, N.W.V. **Efeito da fragmentação no Sudoeste Acreano sobre a biomassa viva acima do solo e o estoque de carbono**. Anais do Congresso e Exposição Internacional Sobre Florestas. Porto Seguro, 2000. p. 280-282.

FLIZIKOWSKI, L.C. **Estimativa de Emissões de Dióxido de Carbono na Construção Civil e Neutralização com Espécies Florestais: Um Estudo de Caso**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. 121 p. Curitiba. Brasil.

FREITAS, I.M. **Os resíduos de Construção Civil no Município de Araraquara/SP**. 96 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) – Setor de Ciências agrárias, Centro Univeritário de Araraquara – UNIARA, 2009.

FRIZZO, S.M.B.; SILVA.M.G. **Composição química da madeira**. Universidade Federal de Santa Maria/Departamento de Química. Santa Maria.1998. p.3-17.

GBCB. GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. Disponível em: <<http://www.gbcbrazil.org.br/pt/>>. Acesso em: 24/11/2012

GIL, A.C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 3ª edição. Atlas. São Paulo. 1995

GUSTAVSSON. L. SATHRE. R. Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. **Building and Energy**. V.41. p. 940-951. 2006

HAGALE. T.S. **Compensação Florestal na Construção Civil: Estudo de Caso na Obra do Tribunal Superior Eleitoral**. Trabalho de Conclusão de Curso.43 p. Brasília-DF. 2011

HIGUCHI, N.; CARVALHO JUNIOR, J. A. de. **Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia**. Anais : Emissão x Sequestro de CO<sub>2</sub> – Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil, Rio de Janeiro, 1994. p. 125–153.

IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Contribution of Working Group I for the Fourth Assessment Report (AR4)**. Summary for Policy Makers (SPM), WMO/UNEP, Genebra, Suíça. 2007.

IPCC – PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Land Use, Land Change and Forestry Special Report**. Summary for Policymakers (SPM). Montreal, Canadá. 2000.

IPCC – PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the third assessment report of the IPCC (AR3)**. Cambridge, United Kingdom/New York, USA. 2001

JACOBI, P. **Educação Ambiental, Cidadania e Sustentabilidade**. Cadernos de Pesquisa, n. 118, p. 189-205, março/ 2003

KIBERT, C. J.; GUY, B. **Developing Sustainable Communities and Buildings: Planning, Design, and Construction**. Unpublished Course Material for BCN 6585 Principles of Sustainable Development and Construction, Center for Construction and Environment, University of Florida, 1997.

KOBISKI, B.V; CASAGRANDE. E; MORAES, E; RADASKIEVICZ, T. **Comparativo de Emissões de Casas de Alvenaria de Interesse Social e Casas Utilizando o Sistema de Construção Energética Sustentável**. Encontro Latino Americano sobre Edificações e Construções Sustentáveis. Vitória. 2011.

KOEHLER, H.S.; WATZLAVICK, L.F.; KIRCHNER, F.F. Fontes e níveis de erros nas estimativas do potencial de fixação de carbono. **As florestas e o carbono**. Curitiba, 2002. p. 251-264

LAERA, L.H.N. MEIRELLES, M.S.P. TANIZAKI.K.F. **Controle de Emissões de CO<sub>2</sub> na Construção Civil, Uma análise da Eficiência dos Instrumentos Legais Disponíveis no Município do Rio de Janeiro.** Revista Interthesis. Vol 9. Nº 1. Jun/jul 2012. P. 223-242 Florianópolis. Brasil.

Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 dez. 2009

LOBO, A.V. R. SANTOS, D.C. FREITAS, M.C. TAVARES, S.F. **Subsídios para proposta de avaliação de sustentabilidade em edificações na Região Metropolitana de Curitiba.** In: ENCONTRO NACIONAL, 5.;ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 3., 2009, Recife. Anais... Recife, PE, 2009.

LOBO, F.H.R. **Metodologia de Inventário de Emissão Equivalente de Dióxido de Carbono por Meio de Análise Energética de Composição de Serviços de Obras Pelo Ciclo de Vida de Edificações.** Dissertação (mestrado). Programa de pós graduação em engenharia civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2010

LOBO, A. V. R.; LOBO, F. H. R. **Proposta de sistema de avaliação de sustentabilidade de edificações públicas: estudo de caso.** Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação. Especialização em Projetos e Obras Públicas, Curitiba, 2008.

MAO, C. SHEN. Q. SHEN, L. TANG. L. Comparative study of greenhouse gas emissions between off-siteprefabrication and conventional construction methods: Two casestudies of residential projects. **Energy and Buildings.** V.66 p. 165-176. 2013

MARCOS, M.H.C. **Análise da Emissão de CO<sub>2</sub> na Fase Pré-Operacional da Construção de Habitações de Interesse Social Através da Utilização de Uma Ferramenta CAD-BIM.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2009

MARQUES, L.E.M.M. **O Papel da Madeira na Sustentabilidade da Construção**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. 2008.

MATTOS, R.L.G, GONÇALVEZ, R.M, CHAGAS, F.B. **Painéis de Madeira no Brasil: Panorama e Perspectivas**. BNDES setorial. Nº 27, p. 121-156. Rio de Janeiro. Março, 2008.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (Brasil). Mudanças Climáticas. **Fatores de Emissão para o Consumo de Energia Elétrica**. Disponível em <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/75293>> Acesso em 22/11/12

MONAHAN, J. POWELL, J.C. An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a lifecycle assessment framework. **Building and Energy**. v.43 p.179-188. 2011

NEVES, J.C.L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de Eucalipto na região litorânea do Espírito Santo**. Tese (Doutorado) Rio de Janeiro: 2000.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU; PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO - PNUD. **Relatório de Desenvolvimento Humano 2007/2008: combater as alterações climáticas: solidariedade humana num mundo dividido**. Gramado, 2007.

PEREIRA, J.L.G. BATISTA. G.T THALÊS, M.C. **Alteração do estoque de carbono de uma região do sudeste do Pará entre 1973 e 1997**. Anais: GisBrasil, Salvador, 2000.

PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. **Guia para a elaboração de inventários corporativos de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE)**. São Paulo, 2009.

PROTOCOLO DE QUIOTO. **Protocolo de Quioto. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.** Ministério da Ciência e Tecnologia com o apoio do Ministério das Relações Exteriores da República Federativa do Brasil. 1997.

RENNER, R. M. **Sequestro de Carbono e a Viabilização de novos reflorestamentos no Brasil.** 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

RIBEIRO, M.S. **Os Créditos de Carbono e Seus Efeitos Contábeis.** Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade / Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto, 2006.

ROCHA, M. J. B. **Do mecanismo de desenvolvimento limpo ao programa de atividades: uma análise do uso do biodiesel e da energia eólica no Brasil.** Dissertação(Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SATHRE, R. GUSTAVSSON, L. Using Wood Products to Climate Change Mitigation. **Journal Applied Energy.** nº 86. p. 251-257. 2009.

STACHERA, T.J. **Avaliação de Emissões de CO<sub>2</sub> na Construção Civil: Um Estudo de Caso da Habitação de Interesse Social no Paraná.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008

STACHERA, T.; CASAGRANDE, E. **Avaliação das emissões de CO<sub>2</sub> na construção civil: um estudo de caso da habitação de interesse social no Paraná.** IX ENGEMA – Encontro Nacional sobre Gestão e Meio Ambiente, Curitiba. 2007.

SILVA, C.E.L. LIMA, G.B.A. CARDOSO, R. NARCIZO.R.B. **Inovação Sustentável: Uma Revisão Bibliográfica.** Vi Congresso Nacional de Excelência em Gestão. 2010.

SILVEIRA P. KOEHLER. H.S. SANQUETTA. C.R. ARCE, J.A. O Estado da Arte na Estimativa de Biomasse e Estoque de Carbono em Formações Florestais. **Revista Floresta**. Curitiba, PR, v. 38, n. 1, jan./mar. 2008.

STERN, N. **Stern Review on the Economics of Climate Change**. Cambridge University Press, 2006.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energética de edificações residenciais brasileiras**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TRUIT, P. **Potencial for Reducing Greenhouse Emissions in Construction Sector**. Environmental Protection Agency. Fevereiro 2009.

UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **CDM Methodologies for large scale projects**. Disponível em <<http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/approved>>. Acesso em 26/11/2012.

VIEIRA, S. M. M.; SILVA, J. W. **Primeiro Inventário Brasileiro e Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Relatórios de Referencia**. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia, UFRJ. Rio de Janeiro , 2006.

VENTURA, M.M. O Estudo de Caso como Modalidade de Pesquisa. **Revista Socerj**. V 20, setembro de 2007, p 383-386.

VITOUSEK. P.M. MOONEY.H.A. LUBCHENCO J. MELILLO. J.M.. Human domination of earth's ecosystems. **Science**. V.277, 25 de julho de 1997. p.494-499.

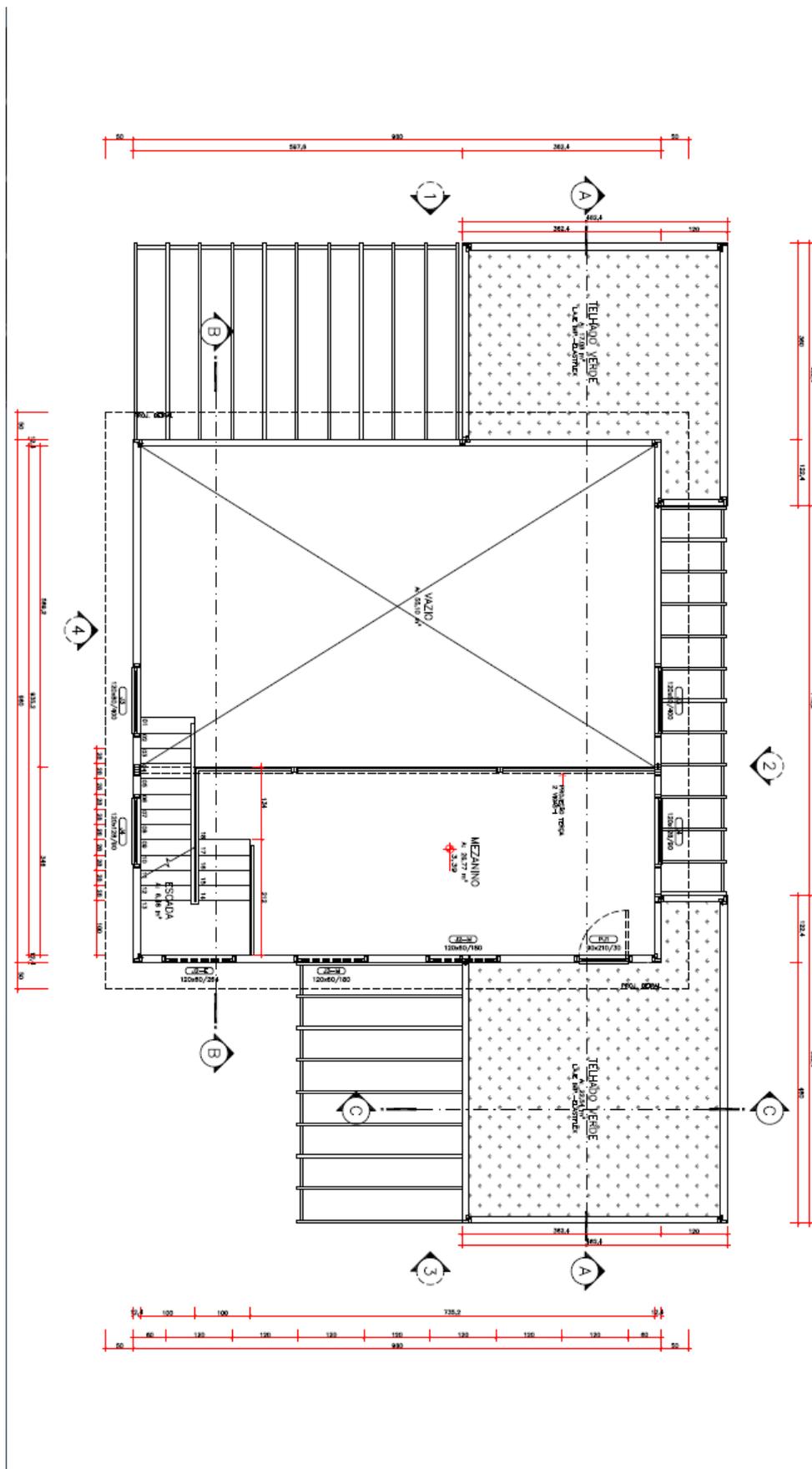
WANG, L. TOPPINEN, A. HEIKKI, J. Use of Wood in Green Building: A study of Expert Perspectives from the UK. **Journal of Cleaner Production**. 2013. p. 1-12

WATZLAWICK, L.C. **Estimativa de Biomassa e Carbono em Floresta Ombrófila Mista e Plantações Florestais a partir de Dados de Imagens do Satélite IKONOS II**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2003.

YIN, R.K. **Case Study Research. Design and Methods**. 3<sup>rd</sup> edition. Applied Social Research Method Series. Volume 5. Thousand Oaks. London. USA. 2002.

ZEPP, R.G. CALLAGHAN, T.V. ERICKSON, D.J. **Effects of Increases Solar Ultraviolet Radiation on Biochemycal Cycles**. Academia Sueca de Ciências. Suécia, 1995.







**ANEXO B – ESTIMATIVAS FITOSSOCIOLÓGICAS DAS ESPÉCIES  
ENCONTRADAS NA FLORESTA OMBROFILA MISTA MONTANA**

<i>Espécie</i>	<i>N</i>	<i>Ab abs</i>	<i>D abs</i>	<i>Fr abs</i>	<i>AB rel</i>	<i>D rel</i>	<i>Fr rel</i>	<i>IVC</i>	<i>IVI</i>
<i>Ocotea porosa</i>	11	38,19	9,37	45	6,47	24,13	8,26	30,6	38,86
<i>Araucaria angustifolia</i>	15	52,08	7,88	45	8,82	20,28	8,26	29,1	37,36
<i>Mortas</i>	11	38,19	1,56	30	6,47	4,02	5,5	10,49	16
<i>Ilex paraguariensis</i>	14	48,61	0,71	40	8,24	1,84	7,34	10,08	17,42
<i>Myrsine ferruginea</i>	10	34,72	1,09	25	5,88	2,82	4,59	8,7	13,29
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	3	10,42	2,36	15	1,76	6,07	2,75	7,84	10,59
<i>Styraxvleprosus</i>	10	34,72	0,68	30	5,88	1,75	5,5	7,63	13,14
<i>Myrsinevumbellata</i>	9	31,25	0,65	20	5,29	1,67	3,67	6,97	10,64
<i>Dicksonia sellowiana</i>	7	24,31	1,07	25	4,12	2,75	4,59	6,87	11,45
<i>Piptocarpha angustifolia</i>	8	27,78	0,83	20	4,71	2,15	3,67	6,85	10,52
<i>Jacaranda puberula</i>	7	24,31	0,98	20	4,12	2,51	3,67	6,63	10,3
<i>Sapium glandulatum</i>	7	24,31	0,94	20	4,12	2,42	3,67	6,53	10,2
<i>Myrciasp.</i>	8	27,78	0,48	20	4,71	1,23	3,67	5,94	9,61
<i>Nectandra megapotamica</i>	3	10,42	1,48	15	1,76	3,82	2,75	5,59	8,34
<i>Cupania vernalis.</i>	3	10,42	1,46	10	1,76	3,75	1,83	5,52	7,35
<i>Allophylus edulis</i>	5	17,36	0,76	5	2,94	1,96	0,92	4,91	5,82
<i>Mimosa scabrella</i>	4	13,89	0,91	10	2,35	2,34	1,83	4,69	6,52
<i>Ocotea puberula</i>	3	10,42	0,78	15	1,76	2,01	2,75	3,77	6,53
<i>Ilex dumosa</i>	4	13,89	0,52	20	2,35	1,35	3,67	3,7	7,37
<i>Symplocos uniflora</i>	4	13,89	0,27	20	2,35	0,7	3,67	3,05	6,72
<i>Ocotea pulchella</i>	2	6,94	0,65	10	1,18	1,68	1,83	2,86	4,69
<i>Quillaja brasiliensis</i>	1	3,47	0,76	5	0,59	1,95	0,92	2,54	3,45
<i>Casearia decandra</i>	3	10,42	0,16	5	1,76	0,4	0,92	2,16	3,08
<i>Ilex microdonta</i>	3	10,42	0,13	5	1,76	0,34	0,92	2,11	3,03
<i>Matayba elaeagnoides</i>	2	6,94	0,25	5	1,18	0,65	0,92	1,83	2,75
<i>Persea major</i>	1	3,47	0,44	5	0,59	1,12	0,92	1,71	2,63
<i>Calyptranthes concinna</i>	2	6,94	0,14	10	1,18	0,35	1,83	1,53	3,37
<i>Prunus brasiliensis</i>	1	3,47	0,31	5	0,59	0,81	0,92	1,39	2,31
<i>Sloanea lasiocoma</i>	1	3,47	0,27	5	0,59	0,7	0,92	1,29	2,21
<i>Clethra scabra</i>	1	3,47	0,22	5	0,59	0,57	0,92	1,16	2,08
<i>Vernonia discolor</i>	1	3,47	0,18	5	0,59	0,46	0,92	1,04	1,96
<i>Drimys brasiliensis</i>	1	3,47	0,17	5	0,59	0,44	0,92	1,03	1,95

<i>Espécie</i>	<i>N</i>	<i>Ab abs</i>	<i>D abs</i>	<i>Fr abs</i>	<i>AB rel</i>	<i>D rel</i>	<i>Fr rel</i>	<i>IVC</i>	<i>IVI</i>
<i>Ilex theezans</i>	1	3,47	0,16	5	0,59	0,41	0,92	0,99	1,91
<i>Sebastiania commersoniana</i>	1	3,47	0,13	5	0,59	0,32	0,92	0,91	1,83
<i>Symplocos celastrina</i>	1	3,47	0,04	5	0,59	0,1	0,92	0,69	1,61
<i>Sebastiania brasiliensis</i>	1	3,47	0,03	5	0,59	0,07	0,92	0,66	1,58
<i>Schinus terebinthifolius</i>	1	3,47	0,02	5	0,59	0,05	0,92	0,64	1,56
TOTAL	170	590,28	38,84	545	100	100	100	200	300

Fonte: WATZLAWICK (2003).