

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS**

**LARISSA CARRERA FERNANDES DOS SANTOS**

**AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DA CONSTRUÇÃO:  
COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM  
ALVENARIA E EM *WOOD LIGHT FRAME***

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA  
2012**

LARISSA CARRERA FERNANDES DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DA CONSTRUÇÃO:  
COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM  
ALVENARIA E EM *WOOD LIGHT FRAME***

Monografia de Especialização apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção de Grau em Especialização em Construções Sustentáveis.

Orientador: Prof. Dr. Eloy Casagrande Jr.

**CURITIBA**

**2012**

## **AGRADECIMENTOS**

À Tecverde pela disponibilidade e atenção ao permitir e conduzir visitas técnicas à fábrica e a obras em andamento,

Ao Professor Dr. Eloy Fassi Casagrande Jr. Pela orientação e apoio para desenvolvimento desta monografia,

Aos colegas do II Curso de Especialização em Construções Sustentáveis que me ajudaram a compreender melhor a atuação outros profissionais envolvidos no setor da construção,

Às minhas colegas de profissão por assessorar e dar contribuições ao andamento desta monografia, em especial a Eng<sup>a</sup> Ambiental Juliana de Moraes Ferreira,  
À minha família por sempre apoiar meus estudos,

Ao Programa de Pós Graduação em Tecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela disponibilização de livros e instalações para pesquisa.

## RESUMO

SANTOS, Larissa Carrera Fernandes dos. Avaliação de impactos ambientais da construção: comparação entre sistemas construtivos em alvenaria e em *Wood Light Frame*. 2012. 77 f. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) – Departamento Acadêmico de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

Foi realizada avaliação de impactos ambientais em dois sistemas construtivos, em alvenaria e em *Wood Light Frame*. Para basear o estudo foram usados princípios da Análise do Ciclo de Vida e dos Estudos de Impacto Ambiental. A adaptação do escopo da avaliação dos impactos ambientais foi a contribuição dos princípios da Análise do Ciclo de Vida, assim como a avaliação em etapas do ciclo da edificação. No estudo foi constatado que as construções em *Wood Light Frame* são mais vantajosas à conservação ambiental em diversos aspectos, do que as construções em alvenaria. Isso porque apresentam menos impactos ao longo do ciclo de vida das edificações. Foi possível evidenciar também argumentos ao consumidor e aos profissionais do setor da construção sobre quais são os aspectos mais significativos em impactos ambientais de tal forma a considerá-los no momento da decisão pelo tipo de construção.

**Palavras chave:** Sustentável, sustentabilidade, construção, ciclo da edificação, ciclo de vida.

## ABSTRACT

SANTOS, Larissa Carrera Fernandes dos. Evaluation of construction environmental impacts: comparison between construction systems in masonry and in Wood Light Frame. 2012. 77 p. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) – Departamento Acadêmico de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

The study shows an assessment of environmental impacts of two construction systems, masonry and Wood Light Frame. To base it, it was used the principles of Life Cycle Analysis and Environmental Impact Studies. The scope adaptation of the environmental impact assessment was the contribution of the principles of Life Cycle Analysis, as well as the evaluation in steps of the building cycle. In the study it was found that the buildings in Wood Light Frame are better to environmental conservation in various aspects than the construction system in masonry. That is because the first has less impacts along the life cycle of buildings. The results showed also arguments to the consumer and professionals in the construction industry about which are the most significant environmental impacts so to consider them when deciding the type of construction.

**Keywords:** Sustainable, sustainability, construction, construction cycle, life cycle.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Explicação da expressão relativa ao consumo de componentes de alvenaria.....	17
Figura 2 – Fluxograma da produção de tijolos .....	18
Figura 3 – Processo produtivo do cimento .....	22
Figura 4 – Exemplo de parede construída na forma tradicional de alvenaria.....	25
Figura 5 – Disposição de resíduos em obra de grande porte.....	26
Figura 6 – Exemplo de construções em WLF: A – Construção da Ecohaus e B – Escritório Verde, ambas em Curitiba-Paraná .....	28
Figura 7 – Pinus utilizado para montagem do painel em WLF em diferentes formatos .....	33
Figura 8 – Forma como as tábuas chegam à fábrica da Tecverde .....	33
Figura 9 – Isolamento térmico acústico de lã de PET e de lã de vidro.....	34
Figura 10 – Composição <i>waferboard</i> e OSB.....	35
Figura 11 – Placa de OSB.....	36
Figura 12 – Membrana Hidrófuga.....	37
Figura 13 – Placa cimentícia colocada na parte externa de projeto piloto da Tecverde realizado no Senai-PR (Unidade CIC).....	38
Figura 14 – Gesso acartonado .....	39
Figura 15 – Composição painel de WLF Tecverde. ....	40
Figura 16 – Estrutura de painel no Escritório Verde com detalhe para a membrana de Pneu reciclado.....	42
Figura 17 – Dispositivos para conexão entre componentes do painel .....	43
Figura 18 – Fixação por grampos das placas de OSB.....	43
Figura 19 – Mesa pneumática para produção dos painéis e equipamento utilizado para movimentação (talha).....	44
Figura 20 – Abertura para saída de fiação em residência construída pela Tecverde no Condomínio Ville Annecy: a localização de conduites já estava prevista em projeto .....	45
Figura 21 – Caçamba no local da construção no Condomínio Ville Anecy sem segregação de resíduos: nota-se que a maioria são restos de acabamentos, mas a Tecverde pode intervir no que se trata dos componentes de sua tecnologia construtiva.....	46
Figura 22 – Fases do ciclo de vida.....	51
Figura 23 – Análise do ciclo de vida das edificações .....	52

Figura 24 – Etapas consideradas na avaliação de impactos.....	59
Quadro 1 – Sistema produtivo de Pinus.....	32
Quadro 2 – Etapas da Análise do Ciclo de Vida.....	51
Quadro 3 – Resumo do raciocínio utilizado como base para uma formulação geral de cálculo de ACV .....	54
Quadro 4 – Emissões dos componentes de construções em alvenaria e em WLF...62	
Quadro 5 – Classificação dos Resíduos da Construção Civil conforme o Art. 3º da Resolução 307/2004 .....	64
Quadro 6 – Resíduos de construções em alvenaria e em WLF conforme Classificação na Resolução 307/ 2004.....	65
Quadro 7 – Resíduos de construções em alvenaria e em WLF conforme Classificação na NBR 10004.....	66
Quadro 8 – Impactos ambientais significativos e não significativos da alvenaria: tijolo e argamassa para conexão de tijolos.....	67
Quadro 9 – Aspectos ambientais do WLF: Pinus, OSB, lã de PET, lã de vidro, membrana hidrófuga, placa cimentícia, gesso acartonado .....	69

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Área total de florestas plantadas com a espécie Pinus .....	27
--	----

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV – Análise do Ciclo de Vida

AIA – Avaliação de Impactos Ambientais

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais  
Renováveis

ISO – *International Organization for Standardization*

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

OSB – *Oriented Strand Board*

RCC – Resíduos da Construção Civil

TCPO – Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos

WLF – *Wood Light Frame*

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	12
1.1 OBJETIVOS .....	13
1.1.1 Objetivo geral.....	13
1.1.2 Objetivos específicos .....	13
1.2 JUSTIFICATIVA .....	14
1.3 Metodologia de estudo.....	14
1.3.1 Escopo.....	15
2. CONSTRUÇÕES EM ALVENARIA E EM WLF – COMPONENTES E PROCESSO CONSTRUTIVO .....	16
2.1 ALVENARIA .....	16
2.2.1 Componentes utilizados em construções tradicionais de alvenaria .....	17
2.2.1.1 Tijolo cerâmico .....	17
2.2.1.2 Argamassa para conexão entre tijolos.....	20
2.2.2 Processo construtivo em alvenaria .....	24
2.2 WLF - definições, especificações e inventário .....	27
2.3.1 Componentes dos painéis em WLF .....	29
2.3.1.1 Pinus.....	30
2.3.1.2 Isolante térmico e acústico .....	34
2.3.1.3 OSB – Oriented Strand Board .....	35
2.3.1.4 Membrana Hidrófuga .....	37
2.3.1.5 Placa cimentícia .....	37
2.3.1.6 Gesso acartonado .....	38
2.3.2 Processo produtivo do WLF .....	40
3 FORMAS DE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS.....	47
3.1 Avaliação do Ciclo de Vida.....	47
3.1.1 Metodologia ACV .....	50
3.1.2 Avaliação de impactos ambientais do ciclo de vida do produto .....	53
3.1.3 O princípio de avaliação de ACV em softwares .....	53
3.2 Estudo de Impacto Ambiental .....	56

4 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM CONSTRUÇÕES EM ALVENARIA E WLF .....	59
4.1 energia .....	60
4.2 Emissões atmosféricas E RUÍDOS .....	62
4.3 CONSUMO DE RECURSOS hídricos.....	63
4.4 Resíduos da Construção Civil.....	63
4.5 ASPECTOS AMBIENTAIS POR TIPO DE CONSTRUÇÃO E COMPONENTES .....	66
5 CONCLUSÃO.....	70
REFERÊNCIAS.....	72

## 1 INTRODUÇÃO

No âmbito da construção civil no Brasil, autoridades, mídia e sociedade civil estão, nos últimos anos, fazendo pressões no setor para incentivar produção menos poluente de insumos, produtos com menos impacto ambiental agregado e métodos de construção mais eficientes. Isto gera a disseminação de conceitos equivocados ou não fundamentados cientificamente, existindo assim a necessidade de realizar de estudos para disponibilizar ao consumidor informações confiáveis sobre os efeitos ambientais negativos (impactos) por ventura associados aos produtos.

Existem várias metodologias para a análise de impacto ambiental com respectivas adaptações às peculiaridades de cada esfera de serviços e produtos oferecidos. Uma opção para avaliação de produtos é a Análise do Ciclo de Vida (ACV), cujos princípios foram disseminados mundialmente nos anos 70 e formalizada na NBR ISO 14040 em 2001, “Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura”.

Na ACV recomenda-se definir de forma clara aspectos a serem avaliados antes de começar a pesquisa para que sirvam de parâmetros de comparação entre diferentes estudos, pois é esta comparabilidade que torna a ACV uma ferramenta para a tomada de decisão.

Outra ferramenta muito importante utilizada é o Estudo de Impacto Ambiental (EIA), geralmente realizado antes da construção do empreendimento para obter a primeira licença ambiental – Licença Prévia. Embora o estudo tenha diversas versões simplificadas e seja atualmente usado apenas para obter tal licença, é muito importante destacar a quantidade de informações ambientais levantadas e o potencial como base de dados para futuras construções serem mais eficientes

Adotando-se ACV e Estudos de Impacto Ambiental, esta monografia trata de uma análise comparativa entre dois tipos de construção: sistema construtivo em alvenaria e em *Wood Light Frame* (WLF). Optou-se pela comparação da construção tradicional de alvenaria com construções em WLF devido à alta popularidade deste último no exterior, especialmente Estados Unidos e Europa, e pela existência de duas empresas deste ramo em Curitiba. Há também certa similaridade no processo construtivo que permite essa comparação e, portanto, a análise final não fica

tendenciosa. Importante destacar que a ACV não foi quantificada devido a histórico muito breve da construção no sistema construtivo em WLF no Brasil.

## 1.1 OBJETIVOS

Proporcionar argumentos ao consumidor uma perspectiva sobre quais são os aspectos mais significativos dentro do ciclo de vida e de qual forma avaliá-los no momento da tomada de decisão, bem como estabelecer qual construção é mais vantajosa no que se refere à conservação do meio ambiente, se no sistema construtivo em alvenaria ou em *Wood Light Frame*.

### 1.1.1 Objetivo geral

Realizar análise comparativa sobre aspectos e impactos ambientais inerentes aos sistemas construtivos em alvenaria e em WLF através dos princípios da Análise do Ciclo de Vida e dos Estudos de Impacto Ambiental.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Durante o estudo foram coletadas informações visando, além de atingir o objetivo geral, também:

- Resumir o sistema construtivo em alvenaria e em WLF para facilitar a visão de similaridades;
- Destacar principais componentes nos dois tipos de construção;
- Simplificar o raciocínio utilizado em ACVs visando uma aplicação mais prática;
- Proporcionar aos profissionais do mercado da construção uma visão clara e objetiva sobre aspectos ambientais chave nos dois tipos de construção para repassar informações bem fundamentadas aos seus clientes.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Existe a necessidade de proporcionar informações mais claras sobre aspectos de sustentabilidade inerentes a construções utilizando os sistemas construtivos em alvenaria e em *Wood Light Frame* (WLF) ao cliente. No entanto, existe a disseminação de conceitos erroneamente definidos pela mídia e outros atores da sociedade que buscam sensacionalizar a questão ambiental na construção: tanto com tendências para super estimar ações chamadas de sustentabilidade mas com poucos reflexos significativos no meio ambiente, quanto para denegrir o setor da construção civil.

O avanço no setor da construção civil é fundamental ao desenvolvimento das cidades e, com a situação econômica atual favorável do país, é considerado um importante setor de geração de empregos e renda. Não há atividade humana sem impactos ao meio ambiente, mas é possível diminuí-los e mitigá-los. A postura do consumidor também é importante, pois deve optar por soluções mais inteligentes e eficientes. Esta escolha é muitas vezes guiada pelos profissionais envolvidos, como engenheiros civis e arquitetos, os quais devem estar informados e cientes dos parâmetros avaliados no quesito de sustentabilidade.

## 1.3 METODOLOGIA DE ESTUDO

Os dados sobre componentes e processos foram retirados de bibliografias, visitas e consultas técnicas aos fabricantes nas proximidades de Curitiba, Paraná. As informações foram manipuladas de forma integrada, ou seja, na ausência de detalhes sobre informações coletadas durante visitas e consultas técnicas, a lacuna foi preenchida com dados da bibliografia consultada.

Como uma Análise do Ciclo de Vida exige uma base de dados complexa para evitar tendências em avaliações de diferentes marcas de materiais (CHEHEBE, 1998), decidiu-se por utilizar a teoria da ACV para evidenciar ao consumidor quais aspectos são mais importantes de levar em consideração no momento de decidir pelo sistema construtivo em alvenaria ou em WLF.

Como a capacidade estrutural de cada tipo de construção difere, decidiu-se por escolher a forma mais simples de cada um, sendo na alvenaria uma parede não estrutural, e no WLF um painel simples da estrutura.

### 1.3.1 Escopo

O escopo ficou limitado aos principais componentes dos dois tipos de construção, alvenaria e WLF. Os materiais incluídos no escopo do estudo são: tijolo, argamassa para conexão de tijolos, pinus (estrutura do WLF), OSB, isolamento térmico e acústico (lã de PET reciclada e lã de vidro), membrana hidrófuga, gesso acartonado e placa cimentícia. Decidiu-se não incluir revestimentos, o processo foi considerado até a preparação da parede.

## **2. CONSTRUÇÕES EM ALVENARIA E EM WLF – COMPONENTES E PROCESSO CONSTRUTIVO**

Decidiu-se por comparar construções em alvenaria e em WLF pela similaridade no processo construtivo e pelo potencial de aplicação de tais tecnologias construtivas em larga escala. Assim como mostrado na Introdução, existe falta de divulgação de informações comparativas entre os dois tipos de construção, o que pode muitas vezes levar a conclusões equivocadas.

Desta forma, a seguir será descrito breve contextualização sobre cada tecnologia, descrição dos principais componentes (sem considerar acessórios ou revestimento) e do processo construtivo de cada uma.

### **2.1 ALVENARIA**

A alvenaria como forma tradicional de construção tem sido usada há milhares de anos. Com o passar do tempo, houve muitos avanços sobre os materiais e componentes utilizados, assim como nas metodologias de cálculo; no período entre os séculos 19 e 20, por exemplo, edifícios eram construídos com espessuras excessivas (RICHTER, 2007).

Em razão da perda de espaço e baixa velocidade de construção, edifícios eram feitos com a então nova alternativa, de concreto armado, o que foi mudando ao passar dos anos. Apenas na década de 1950 em razão do período pós guerra, houve novamente um aumento no interesse na construção de edifícios em alvenaria (RICHTER, 2007).

No Brasil, este tipo de construção foi aumentando com devidas adaptações e em paralelo ao desenvolvimento do país. A tecnologia construtiva foi consolidada na década de 1980 e hoje, um exemplo importante sobre a intensa aplicação é a construção em larga escala de empreendimentos habitacionais de baixa renda (RICHTER, 2007).

Segundo o TCPO (2008, p. 224), “as paredes de alvenaria são muito usadas para constituir a vedação vertical das edificações; e, algumas vezes, cumprem também a função de estrutura vertical das mesmas”. A maior vantagem em relação a construções em WLF é a melhor aceitação cultural em razão da idéia de que

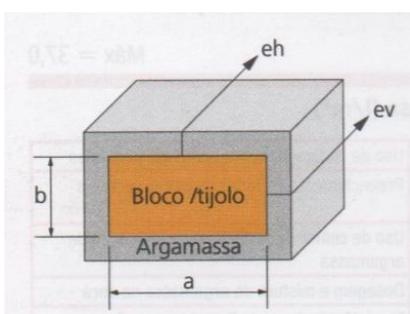
construções em alvenaria têm maior durabilidade, embora esta afirmação seja questionável por diversos autores.

### 2.2.1 Componentes utilizados em construções tradicionais de alvenaria

São considerados componentes da alvenaria blocos e tijolos, e as argamassas para conexão de tijolos, além do revestimento escolhido para acabamento (TCPO, 2008). O tijolo escolhido para este estudo é o de cerâmico furado e a argamassa para conexão entre tijolos é a composta por cimento Portland, cal, areia e água.

A produtividade, assim como o índice de perdas, podem variar, e por isso foram escolhidos os valores médios de uso de cada componente. A média de rendimento de argamassa para conexão de tijolos em litros por metro quadrado é 13,8, sendo o mínimo necessário 5,3 L/m<sup>2</sup>, podendo chegar até 43,5 L/m<sup>2</sup> (TCPO, 2008).

No rendimento de tijolos, os valores são calculados conforme fórmulas moldadas segundo dimensões do bloco ou tijolo a ser utilizado. Considerando o rendimento médio indicado por TCPO (2008, p.225), medidas indicadas na Figura 1 em  $a = 19\text{cm}$  e  $b = 9\text{cm}$  (tijolo normatizado),  $ev=1\text{cm}$  e  $eh=1\text{cm}$ ; pela fórmula  $Med(un/m^2) = 1,11/[(a+ev).(b+eh)]$ , a quantidade de tijolos utilizados por metro quadrado fica em 55,5 tijolos (TCPO, 2008, p. 225).



**Figura 1 – Explicação da expressão relativa ao consumo de componentes de alvenaria**

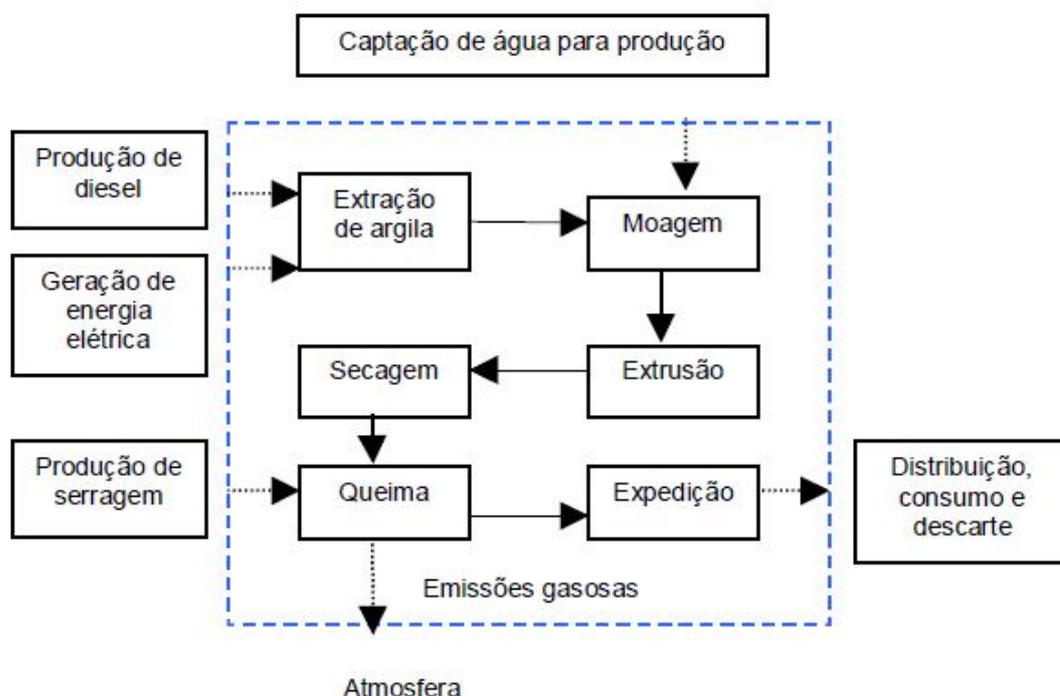
Fonte: TCPO, 2008, p. 225.

#### 2.2.1.1 Tijolo cerâmico

As unidades são as principais responsáveis pela determinação das características de resistência da estrutura (RAMALHO e CORRÊA, 2003). O tijolo

cerâmico, segundo Guimarães (2005, p. 37), “um produto técnico ao qual são exigidas determinadas características e comportamento em obra e, por isso mesmo, sujeito a disposições regulamentares e especificações próprias”.

A produção do tijolo tem processo produtivo similar entre diferentes produtos, mas podem ocorrer diferenças na definição dos processos entre autores. Para Zagonel (2010, p. 31), são seis fases de produção: extração da argila, homogeneização, extrusão, corte, secagem e queima; já para Soares e Pereira (2004, p. 85), são outras seis fases, conforme a Figura 2: extração de argila; moagem; extrusão; secagem; queima; expedição.



**Figura 2 – Fluxograma da produção de tijolos**

Fonte: SOARES e PEREIRA, 2004, p.85.

Para este estudo foram consideradas sete fases de produção dos tijolos com base nos autores supracitados (SOARES e PEREIRA, 2004; PEREIRA et al, 2003). As fases e descrições seguem:

1. Extração de argila: a extração de argila ocorre através de mineração a céu aberto onde há uso de máquinas para escavação e transporte até a indústria (ZAGONEL, 2010).
2. Homogeneização/ moagem: para obter mistura homogenia, é acrescentado água e, quando necessário, diferentes tipos de argila para obter a plasticidade desejada, propriedade que determina o grau de

deformação de uma massa até ela entrar em ruptura (RIBEIRO et al, 2003; GOMES, 1988). Quanto mais fina a moagem, maior será o aumento da superfície específica das partículas da massa, e maior será a plasticidade (RIBEIRO et al, 2003, p. 38). Os equipamentos utilizados para o processo são os quebradores aglomerados, o misturador de pás e o laminador (ZAGONEL, 2010).

3. Extrusão: no extrusor é retirado o ar e moldada a argila, dando formato à peça (ZAGONEL, 2010). Os bons resultados da extrusão dependem de a massa apresentar menores variações possíveis em composição, grau de moagem e teor de umidade. Deve-se extrudar as massas na zona máxima de plasticidade sempre que possível para evitar situações desvantajosas ou maior sensibilidade ao grau de umidade. As menores variações são importantes para manter a plasticidade constante durante todo o processo (RIBEIRO et al, 2003).
4. Corte: a massa é moldada após saída do extrusor (ZAGONEL, 2010).
5. Secagem: para perder a maior parte da umidade contida nas unidades, estes são dispostos geralmente em prateleiras para secagem. Pode-se aproveitar o calor residual dos fornos ou usar estufas exclusivas para a secagem. Ocorre contração da unidade, entre 4 e 10%, e a umidade chega a 4 ou 3% no final do processo (ZAGONEL, 2010).
6. Queima: após a secagem, as unidades são levadas ao forno para queima (ZAGONEL, 2010).
7. Embalagem e expedição: ocorre com uso de plásticos e papelão envolvendo pequenas quantidade sob pallets que são carregados em caminhões e transformados até o local de utilização (ZAGONEL, 2010)

É importante ressaltar que nos últimos anos muitas pesquisas e experimentos têm sido feitos para agregar resíduos à cerâmica como matéria-prima alternativa. Isso porque a indústria cerâmica tem elevada capacidade de absorção de resíduos e a propriedade de neutralizar e estabilizar vários resíduos tóxicos. Os ganhos ao setor da construção seriam altos em razão de incorporar resíduos e, por isso, reduziria a necessidade de extração de argila, atividade extremamente impactante ao meio ambiente. No entanto, para isso são necessários mais estudos

para atestar garantia, conscientização dos empresários sobre o potencial e estímulo por parte de órgãos de fomento (MENEZES et al, 2002).

#### 2.2.1.2 Argamassa para conexão entre tijolos

A argamassa utilizada para compor as paredes juntamente com os tijolos é geralmente composta de areia, cimento, cal e água. A quantidade de cada um destes componentes é chamada de traço e varia de acordo com a aplicação, e deve apresentar boas características para uso e durabilidade, sendo importante a resistência e a plasticidade (ZAGONEL, 2010).

O TCPO (2008, p. 192) recomenda para argamassa para conexão de tijolos composta de cimento, cal hidratada e areia peneirada a proporções dos componentes em 1:1:6, 1:2:8 e 1:3:9 respectivamente. Considerando 1m<sup>3</sup> de argamassa a ser produzida por exemplo, na proporção 1:1:6 significa 1,122 m<sup>3</sup> de areia, 122,00 kg de cal hidratada e 243 kg de Cimento Portland. O procedimento para produção da argamassa para conexão de tijolos consiste nas seguintes etapas:

- a) Espalhar a areia para secagem e, em seguida, peneirar com peneiras cujos diâmetros são escolhidos em função da utilização da argamassa para conexão de tijolos;
- b) Misturar a seco os componentes, em masseiras, tabuleiros ou superfícies planas impermeáveis e resistentes, com auxílio de uma pá até que a mistura adquira coloração uniforme;
- c) Adicionar água e amassar de forma a obter massa homogênea e de consistência plástica uniforme.

A função básica da argamassa para conexão de tijolos é consolidar a alvenaria, uniformizar as tensões entre as unidade, absorver pequenas deformações e impedir a entrada de água e vento na edificação (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 7-8). Para garantir melhor rendimento deve-se preparar quantidades de argamassa para conexão de tijolos correspondentes às necessidades dos serviços para evitar endurecimento antes do uso – não se deve utilizar argamassa para conexão de tijolos que apresente vestígios de endurecimento (TCPO, 2008).

## **Areia**

O processo de extração de areia ocorre através de cavas onde o material é escavado e enviado para triagem para classificação em diferentes granulometrias e coeficientes de uniformidade (SILVA, 2006).

Autores discordam sobre a significância da baixa uniformidade granulométrica na areia uma vez que o componente não participa das reações químicas no endurecimento da massa, apenas participa de forma física. Sua influência está na trabalhabilidade e retenção da água e, no estado endurecido da argamassa para conexão de tijolos, na resistência mecânica, na capacidade de deformação e na permeabilidade (SILVA, 2006). A areia (agregado) tem três funções principais:

“prover o aglomerante de um material de enchimento relativamente econômico; prover a pasta de partículas adaptadas para resistir às cargas aplicadas, ao desgaste mecânico e à percolação da intempérie; e reduzir as variações de volume resultantes do processo de pega, endurecimento e variações de umidade na pasta de cimento, cal e água.”

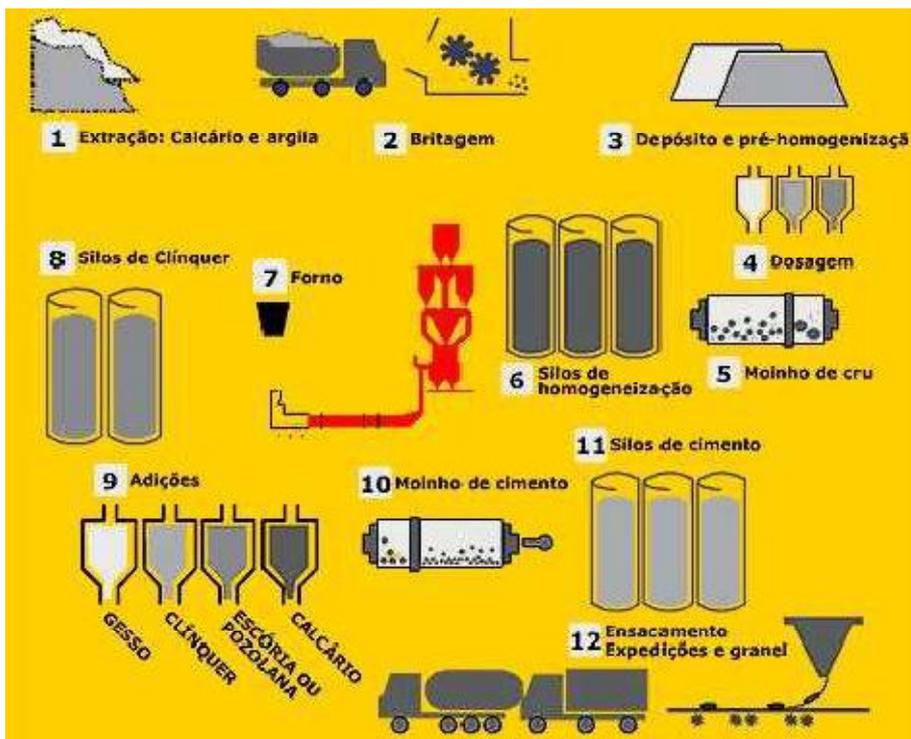
(SILVA, 2006, p. 17)

Ainda segundo o autor, os agregados podem ser encontrados na forma natural, encontrados na natureza na forma definitiva de utilização, e artificiais, que precisam de modificação na textura para atingir condições adequadas para uso (areia de origem da britagem de rochas como basaltos e arenitos, por exemplo). Para este estudo considerou-se a extração da areia com direta aplicação na construção civil, sendo a exploração na forma de cavas em leitos de recursos hídricos.

O impacto ambiental na extração ocorre por alteração do ecossistema local em razão de movimentação de equipamentos cujos ruídos, compactação do solo e emissões alteram as condições anteriores à escavação. A areia pode ser utilizada na sua forma natural, mas geralmente há peneiramento para separação granulométrica. A areia é considerada recurso não renovável uma vez que para sua formação é necessário longo período de tempo.

## **Cimento**

O cimento é resultado da mistura com outros materiais como gesso e escórias silicosas em diferentes concentrações conforme a aplicação e se apresenta na forma de pó fino, com partículas de dimensões médias de 50 µm. Na Figura 3 está resumido o processo de produção do cimento (DEEKE, 2009).



**Figura 3 – Processo produtivo do cimento**

Fonte: DEEKE, 2009 apud ABCP, 2008<sup>1</sup>.

As principais matérias primas componentes do cimento são o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), cerca de 80% da composição; sílica ( $\text{SiO}_2$ ), cerca de 15%; e óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), aproximadamente 3% da composição. Estes materiais são explorados geralmente em pedreiras em locais próximos aos fornos de produção do clínquer.

Após a extração dos materiais, ocorre a britagem para obter granulometria adequada ao processo e uma pré-homogeneização. Os materiais passam por dosagem, conforme a composição das principais matérias primas, e pelo moinho de cru. Nos silos de homogeneização, o material chega ao tamanho adequado para o processo e o composto passa por forno para passar por transformação térmica a elevadas temperaturas, entre 500 e 900 °C, condições em que ocorre a decarbonatação do material calcário, a calcinação, com produção de óxido de cálcio (OCa) e liberação de  $\text{CO}_2$  gasoso. Quando a temperatura chega à faixa entre 850 e 1250°C, ocorre a reação entre o óxido de cálcio e as substâncias silicaluminosas, com a formação do produto final, o clínquer, “constituído por silicatos di-cálcicos ( $2\text{CaO.SiO}_2$ ), silicatos tri-cálcicos ( $3\text{CaO.SiO}_2$ ), aluminatos tri-

<sup>1</sup> ABCP. Associação Brasileira do Cimento Portland. Disponível em: <[www.abcp.org.br/home](http://www.abcp.org.br/home)>. Acesso em: 29.05.2009.

cálcicos ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e ferro-aluminatos tetra-cálcicos ( $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ )” (DEEKE, 2009, p.37-38).

O clínquer é armazenado em silos e posteriormente passa por moinhos de bolas, onde se adicionam os aditivos (gesso, escória ou poxolana, por exemplo) formando os diversos tipos de cimentos. O cimento então também é armazenado em silos e, na seqüência ocorre ensacamento e expedição para os locais de aplicação final do composto (DEEKE, 2009).

Segundo Deeke (2009, p. 38), a energia utilizada para “secagem, calcinação do clínquer, ou clinquerização, é obtida pela queima de uma variedade de combustíveis, como o carvão mineral e o coque de petróleo (pet coque)”. Outros combustíveis podem ser utilizados: gás natural ou queima de resíduos como pneus usados, papel, madeira, etc. Para produção de uma tonelada de clínquer é necessário um mínimo de 1700-1800 MJ.

A produção do cimento é importante para a sustentabilidade na medida em que é possível agregar ao material as cinzas da queima de elementos tóxicos, assim como outros resíduos perigosos. Ainda é necessário aprimorar o processo para diminuir emissões de carbono e também primar pelo uso eficiente, estimulando a utilização de resíduos de outros processos (DEEKE, 2009).

Resíduos podem ser agregados em substituição ao clínquer ou no co-processamento para reduzir o consumo energético quando forem resíduos de combustível. Esta substituição também implica na diminuição de emissão de dióxido de carbono, tanto por causa de exploração em menor quantidade de matérias primas minerais, quanto pela diminuição do uso de combustível que, na maioria das vezes, são combustíveis fósseis (DEEKE, 2009).

Embora seja possível agregar resíduos na produção, o que contribui para melhor posicionamento da produção no quesito de emissões de carbono, isto não exige todo o processo de produção do cimento do fato de ser alto consumidor de recursos hídricos.

Importante destacar no entanto que pelo risco de gerar gases tóxicos (dioxinas e furanos) não é possível co-processar resíduos orgânicos, de serviços de saúde, substâncias organocloradas, agrotóxicos e explosivos. Deeke (2009, p. 40) cita alguns resíduos permitidos: “borras oleosas, borras de tintas, borras ácidas,

pneus, ceras de carvão ativado usados como filtros, resinas fenólicas e acrílicas, borrachas e elementos filtrantes de óleo”.

### **Cal**

A cal possui a função de dar plasticidade e trabalhabilidade à argamassa para conexão de tijolos, o que permite maior produtividade na execução do revestimento (SILVA, 2006). A cal hidratada constitui-se de hidróxido de cálcio, misturado ou não com hidróxido de magnésio e/ ou óxido de magnésio (ASSOCIAÇÃO..., 2003).

Para obtenção de cal exploram-se as rochas calcárias (carbonato de cálcio) que, segundo Faria (2012, p. 3), “ao ser cozida é transformada em óxido de cálcio, liberta dióxido de carbono para o ambiente; em contato com a água transforma-se em hidróxido de cálcio”.

O calcário, substância encontrada na natureza que origina a cal, é considerado recurso finito na natureza, pois o tempo necessário para formação do mineral é demasiado extenso. Para extração a energia é na forma motora, gerada por combustível de fontes fósseis (geralmente diesel). No processo produtivo, destaca-se o uso de fornos industriais utilizados para calcinação, geralmente alimentados por carvão ou lenha.

#### **2.2.2 Processo construtivo em alvenaria**

A vantagem do processo construtivo em alvenaria é a ampla aplicação no mercado, o que evita problemas como nas construções em WLF onde a mão-de-obra especializada é um dos maiores gargalos para a produção em larga escala.

Como desvantagens pode-se destacar o aspecto do objetivo da construção: aquelas em alvenaria são realizadas para utilização em período maior do que a média – casas construídas em alvenaria geralmente são demolidas antes de apresentar motivos suficientes para descontinuar o uso. Portanto, há desperdício dos materiais incorporados na medida em que não são aproveitados em sua totalidade e não podem ser reutilizados, diferente das construções em WLF cujos painéis podem ser separados e utilizados em outros terrenos.

Para análise do processo construtivo em alvenaria, foi estipulado como objeto de estudo uma parede simples de tijolo, com argamassa para junção entre tijolos e com concreto estrutural, conforme ilustrado pela Figura 4.



**Figura 4 – Exemplo de parede construída na forma tradicional de alvenaria**

Fonte: o autor, em visita técnica à edificação em Curitiba.

Uma parede conforme estipulado como objeto de estudo é composta por (1) Tijolos; (2) Argamassa para conexão de tijolos e (3) Concreto estrutural. Conforme projeto estrutural e uso da construção, é determinado a quantidade de concreto estrutural a ser usado, embora para construções simples como na Figura 4 dificilmente exista projeto antes da execução, é feito apenas um orçamento com base na demanda de materiais por área e acrescido porcentagens de perdas de cada material durante a construção.

É realizado o radier para fundamentar a construção (não considerado no estudo) e, na sequência, colocam-se as estruturas do concreto e os tijolos vão sendo assentados com auxílio da argamassa para conexão de tijolos. O processo construtivo é muito mais demorado do que na tecnologia WLF.

Sobre o gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil (RCC) gerados durante a obra, existe a Resolução CONAMA 307/ 2004, mas a aplicação é rara, especialmente no quesito destinação final: geralmente as transportadoras de caçamba não emitem certificados de destinação e, em visita técnica, comentou-se que os RCCs são despejados em terrenos sem maiores critérios e muitas vezes de forma ilegal.

Existe a classificação conforme a Resolução, que será vista em detalhe para os dois tipos de tecnologia no item 4.4 – Resíduos da Construção Civil, pode-se adiantar aqui que a segregação para classificação conforme estipulado é precária e,

mesmo em visita técnica à obra de grande porte, não separação física entre recicláveis e não recicláveis, o que diminui a eficácia do gerenciamento de RCCs. (Figura 5).



**Figura 5 – Disposição de resíduos em obra de grande porte**

Fonte: o autor, em visita técnica à obra do empreendimento em Curitiba.

## 2.2 WOOD LIGHT FRAME - DEFINIÇÕES, ESPECIFICAÇÕES E INVENTÁRIO

A construção em WLF surgiu na América do Norte, há mais de 100 anos, com o objetivo de “possibilitar a construção de moradias com recursos naturais locais, de fácil manuseio e que possibilitassem conforto térmico tanto nas regiões frias como quentes dos Estados Unidos e Canadá” (TECVERDE, 2012); nestes dois países é difícil encontrar residências executadas com outros sistemas construtivos (TORQUATO, 2010).

A tecnologia consiste em produção de painéis compostos por madeira adequadamente tratada e aplicada em diferentes formas que, junto com outros materiais de isolamento térmico, isolamento da estrutura de madeira, e acabamento, compõe a construção em WLF (TECVERDE, 2012).

Ao passar do tempo, a tecnologia passou a ser aplicada em outras diversas regiões do mundo. Apesar de grandes investimentos para aprimoramento tecnológico, no Brasil o sistema ainda não é aplicado em larga escala, tanto por ter sido trazida recentemente ao país, quanto por existir um problema cultural: construções em madeira são vistas com preconceito (TORQUATO, 2010; TECVERDE, 2012).

Este preconceito é mal fundamentado visto que as tecnologias hoje permitem atestar a alta qualidade do sistema construtivo em WLF, e o país proporciona condições climáticas para uma ótima produção em larga escala de Pinus (BRACELPA, 2009). Isto fica evidenciado pelo grande contingente de área plantada com a espécie no Brasil, 388.000 hectares, como observado na Tabela 1.

**Tabela 1 – Área total de florestas plantadas com a espécie Pinus**

Estados	Área de florestas plantadas – Pinus (em mil hectares)			
	Própria	Arrendada/ Parceria	Fomento	Total por estado
Bahia	28	0	0	28
Paraná	106	12	35	153
Rio Grande do Sul	14	2	3	19
Santa Catarina	101	20	32	153
São Paulo	13	9	13	35
<b>Total</b>	<b>262</b>	<b>43</b>	<b>83</b>	<b>388</b>

Fonte: adaptado de Bracelpa, 2009.

Diferente dos sistemas construtivos mais utilizados no Brasil, o WLF tem alta capacidade de resistência aos esforços de vento e intempéries climáticas, tanto em razão do sistema de produção dos painéis que distribui esforços na forma de carga distribuída, quanto aos inúmeros tratamentos e complementos de outros materiais para aumentar resistência ao calor e à umidade (TORQUATO, 2010). Na Figura 6 podem ser contemplados alguns exemplos de construção em WLF.



**Figura 6 – Exemplo de construções em WLF: A – Escritório Verde da UTFPR e B – Montagem da Ecohaus, ambas em Curitiba-Paraná**

Fonte: A – ECOHAUS, 2012; B – ESCRITORIO VERDE, 2012.

Este preconceito por parte dos clientes também ocorre em outros aspectos: em determinados usos, o Código de Obras dos Municípios apresentam restrições quanto à segurança (prevenção de incêndios). Além disso, os tratamentos necessários para prevenir pragas e fungos e para preservar a madeira estão associados a substâncias químicas nocivas ao meio ambiente e à saúde humana embora já tenha ocorrido muito avanço neste quesito (DEEKE, 2009).

A tecnologia da madeira utilizada para a produção de matéria-prima adequada para utilização no sistema WLF ainda é limitada no Brasil e há poucos fornecedores disponíveis. O potencial, no entanto, é grande: especialmente na região paranaense há tradição em silvicultura, reflorestamento e indústria madeireira e, segundo Deeke (2009, p.45) “facilmente poderia dinamizar o uso da madeira na construção civil através de processos tecnológicos inovadores”.

No quesito de emissões de dióxido de carbono, mesmo que madeiras laminadas, compensados, aglomerados, painéis de MDF, painéis leves e painéis estruturais em madeira, o saldo das emissões é negativo mesmo com a utilização de

adesivos na composição ou pelo uso de caldeiras a vapor para fabricação de insumos diretos e indiretos (DEEKE, 2009).

Outro aspecto inerente à silvicultura é a sustentabilidade na produção visando menores impactos à região, principalmente quando se fala do Pinus que é uma espécie exótica à vegetação nativa brasileira. Além disso, qualquer cultura de uma mesma espécie em grande escala implica na diminuição da biodiversidade local mesmo com a obrigatoriedade de manter Reservas Legais e Áreas de Preservação Permanente. Embora pesquisadores estejam buscando espécies nativas com propriedades adequadas à produção de painéis em WLF, o Pinus ainda é a melhor opção para este tipo de uso (DEEKE, 2009).

Por outro lado, existem aspectos restritivos como, por exemplo, o tempo decorrido entre plantio e corte da floresta para permitir a formação de madeira de boa qualidade para ser utilizada no processo construtivo, e também a quantidade de matéria-prima para a produção arquitetônica. Embora exista significativa silvicultura nos estados do Paraná e de Santa Catarina, o atual quadro de produção dificilmente supriria a demanda da construção: existem diferenças nas características técnicas do pinus utilizado para produção de painéis de celulose (uso mais comum hoje) e o utilizado para fins estruturais (cuja disponibilidade no mercado hoje é limitada). Portanto, há potencial para fornecimento do pinus para fins estruturais, mas ainda não há matéria-prima disponível para suprir grandes crescimentos de mercado e aumento na procura.

Uma forma de comprovar que a exploração é feita visando a melhor conduta é através dos selos ambientais FSC (*Forest Stewardship Council*), reconhecido internacionalmente, e o Cerflor (Certificação Florestal), selo concedido pelo IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais renováveis (DEEKE, 2009).

### 2.3.1 Componentes dos painéis em WLF

A explanação de componentes e respectivas análises está restrita àqueles do painel produzido pela Tecverde, um dos objetos deste estudo, pois em curto espaço de tempo já ganhou diversos prêmios e já vem realizando trabalhos de pesquisa em parceria com a UTFPR a exemplo do Escritório Verde. Desta forma,

nas seções seguintes serão detalhadas informações relevantes sobre Pinus, isolante térmico e acústico, OSB, membrana hidrófuga, placa cimentícia, gesso acartonado e acabamento.

### 2.3.1.1 Pinus

A madeira utilizada no sistema de WLF é o Pinus por possuir lenho totalmente permeável ao tratamento por autoclave para ficar imune ao ataque de cupins, o que não ocorre com a maioria das folhosas nativas do Brasil (TORQUATO, 2010). Ainda segundo o autor (Torquato, 2010, p. 24), “dentre os tipos de pinus de rápido crescimento, o elliotti e o taeda são duas das espécies mais plantadas no Brasil”.

O Pinus é uma um tipo de conífera cuja introdução no país iniciou no século XIX pelos imigrantes europeus, com finalidade ornamental. As espécies do gênero Pinus pertencem à família das pináceas e possuem, aproximadamente, 90 espécies. Os principais usos são como matéria-prima em serrarias, produção de laminados e aglomerados, e produção de celulose de fibra longa (Dossa et al, 2002, p. 1). Além disso, o Pinus é “uma espécie tolerante a baixas temperaturas e ao plantio em solos rasos e pouco produtivos para agricultura”, sendo cada vez mais viável economicamente em razão do constante melhoramento genético (BRACELPA, 2012).

Houve uma intensificação no cultivo do Pinus, especialmente na região Sul, na década de 1950 em razão da necessidade de alternativas ao uso de Araucarias (*Araucaria angustifolia*), espécie nativa da região, mas sob ameaça de extinção (BALDANZI, 1971). Os incentivos do governo concedidos na época determinaram um marco na silvicultura brasileira e, a partir do término destes incentivos, os investimentos sofreram decréscimo, em especial naqueles investidores independentes de indústrias de celulose e papel (DOSSA et al, 2002).

As espécies de *Pinus taeda* e *elliottii* se destacaram nos tratos culturais pelo rápido crescimento e bons resultados reprodutivos nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Hoje, o *Pinus taeda* é destinado à produção de matéria prima para indústrias de celulose e papel, e o *Pinus elliottii* é destinado para a indústria de madeira serrada e extração de resina (BRACELPA, 2012).

Sob uma perspectiva ambiental, o Pinus pode ser considerável uma fonte renovável e de importante papel para equilibrar climas locais. Além disso, por causa de seu rápido crescimento, absorve altas taxas de CO<sub>2</sub> da atmosfera (BRACELPA, 2012). Por causa da obrigatoriedade por legislação específica em conservar áreas de mata nativa dentro de propriedades de silvicultura de Pinus, a atividade implica em conservação de grandes áreas nas formas de RPPN (Reserva Particular do Patrimônio Natural), Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal (BRACELPA, 2009).

Por outro lado, o Pinus é considerado espécie exótica, definida como espécie que ocorre fora do limite natural historicamente conhecido (World..., 1992). Segundo (Ziller e Galvão, 2002, p. 43), o principal impacto de espécies exóticas está relacionado à “capacidade de modificar processos sistêmicos naturais”, ou seja, há potencial de alteração dos ecossistemas não só no local de cultivo, mas também em áreas próximas; o que leva à conclusão de que o cultivo de Pinus possui um impacto considerável na biodiversidade local.

É importante lembrar, no entanto, que na extração (alvenaria) ou no cultivo de matérias primas (WLF), há significativa quantidade de impactos, onde paisagens são alteradas por longas extensões e, por mais que sejam realizadas ações de recuperação do ambiente, não há condições de retomar a situação inicial e, em consequência, à biodiversidade original (ALMANAQUE..., 2008).

Conforme anteriormente citado, o plantio florestal do pinus é importante atividade produtiva no Brasil, compondo área plantada de 388.000 hectares (BRACELPA, 2009), e por isso pode ser considerado sustentável, sob o ponto de vista de atendimento a demanda (TORQUATO, 2010). É uma atividade produtiva muito importante para o país, tendo reflexos positivos tanto no desenvolvimento social quanto na conservação ambiental (BRACELPA, 2012).

Como resultado de vários anos de investimentos em pesquisa, cada vez é produzido mais madeira em uma mesma área cultivada (BRACELPA, 2012). O sistema produtivo da espécie é bem desenvolvido no Sul do País e a variação de produtividade depende de muitos fatores, tais como tipo de solo, tratos culturais, adversidades climáticas, dentre outros (DOSSA et al, 2002). No Quadro 1 está um exemplo de sistema produtivo de Pinus.

“O sistema de produção dominante preconiza um ciclo, ao menos de 21 anos. São plantadas, inicialmente, 1667 árvores por hectare, com um espaçamento 3x2 m. Nas idades de 8 e
--

12 anos são efetuados, respectivamente, o primeiro e segundo desbastes, no povoamento. Neles devem ocorrer uma redução média de árvores de 40% (666 árvores) no primeiro e 30% (500 árvores) no segundo desbaste, respectivamente. O corte final ocorrerá aos 21 anos, quando existem, em média, 500 árvores por hectare e por ano, logo, 30% do plantio inicial.

Nesse período, é possível obter para comercialização uma produção média de 50 até 70 m<sup>3</sup> aos 8 anos e de 70 à 120 m<sup>3</sup> aos 12 anos e, por fim, aos 21 anos a produção deve ultrapassar a 450 m<sup>3</sup>. Isto significa, em média, uma produção superior a 28.8 m<sup>3</sup>/ha/ano.”

### **Quadro 1 – Sistema produtivo de Pinus**

Fonte: DOSSA et al, 2002, p. 4.

Uma maneira de verificar a eficiência na exploração é exigindo dos fornecedores do Pinus o selo ambiental FSC (*Forest Stewardship Council*), de maior reconhecimento internacional, ou o Cerflor (Certificação Florestal), selo concedido pelo IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais renováveis (DEEKE, 2009).

Para uso no sistema construtivo em WLF, é necessário tratar o Pinus para prevenção de infestações de cupins e comprometimento das construções. Torquato (2010, p. 24) dá como exemplo o produto CCA do tipo C óxido, sobre o qual “as normas internacionais recomendam retenção mínima de 4,0kg de IA/ m<sup>3</sup> (IA = ingrediente ativo) para as madeiras utilizadas protegidas de intempéries”, caso da maior parte de peças utilizadas de madeira.

Em visita técnica à empresa cujo sistema construtivo em WLF foi objeto deste estudo, pôde-se observar que no Pinus utilizado pela também é aplicado CCA na concentração de 4,0 Kg por metro cúbico de tábua. Este tratamento é feito no local de produção das tábuas e não há manuseio da substância na fábrica da empresa. As peças usadas para fazer a estrutura em WLF são fornecidas pela por fábrica da região de Ponta Grossa e o Pinus é proveniente da região de Mandirituba e Jaguaraíva.

As dimensões variam conforme a carga a ser suportada: o comprimento varia entre 3, 4 e 5 metros, sendo a porcentagem de uso de cada uma conforme demanda até o momento em 70, 20 e 10% respectivamente. O tamanho da bitola também varia, sendo as dimensões das mais usadas para a Tecverde 45x9mm, 45x14mm, 45x19mm e 45x24mm (Figura 7).

O transporte da fábrica fornecedora é realizado por caminhão, e a forma de embalagem é com pallets e fitas plásticas para segurar aproximadamente 60 tábuas, número que varia conforme dimensões da peça (Figura 8).



**Figura 7 – Pinus utilizado para montagem do painel em WLF em diferentes formatos**

Fonte: o autor, em visita à Fábrica da Tecverde.



**Figura 8 – Forma como as tábuas chegam à fábrica**

Fonte: o autor, em visita à Fábrica da Tecverde.

Os restos de Pinus, por conterem CCA, são considerados resíduos perigosos de Classe IV conforme a Resolução CONAMA 307/2004, e por isso não podem ser reutilizados ou reciclados. Assim, as normas brasileiras determinam a

queima do material com tratamento dos efluentes atmosféricos, alternativa adotada pela empresa visitada.

Pode ser feita a queima em fornos de produção de cimento, denominada co-processamento, processo que significa a exterminação dos componentes perigosos, tratamento das emissões atmosféricas e material agregado ao cimento, prolongando a vida útil do material antes de ir para sua destinação final em Aterro apropriado (DEEKE, 2009).

### 2.3.1.2 Isolante térmico e acústico

O isolante térmico e acústico é colocado “dentro” da estrutura de Pinus na forma de mantas, as quais são fabricadas de forma a não deformarem ao longo dos anos (Figura 9).



**F** **A** **9** – **Isolamento térmico acústico de** **B** **le PET reciclada e de lã de vidro**  
Fonte: o autor, em visita à Fábrica da Tecverde.

A lã de PET reciclada é transportada por caminhão e chega envolta em embalagem de plástico. A densidade da lã é 350 gramas por metro do rolo, cujas medidas são 60cm de largura 5 cm de altura por 25 metros de comprimento. assim, o peso total do rolo é 8,75 kg, valor relativamente baixo, o que reflete em menor gasto com combustíveis devido ao menor peso da carga total.

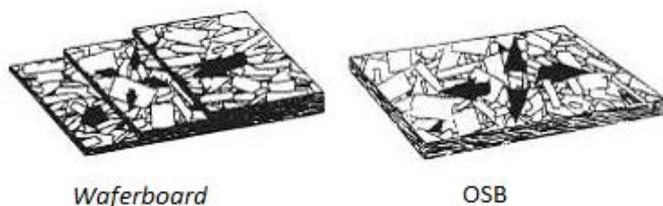
Este material tem manuseio mais simplificado do que a lã de vidro pois não é necessário o uso de EPIs, não é cancerígeno, é antialérgico e não traz risco à saúde. Importante destacar que não há necessidade de descarte em aterros, o material pode ser reaproveitado ou vendido por recicladores para transformação em estopas até fio têxteis (TRISOFT, 2012).

A lã de vidro também é transportada por caminhão e chega envolta em embalagem de plástico. A densidade é de 600 gramas por metro de rolo, e o rolo possui medidas de 12,5 metros de comprimento por 1,2 m de largura por 5mm de espessura. O peso total do rolo então é 7,5 kg, mas comparando com o comprimento de material disponível por rolo de lã de PET reciclada, seria em volume equivalente, dois rolos de lã de vidro, o equivalente a 15 kg. Assim, o peso da lã de vidro é 15kg para 25 metros do material enquanto são 8,75 kg para o mesmo comprimento de lã de PET reciclada: o primeiro é 58% mais pesado que o segundo. Isso significa que há menor gasto com combustíveis no transporte de lã de PET reciclada por quantidade do material do que a lã de vidro.

Portanto, mesmo a empresa durante visita técnica ter comentado que a escolha entre um ou outro isolamento cabe ao cliente, seria melhor sob a perspectiva ambiental recomendar sempre a lã de PET reciclada por refletir em agregar resíduos recicláveis, não existir a necessidade de descarte em aterros por ter a possibilidade de reuso e reciclagem e por refletir em menos emissões por causa da queima de combustíveis durante transporte.

### 2.3.1.3 OSB – Oriented Strand Board

O waferboard desenvolvido em 1954 pelo Dr. James Clarke evoluiu para o *Oriented Strand Board* (OSB) para atender demandas do mercado. Segundo *LP Building Products* (2012) e Torquato (2010), isto ocorreu porque no primeiro, as tiras eram menores e aplicadas em todas as direções, enquanto no segundo, trata-se de tiras maiores e orientadas, podendo o OSB ser traduzido como um Painel de Tiras de Madeira Orientadas (Figura 10).



**Figura 10 – Composição waferboard e OSB**

Fonte: LP BUILDING PRODUCTS, 2012.

Os painéis são formados por várias camadas (de três a cinco geralmente): nas superfícies exteriores, as tiras de madeira são alinhadas em uma direção,

enquanto as camadas internas a direção é 90° em relação ao painel externo ou as tiras são colocadas de forma randômica. Todas as camadas são submetidas a um processo intenso de calor e pressão formar os painéis (OSB GUIDE, 2012; TORQUATO, 2010). Segundo Torquato (2010, p. 25), este processo de consolidação “aumenta a sua resistência mecânica, rigidez e estabilidade”.

O custo do OSB é menor do que o compensado, pois permite a utilização de matéria prima menos nobre, mas não é incorporado materiais residuais como no caso dos aglomerados (LP BUILDING PRODUCTS, 2012; TORQUATO, 2010).

O OSB foi rapidamente aceito quando lançado, especialmente nos mercados americano e canadense, em razão de apresentar resistência mecânica com propriedades estruturais, característica não existente na madeira aglomerada tradicional ou nas chapas de MDF (ZENID, 2009). Após a instalação de plantas industriais serem instaladas fora da América do Norte, foi inaugurada no Brasil a primeira fábrica de OSB em Ponta Grossa, Paraná (LP BUILDING PRODUCTS, 2012).

A placa de OSB utilizada pela empresa cujo sistema construtivo foi estudado é produzida pela mesma fornecedora dos componentes de Pinus. As placas de OSB são tratadas no fornecedor com formaldeído para conservação da madeira, e a durabilidade garantida é de 30 anos. A espessura muda conforme o uso: 1,11cm para paredes e 18,3cm para entre pisos. Existem ainda placas OSB com revestimento em alumínio para uso em forros para servir como isolamento térmico junto com o preenchimento escolhido pelo cliente (lã de PET reciclada ou de vidro) – Figura 11.



**Figura 11 – Placa de OSB**

Fonte: o autor, em visita à Fábrica da Tecverde.

Importante destacar que no sistema construtivo da empresa em questão a estrutura dos acabamentos e acessórios a serem colocados nas paredes é a placa de OSB e não o gesso acartonado ou a placa cimentícia.

#### 2.3.1.4 Membrana Hidrófuga

A membrana hidrófuga, mostrada na Figura 12, tem a função de controlar a umidade. Ela é colocada na face externa do painel de OSB e impede que a umidade intensa entre na estrutura, mas possibilita que a umidade interna saia. Segundo a Tecverde (2012), é um dos pontos cruciais para garantir durabilidade do sistema e redução na incidência de mofo e bolores nas paredes.

A membrana é fabricada por empresa dos Estados Unidos e importada pela fornecedora de pinus e placas de OSB. Tem funções de controle de umidade e controle de temperatura. Ela é colocada de forma estendida sobre a placa de OSB sem ser necessário fazer sobreposições.



**Figura 12 – Membrana Hidrófuga**

Fonte: o autor.

#### 2.3.1.5 Placa cimentícia

A placa cimentícia tem a função de proporcionar base ao acabamento externo da edificação em WLF, sendo importante destacar que é o OSB o material

responsável pela resistência para sustentar acabamentos, além da função estrutural por ser responsável pelo contraventamento da estrutura.

A placa cimentícia é resistente à umidade, ao fogo, à água marinha, ao acúmulo de halogênio (cloro e iodo, por exemplo), à variação de temperaturas e à secagem, congelamento ou descongelamento; por isso não deteriora e não deforma. Possui ainda a vantagem ambiental de não conter amianto, formol ou amônia, substâncias cancerígenas e perigosas. Durante a fabricação não ocorre secagem por estufas ou fornos aquecidos a gás, lenha ou outros combustíveis, o processo de cura ocorre ao ar livre, o que diminui significativamente a emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (PLACLUX, 2012) – Figura 13.



**Figura 13 – Placa cimentícia colocada na parte externa de projeto piloto em *Wood Light Frame***

Fonte: o autor, em visita ao Senai-PR na região metropolitana de Curitiba.

#### 2.3.1.6 Gesso acartonado

A chapa de gesso acartonado aumenta o desempenho termo-acústico das paredes e tem a função de bloquear o acesso das chamas de um incêndio à estrutura de madeira. É possível fazer fixação de mobiliário diretamente na parede, sem preocupações com limites de carga ou fixação nos montantes os quais ficam atrelados à placa OSB (TECVERDE, 2012).

Em relação às paredes comuns, as paredes com gesso acartonado podem receber qualquer tipo de acabamento e sua praticidade traz a vantagem de poder testar instalações elétricas, hidráulicas e telefônicas durante a construção, evitando

reaberturas depois da parede pronta (ENGENHARIA UNASP, 2012). Existem ainda diferentes tipos de gesso para adaptações a áreas molhadas (cozinha e banheiros) ou para resistirem mais ao fogo (Figura 14).

A fornecedora de gesso acartonado da empresa cujo sistema construtivo foi estudado possui a espessura de 12,5 mm, largura de 1,20 m, comprimento de 1,80 a 3,00 m e densidade superficial da massa de 8,5 a 12,0 kg/ m<sup>2</sup> (TECVERDE, 2012; LOSSO E VIVEIROS, 2004).



**Figura 14 – Gesso acartonado**

Fonte: o autor, em visita ao Senai-PR na região metropolitana de Curitiba.

O acabamento pode ser feito de diversos materiais, tanto na parte interna, quanto na parte externa. A estética final não deixa o WLF aparente, garantindo a proteção da madeira por isolá-la por outros materiais tanto na parte interna, quanto na parte externa (TECVERDE, 2012).

O gesso é material produzido a partir do aquecimento da gipsita (forma mineral disponível na natureza) e posterior redução a pó, sendo o gesso composto principalmente por de sulfato de cálcio. No Brasil, a maioria das fábricas de gesso localizam-se no nordeste, o que reflete longos deslocamentos do material. Importante destacar também que não existe tecnologia viável para reciclagem do gesso.

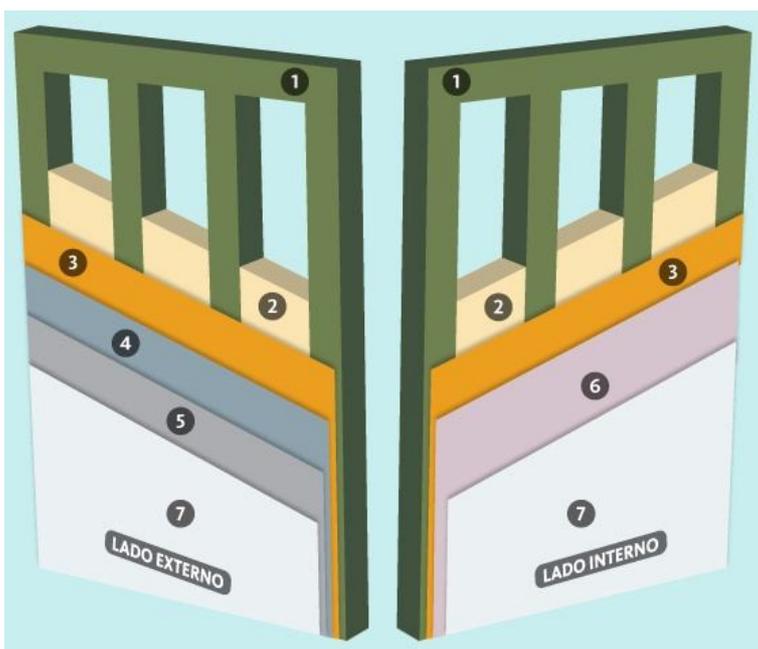
### 2.3.2 Processo produtivo do WLF

O sistema construtivo em WLF traz vantagens em relação às casas de alvenaria pois implica na diminuição do tempo de construção, maior garantia no cumprimento de prazos, redução de desperdícios, redução de resíduos da construção civil, e tem como matéria prima principal um recurso renovável e de ampla produção no Brasil (TECVERDE, 2012).

Como desvantagens, pode-se mencionar a existência de poucos fornecedores de alguns componentes especialmente feitos para o tipo de produção, ou até mesmo a inexistência destes. Como será visto mais adiante, isto ocorre para as membranas e isolamento térmico acústico.

Foi estipulado como objeto de estudo o painel fabricado por empresa estabelecida em Curitiba. Os painéis produzidos foram desenvolvidos em parceria com a empresa alemã, associações comerciais, fornecedores e financiadores. A composição do painel (Figura 15) consiste em (1) Estrutura de madeira tratada; (2) Isolante térmico e acústico; (3) OSB; (4) Membrana Hidrófuga; (5) Placa cimentícia; (6) Gesso acartonado; (7) Acabamento.

Existe ainda outro componente importante, a membrana colocada na parte inferior da fundação da edificação para evitar infiltração de umidade originada no solo. No entanto, para este estudo, esta membrana não será considerada.



**Figura 15 – Composição painel de WLF Tecverde.**  
Fonte: Tecverde, 2012.

Embora seja possível perfurar em alguns casos as estruturas de pinus verticais interiores (mostradas na Figura 15 com o número 1), não é recomendável. Por isso a importância do planejamento da edificação sobre posicionamento de dispositivos elétricos e encanamentos para não refletir em limitações não desejadas ao final da obra.

A estrutura de madeira é produzida em Pinus e as peças desse material são tratadas de acordo com a norma NBR 7190 para garantia de durabilidade (1). O isolamento térmico acústico é feito de lã de Pet reciclada ou lã de vidro (2). As chapas de OSB (*Oriented Strand Board*) e vão nas faces interna e externa das paredes, com funções estrutural e de resistência para fixação de móveis, quadros e equipamentos domésticos (3) (TECVERDE, 2012).

Na face externa, sobre o OSB, vai a membrana hidrófuga para controlar a umidade que atinge a estrutura (4): a membrana deixa a umidade interna sair pela estrutura e não permite entrada de umidade externa. Em cima desta membrana é aplicada placa cimentícia para servir de base para os acabamentos (5). Os acabamentos podem ser feitos de diferentes materiais como aplicação de texturas, cerâmicas, pedras, revestimento vinílico em régua ou revestimentos em madeira (7) (TECVERDE, 2012).

Na face interna, após o OSB, é aplicado o gesso acartonado para aumentar o desempenho térmico acústico das paredes e também como forma extra de segurança por bloquear o acesso das chamas de um incêndio à estrutura de madeira (6). Sob o gesso podem ser aplicados diversos tipos de acabamentos conforme preferência do usuário (7) (TECVERDE, 2012).

Além destes componentes básicos, é importante mencionar outros que também podem ser utilizados. No Escritório Verde, unidade integrante da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, foi utilizada uma membrana composta por pneu reciclado entre o isolamento de lã de PET reciclada e a placa OSB para dar maior conforto acústico (Figura 16).



**Figura 16 – Estrutura de painel no Escritório Verde com detalhe para a membrana de Pneu reciclado**

Fonte: o autor, em visita à Fábrica da Tecverde.

Para fixação das estruturas, são utilizados diferentes tipos de pregos, parafusos e grampos, conforme mostram as Figuras 17 e 18. Os pregos são utilizados para prender as estruturas de Pinus entre si. Os grampos são utilizados para prender os painéis de OSB na estrutura de Pinus. Todos estes dispositivos são de fabricação brasileira e de fornecedores da região.



**Figura 17 – Dispositivos para conexão entre componentes do painel**

Fonte: o autor, em visita à Fábrica da Tecverde.



**Figura 18 – Fixação por grampos das placas de OSB**

Fonte: o autor, em visita à Fábrica da Tecverde.

Todos os componentes são enviados à fábrica já devidamente tratados para uso na fabricação dos painéis. No local, são feitos cortes dos componentes e montagens conforme projetos. A fabricação inicia pela montagem das estruturas em Pinus em uma mesa pneumática, com capacidade para produzir estruturas de paredes de até 12 metros de comprimento e 4 metros de altura.

Para fixação das peças de pinus, são utilizados diferentes tipos de pregos e parafusos, conforme anteriormente citado. Na mesa também são fixados as placas de OSB nos lados interno e externo com grampos colocados na direção da estrutura em Pinus. Antes de fechar a estrutura com OSB em um dos lados, é colocado o

isolamento térmico acústico escolhido. A membrana é esticada para cobrir o lado externo da estrutura, e na sequência é colocada a placa cimentícia.

Os painéis são movimentados pela talha (movida a energia elétrica) que os coloca empilhados com um material a base de isopor entre si para evitar rachaduras na placa cimentícia (Figura 19). Neste momento os procedimentos na fábrica acabam e a construção vai continuar no local da obra. Durante todo o processo de fabricação dos painéis não é utilizado diesel, as fontes de energia são o sistema pneumático e a energia elétrica.



**Figura 19 – Mesa pneumática para produção dos painéis e equipamento utilizado para movimentação (talha)**

Fonte: o autor, em visita à Fábrica da Tecverde.

Um caminhão leva os painéis prontos para o local de construção e, com ajuda de um guindaste, eles são colocados nos lugares aonde foram projetados. São colocados os conduites nos lugares previstos, assim como tubulações e demais estruturas necessárias (Figura 20). Nas partes internas dos painéis são colocadas as placas de gesso acartonado, e neste momento é possível fazer acabamentos interno e externo.



**Figura 20 – Abertura para saída de fiação: a localização de conduites foi prevista em projeto**

Fonte: o autor, em visita a construção em *Wood Light Frame* em Curitiba.

Caso o usuário deseje usar o terreno para outros fins, é possível fazer desmontagem dos painéis e remontagem em outro local. Caso não exista interesse em fazer remontagem, os materiais podem ser separados e reaproveitados, com exceção dos materiais em Pinus os quais, por causa do CCA, devem ser queimados ou ir para co-processamento com adequado controle e tratamento de emissões atmosféricas.

O processo de fabricação dos painéis na fábrica ocorre durante aproximadamente duas semanas para uma casa de 200m<sup>2</sup>, e é preciso uma semana para montagem. É interessante que no período de fabricação dos painéis ocorra o período de fundações no terreno para cura do radier. A fase de acabamentos que determinará o total por obra, geralmente estimado em três meses, mas podendo variar conforme preferências do cliente.

Embora exista menor geração de resíduos durante a obra e a possibilidade de reuso da maioria dos componentes, a empresa ainda não estabeleceu uma logística para a segregação destes componentes (Figura 21). Isto não está fora da realidade de construções civis em geral, onde resíduos da obra não são segregados e a empresa dona da caçamba fica responsável pela destinação sem prestar certificados com detalhes aos clientes.

No entanto, considerando o potencial da tecnologia WLF, é importante que a empresa estabeleça uma política referente aos resíduos desde o princípio, para que também neste ponto tal tipo de construção se destaque pela sustentabilidade. A base de dados desta política pode começar a ser criada pela quantificação do total de resíduos por obra (se possível por metro quadrado) e a quantidade de resíduos por tipo.



**Figura 21 – Caçamba em local da construção sem segregação de resíduos: nota-se que a maioria são restos de acabamentos, mas a empresa responsável pela realização da construção pelo sistema WLF pode intervir no que se trata dos componentes de sua tecnologia construtiva**

Fonte: o autor, em visita a construção em *Wood Light Frame* em Curitiba.

### 3 FORMAS DE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS

Existem inúmeras ferramentas para avaliar os impactos ambientais especialmente sobre as alterações inerentes a intervenções construtivas. Para o presente estudo destacou-se duas formas de avaliar impactos ambientais da construção: a Análise do Ciclo de Vida (ACV) e o Estudo de Impacto Ambiental (EIA). A ACV é uma forma de avaliação completa de toda a cadeia produtiva do objeto de estudo, ela permite a visão holística e formulação de pareceres bem fundamentados sobre o impacto de sistemas e de produtos. O EIA, por outro lado, não traduz resultados tão exatos e há diversas metodologias que muitas vezes diferem significativamente entre si. No entanto, por Lei é obrigatório realizar tal estudo com as devidas adaptações aos contextos de cada situação e às exigências dos órgãos ambientais de cada localidade.

Desta forma, tais estudos são complementares entre si, um pela avaliação holística e bem fundamentada, e o outro pela utilização na maioria das intervenções causadas pela construção civil e demais atividades potencialmente poluidoras. O presente estudo portanto, mostra como utilizá-los para comparar os dois tipos de construção estudados: alvenaria e WLF.

#### 3.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A Análise do Ciclo de Vida (ACV) do Produto é uma forma de avaliação de impactos ambientais gerados durante extração/ manufatura de matérias-primas, processo produtivo, utilização e disposição final; resumidamente conhecida como “análise do berço ao túmulo” (CHEHEBE, 1998). É considerada ainda uma importante ferramenta de gerenciamento ambiental e, ao longo do tempo, pode “prover as mudanças tecnológicas fundamentais na produção e nos produtos (...), inclusive no uso otimizado de energia e de materiais, através do uso de processos de reciclagem e reuso” (Junior et al, 2007, p.3).

Segundo Hinz et al (2006, p. X), a ACV teve origem

“da necessidade de se estabelecer uma metodologia que facilitasse a análise e os impactos ambientais entre as atividades de uma empresa, incluindo seus produtos e processos. A partir dessa metodologia pode-se verificar que a prevenção à poluição se torna mais racional, econômica e efetiva do que uma ação na direção dos efeitos gerados”.

(HINZ et al, 2006, p. 92).

Na mesma linha de raciocínio, Rodrigues et al (2006, p. 13) defende que num contexto conceitual da ACV, pode-se “avaliar os efeitos ambientais oriundos da cadeia produtiva inteira e das ações operacionais executadas, enquanto quantificam as repercussões tanto para trás como para frente na cadeia produtiva”. Lobo (2010, p. 49) ainda cita as fases da cadeia produtiva onde ocorrem os impactos: extração da matéria-prima, processo industrial, comercialização, descarte e reciclagem, além do transporte entre estas etapas.

Para uniformizar conceito e metodologia da ACV do Produto, assim como direcionar estudos futuros sobre o tema, foi elaborada a NBR ISO 14040, cuja definição consiste em:

“A ACV é uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto mediante:

- a compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto;
- a avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas;
- a interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e de avaliação de impactos em relação aos objetivos dos estudos.”

(ASSOCIAÇÃO..., 2009, p. 2).

Esta análise sistêmica do ciclo de vida dos produtos através do inventário é fundamental na avaliação dos impactos ambientais causados, e permite “interligar o destino de materiais e de sua transformação em produto por meio de vários processos” (RIBEIRO et AL, 2012, p. 01).

Um dos propósitos da ACV é estabelecer uma “sistemática confiável e que possa ser reproduzida a fim de possibilitar a decisão entre várias atividades, aquela que terá menor impacto ambiental” (HINZ et al, 2006, p. 92). Portanto, é uma ferramenta que incentiva empresas a considerar questões ambientais de forma sistemática e associadas à cadeia produtiva (Junior et al, 2007) e pode ser utilizada para “análise de processos, seleção de materiais, avaliação de produtos, comparação de produtos e elaboração de políticas” (VIGON et al, 2009, p. 4). Desta forma, assim como Rodrigues et al (2006, p. 13) coloca, a metodologia da ACV “não resolve problemas, mas oferece suporte à tomada de decisão”.

Segundo Junior et al (2007), a ACV, como um todo, pode ser utilizada em diferentes cenários, mas a ACV do produto está mais relacionada com as etapas do processo daquele objeto de estudo, desde a extração de matéria prima, até a

disposição final do produto. Ainda segundo o autor, o uso de ACV traz diversos objetivos:

- “O levantamento, a avaliação e a interpretação dos aspectos e impactos potenciais envolvidos em todo ciclo de vida do produto;
- O aprimoramento do processo produtivo e dos produtos de uma empresa;
- Quantificar e comparar de uma forma integrada o desempenho ambiental de seus produtos;
- Auxiliar a tomada de decisões na indústria, governo e ONG's no planejamento estratégico, na definição de prioridades e no desenvolvimento de projetos e processos;
- Fornecer informações referentes aos recursos utilizados, no consumo de energia e nas emissões;
- Subsidiar as estratégias de marketing (comparação de produtos, rotulagem e declarações ambientais), gerando uma diferenciação na competitividade dos produtos no mercado cada vez mais exigente.”

(adaptado de Junior et al, 2007, p.3).

Embora seja uma boa ferramenta para a tomada de decisão, a realização da ACV depende de extensos bancos de dados genéricos ou específicos (por produto ou por processo) para subsidiar os cálculos e há uma falta de profissionais para realizar a alimentação destes bancos de dados, principalmente no Brasil. Ainda existe a questão de tendenciosidades quando há investimento de determinadas empresas em avaliar e quantificar impactos para alimentar os bancos de dados e realizar a ACV (Junior et al, 2007; RODRIGUES et al, 2006; HINZ et al, 2006). Seria interessante autoridades criarem incentivos a instituto de pesquisas independentes para realizarem estes estudos, evitando a parcialidade.

Desta forma, os estudos de ACV no Brasil ficam limitados a dados e metodologias estrangeiras que muitas vezes possuem avaliação de impactos inerentes às informações disponibilizadas que não seriam feitas da mesma forma se realizada avaliação de impactos no Brasil. Pode-se citar como exemplo as informações sobre energia, cujo Brasil possui grande parte da matriz composta por fontes renováveis, diferentes de alguns outros países que alimentam bancos de dados de ACV onde a forma de geração de energia é altamente poluente e impactante. (Junior et al, 2007).

Nesta monografia, o foco é proporcionar dados ao consumidor para comparar produtos disponíveis para construção. Procura-se incorporar na ACV descrita neste trabalho argumentos que agreguem confiabilidade nos resultados finais, conforme recomendado por Chehebe, 1998. O mesmo autor recomenda, no entanto, cautela com o uso dos resultados do ACV para evitar distorções e

simplicidade excessiva, portanto é necessário assessorar a comunicação de aspectos ambientais sobre os produtos levando em consideração os resultados reais entregues (CHEHEBE, 1998).

### 3.1.1 Metodologia ACV

Apesar de existirem várias maneiras de conduzir uma ACV devido “à complexidade dos sistemas ambientais e às diferentes condições e características ambientais existentes em cada região” (JUNIOR et al, 2007, p. 4); a Norma NBR ISO 14040 (ASSOCIAÇÃO..., 2009) e outras literaturas pesquisadas recomendam que a ACV de Produtos deve ser realizadas em quatro etapas: (1) definição do objetivo e escopo, (2) análise do inventário do ciclo de vida, (3) avaliação do impacto do ciclo de vida, (4) interpretação do ciclo de vida, conforme resume o Quadro 2.

Etapa	Definição	Componentes básicos
<p><b>Definição de objetivo e escopo</b></p>	<p>O objetivo deve incluir a aplicação pretendida, as razões para conduzir o estudo e para quem se pretende comunicar os resultados do estudo (público-alvo). O escopo deve ser compatível com o objetivo, e dele dependem quais variáveis serão consideradas, quais categorias de impactos ambientais, abrangência do estudo e análise de incertezas dos resultados. A clara definição do escopo permite o processo de revisões críticas periódicas e comparabilidade entre diferentes ACVs de um mesmo produto.</p>	<p>Objetivo e, especialmente o escopo, devem incluir informações sobre:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Extensão/ fronteiras do sistema: onde iniciar e para o estudo do ciclo de vida;</li> <li>b) Largura: quantos e quais subsistemas incluir;</li> <li>c) Profundidade: nível de detalhes do estudo.</li> <li>d) Função e unidade funcional;</li> <li>e) Requisitos da qualidade dos dados;</li> <li>f) Comparações entre sistemas;</li> <li>g) Considerações sobre análise crítica.</li> </ul>
<p><b>Análise do inventário do ciclo de vida</b></p>	<p>O inventário do ciclo de vida diagnostica e quantifica todas as variáveis contidas na produção do objeto de estudo. As informações entregues pelo inventário incluem a descrição de fluxos de entradas e saídas de um determinado sistema técnico, os quais sejam ambientalmente relevantes. Para evitar duplicidade na consideração de dados ou lacunas no sistema, é importante a definição de um sistema de avaliação da qualidade das informações para evitar resultados tendenciosos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Coleta de dados;</li> <li>b) Período de referência;</li> <li>c) Procedimentos de cálculo para quantificar entradas e saídas;</li> <li>d) Fluxogramas de entradas e saídas.</li> </ul>

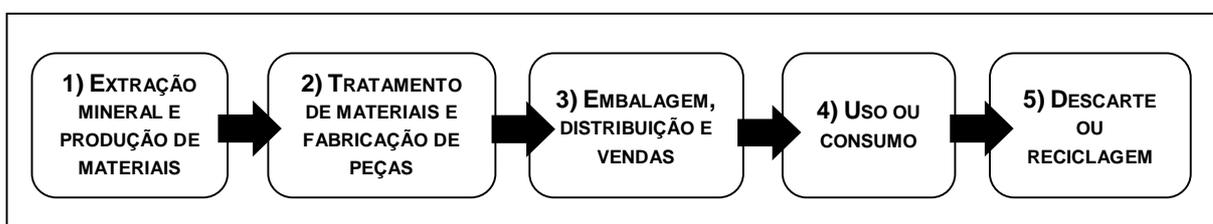
Etapa	Definição	Componentes básicos
<b>Avaliação do impacto do ciclo de vida</b>	Nesta fase é avaliado a significância e a magnitude dos impactos ambientais do ciclo de vida do produto, utilizando os resultados obtidos no Inventário do ciclo de vida.	Avaliação dos impactos sob os aspectos de: a) Magnitude; b) Significância dentro da análise do inventário.
<b>Interpretação do ciclo de vida</b>	Identificação e análise dos resultados obtidos nas fases de inventário e/ ou avaliação de impacto de acordo com o objetivo e o escopo previamente definidos para o estudo.	A interpretação pode ser resumida na consecução das ações abaixo: 1) Identificar resultados da análise do inventário e avaliação do impacto; 2) Combinar e comparar resultados; 3) Relacionar resultados com objetivo e escopo; 4) Elaborar conclusões e recomendações

### Quadro 2 – Etapas da Análise do Ciclo de Vida

Fonte: ASSOCIAÇÃO..., 2009; CHAHEBE, 1998. RODRIGUES et al, 2008; JUNIOR et al, 2007

Importante destacar que para o presente estudo não é possível realizar uma Análise do Ciclo de Vida sem tendenciosidades em razão de não existir histórico de dados sobre aplicação do sistema construtivo em WLF no Brasil. Isto está fundamentado na existência de limitantes, tanto geográfico quanto de tempo, destacados por Silva e Silva (1997). Lobo (2010) destaca inclusive que tais limitações e a complexidade do método são fatores de barreira para disseminação deste tipo de avaliação no setor da construção.

Em cada etapa da ACV é importante considerar informações sobre todas as fases do ciclo de vida, resumidas por Graedel (1998) conforme a Figura 22. É através de avaliação em mesmo nível de detalhes em cada uma destas fases que é possível fornecer uma informação não tendenciosa para a tomada de decisão do consumidor.



**Figura 22 – Fases do ciclo de vida**

Fonte: adaptado de Graedel, 1998.

Para auxiliar uma avaliação completa, existem vários softwares para cálculo dos impactos ambientais relativos à ACV. No entanto, segundo Hinz et al (2006, p.

94 apud O'Neill, 2003<sup>2</sup>), “como são necessárias muitas informações e nem sempre todas são encontradas em um único modelo, o estudo de ACV pode se tornar extremamente complexo”.

Esta complexidade e outros obstáculos anteriormente citados fazem com que a ACV não seja atualmente aplicada de forma ampla no mercado. Por outro lado, é possível fazer uso da teoria da ACV para informar ao consumidor que pontos avaliar no momento de compra do produto mesmo não existindo informações do ciclo de vida do mesmo.

Portanto, lembrando que o foco desta monografia é proporcionar dados ao consumidor para comparar produtos disponíveis, serão usados os três princípios básicos de sustentabilidade apontados por Medina (2006, p. 1784): “minimizar consumo energético, de materiais, e geração de rejeitos (...); maximizar a vida de máquinas, componentes e produtos (...); e eliminar substâncias e processos tóxicos ao ambiente e à saúde humana”. A seguir, uma ilustração da ACV das edificações (Figura 23).



**Figura 23 – Análise do ciclo de vida das edificações**

Fonte: Tavares (2006)

<sup>2</sup> O'NEILL, T.J. Life cycle assessment na environmental impacto f polymeric products. In: **Rapra Review Reports**, 13(12, 2003. 32 p.

### 3.1.2 Avaliação de impactos ambientais do ciclo de vida do produto

Durante a avaliação de impactos no ciclo de vida, o consumo de energia durante a fabricação se destaca. Esta energia pode ser melhor aproveitada se a tecnologia empregada primar por durabilidade do produto, o que aumenta o tempo de utilização. A qualidade dos materiais usados também influencia na possibilidade de reciclar ou não a matéria prima após o período de utilização (SCHMIDT e JOBIM FILHO, 2006).

É importante que os usuários das construções pressionem fabricantes a produzir materiais pensando na desmontagem e reutilização dos materiais após o período de utilização da edificação. Com auxílio da atuação de projetistas e outros profissionais do setor trabalhando em novos conceitos de construção, é possível chegar a um melhor prognóstico de vida útil dos sistemas e componentes e, portanto, aumentando a eficiência da construção e diminuindo o impacto do ciclo de vida dos materiais empregados (SCHMIDT e JOBIM FILHO, 2006), por mais que Deeke (2009, p. 123) afirme que “todo material está condenado a um impacto”.

### 3.1.3 O princípio de avaliação de ACV em softwares

Mesmo que esta monografia tenha como objetivo evidenciar parâmetros base para a tomada de decisão, mas não entregar uma ACV quantificada, é importante usar o mesmo raciocínio utilizado em softwares. Isso possibilita evidenciar variáveis que devem ser levadas em consideração para uma tomada de decisão na escolha dentre os tipos de construções estudados: alvenaria, WLF e container.

Segundo Rodrigues et al (2008p. 13), “ há uma grande similaridade entre as funções dos softwares e uma proximidade em termos de desempenho e qualidade”, as diferenças concentram-se na abrangência maior ou menor dos bancos de dados.

Ainda segundo o autor, existem softwares disponíveis gratuitamente e outros pagos, e a principal diferença entre eles é justamente a proporção e qualidade do banco de dados. No Brasil, no entanto, é preciso sempre avaliar o custo/ benefício de se adquirir um software já que, embora os sistemas de cálculo sejam bem

avançados, não existe base de dados nacional, e, portanto, há um grande risco de a quantificação final da ACV ficar distorcida.

A base da programação em softwares para Avaliação do Ciclo de Vida consiste em atribuir pesos aos impactos ambientais de cada material e processo. A ISO declara que tal atribuição não é adequada tendo em vista os riscos de atribuições erradas. No entanto, a solidez dos cálculos matemáticos é que permite entregar uma informação segura para o consumidor, mesmo porque trata-se de comparação entre produtos e, considerando que o mesmo produto de diferentes marcas teriam quantificações diferentes de ACV em um mesmo software, o importante é a comparabilidade em si (HEIJUNGS e SUH, 2002).

Heijungs e Suh (2002) estabeleceram a formulação geral de um modelo básico de análise de inventários com base nas implicações discutidas por Guinée et al (2002<sup>33</sup>). Este modelo básico, presente em praticamente todas as ferramentas atualmente disponíveis para cálculo da ACV, tem caráter acadêmico ideal, e portanto a aplicação concreta em estudos de caso é nem sempre é recomendável. No Quadro 3 está de forma resumida o raciocínio desta formulação geral.

O princípio é baseado na lógica dedutiva: os softwares são estabelecidos por definições formais, propriedades iniciais são definidas como axiomas, e novas propriedades são derivadas de princípios e teoremas.

É preciso primeiro definir os principais objetos de estudo, e postular algumas de suas propriedades. Estes incluem vetores e matrizes de processos, o vetor de escala, o vetor de demanda final, assim como a propriedade de linearidade e aditividade.

A idéia principal é a construção sistemática de um conjunto de equações balanceadas, um para cada aspecto econômico, com uma quantidade de fatores de escala, um para cada unidade de processo.

A inversão da matriz é uma maneira de encontrar a solução, no entanto não é a única. A inversão de matriz é uma operação trabalhosa, não facilmente acessível para aqueles com treinamento matemático insuficiente. Pode ser numericamente instável e/ ou não aplicável diretamente na ACV.

As matrizes devem ser quadradas e inversíveis, o que pode não ocorrer em casos onde:

- Há cortes de aspectos econômicos considerados;
- Multifuncionalidade de unidades de processo;
- Circuito fechado de reciclagem.

Esta abordagem é baseada na presunção de certeza absoluta, embora na prática dados sobre processos tenham incertezas em alguns aspectos.

### **Quadro 3 – Resumo do raciocínio utilizado como base para uma formulação geral de cálculo de ACV**

Fonte: Heijungs e Suh (2002, p. 20 e 23).

<sup>33</sup> GUINÉ, J. B.; GORRÉE, M.; HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; KLEIJN, R.; KONING, A. de; OERS, L. van; SLEESWIJK, A. Wegener; SUH, S.; HAES, H. A. Udo de; BRUJIN, H. de; DUIN, R. van; HUIJBREGTS, M. A. J. **Life cycle assessment**, an operational guide to the ISO standards – I: LCA in perspective; IIa: Guide; IIb: Operational annex; III: Scientific background. Dordrecht: Kluwe Academic Publishers, 2001.

Como principais softwares do mercado pode-se citar: Sima-pro (<http://www.simapro.com>), Gabi IV (<http://www.pe-europe.com>), Team ([www.ecobalance.com/uk\\_team.php](http://www.ecobalance.com/uk_team.php)), Umberto (<http://www.umberto.de>), Ecoinvent (<http://www.ecoinvent.ch>), e Buwal (<http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal>). Estes softwares normalmente contêm bancos de dados tão atualizados quanto possível de fluxos elementares de produtos e gerenciam modelos de avaliação de impacto; entretanto os dados referenciam-se em valores internacionais.

Vale lembrar que os programas citados permitem a incorporação e a atualização de dados. Ou seja, pode-se realizar uma ACV – Análise do Ciclo de Vida a partir de dados estocados nos bancos preexistentes, ou então executá-la a partir de dados de campo, específicos para uma situação de interesse (MARCOS, 2009).

### 3.2 ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL

O estudo de impacto ambiental é composto, sumariamente por Diagnóstico, Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) e Prognóstico. Na AIA, os dados coletados são avaliados para identificar conseqüências das futuras intervenções (DRUCZCZ, 2002).

Existem diversos tipos de Estudos Ambientais Prévios, que variam em sua formulação conforme tamanho do empreendimento, determinado por parâmetros estabelecidos pelo órgão ambiental competente. As alterações entre os diferentes tipos geralmente dizem respeito a área de influência a ser considerada e à importância de cada aspecto ambiental.

O Instituto Ambiental do Paraná (IAP) disponibiliza diversos documentos base para realização do Estudo de Impacto Ambiental, dentre os quais se destaca o modelo de Matriz de Impactos, onde o empreendedor pode realizar uma análise holística do empreendimento (Anexo I). Importante ressaltar que a avaliação sobre presença de impactos nem sempre inclui todos aqueles citados pelo IAP, mas a matriz serve de modelo para elaboração dos estudos (IAP, 2012).

Embora para pequenas construções não seja necessário um EIA ou, na maioria das vezes, nenhum estudo ambiental complexo, existe uma oportunidade em avaliar da melhor forma o impacto das construções, não apenas antes da implantação no terreno, mas também ao considerar aspectos do ciclo de vida das edificações.

Essa outra aplicação dos EIAs reflete em vantagens no desempenho ambiental com a diminuição no consumo de matérias primas, água e energia, economias financeiras e melhor aceitação no mercado (estratégia de marketing). Ocorre também a redução da possibilidade de acidentes ambientais acontecerem, otimização do trabalho com o aumento da eficiência, prevenção de obstáculos relacionados à responsabilidade civil e criminal, melhor relacionamento do empreendimento com o órgão ambiental e com a população de entorno.

Existem quatro estágios diferenciados de abordagem ambiental: (1) conformidade ambiental, (2) conformidade normativa, (3) ecoeficiência e (4) econegócio. Os empreendimentos podem ser situados em um desses estágios – a aplicação do conceito de melhoria contínua faz com que haja superação gradativa

dos obstáculos e das limitações permitindo atingir níveis superiores de desempenho ambiental.

O primeiro significa atendimento a exigências ambientais estipuladas por legislação e pelos órgãos ambientais competentes. Para conformidade ambiental tem caráter obrigatório são realizadas atividades de capacitação e organização de base de dados.

A conformidade normativa corresponde ao atendimento voluntário às exigências estabelecidas em normas técnicas ambientais de gestão e de processos. Esse atendimento, embora facultativo, constitui pressuposto básico para inserção competitiva no mercado.

A ecoeficiência contempla a adoção de processos de produção em conformidade com os requisitos ambientais, considerando a avaliação dos impactos no meio ambiente, a mensuração dos respectivos custos ambientais e o princípio da melhoria contínua como fatores diferenciais. As atividades estão voltadas ao estabelecimento de mecanismos de prospecção, transferência e aplicação de tecnologias mais limpas, de prevenção à poluição e de contabilidade ambiental.

O econegócio refere-se à inserção em mercados de padrões de consumo ambientalmente responsável, a partir de pesquisa, geração ou fornecimento de produtos e serviços sustentáveis que incorporem saltos tecnológicos significativos para a conservação ambiental. As atividades propostas para este estágio concentram-se na prospecção de produtos e serviços e no desenvolvimento de procedimentos e processos tecnológicos que estimulem, intensifiquem e expandam essa alternativa de negócio.

Os estudos inclusos dentro do EIA podem incluir pesquisas sobre tráfego local, levantamento de vegetação, impactos no solo e em rochas, impactos na infraestrutura urbana, impactos na qualidade do ar, impactos paisagísticos, impactos no patrimônio histórico-cultural, impacto nos recursos hídricos, impactos de volumetria das edificações, impactos na fauna, impactos na paisagem urbana e estudos socioeconômicos.

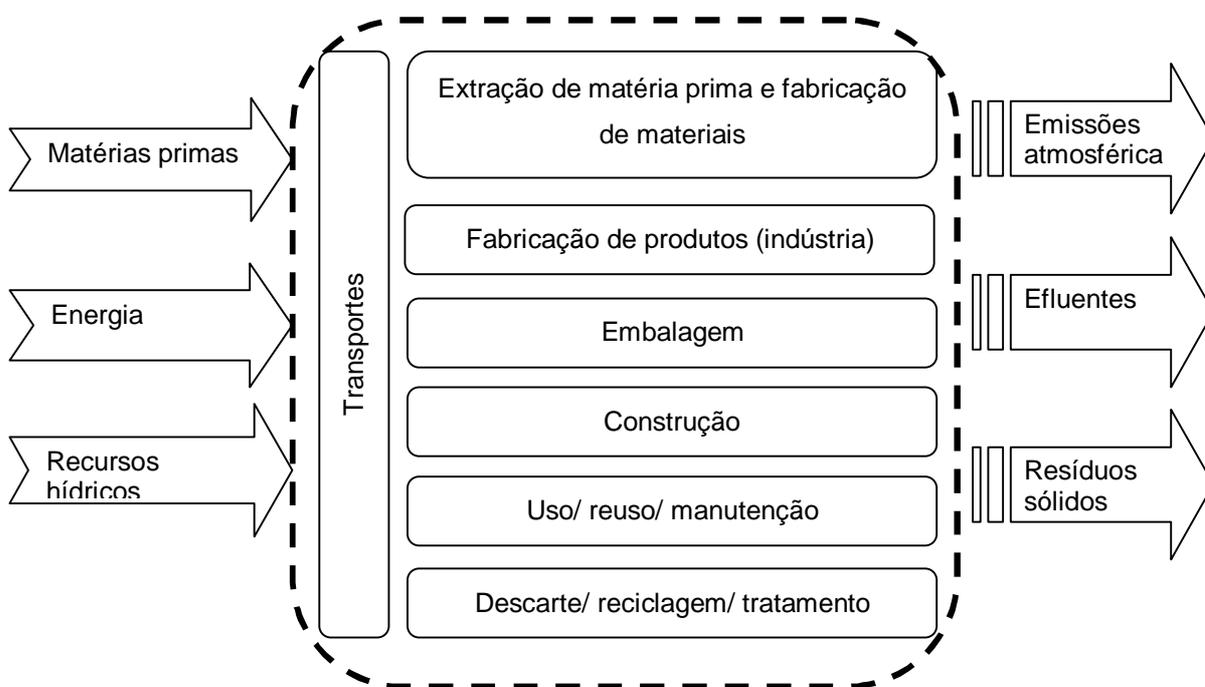
Pode-se ainda delimitar as áreas de influência do empreendimento e, portanto, do EIA. Área de influência é o espaço passível de alterações em seus meios físico, biótico e/ ou socioeconômico, decorrentes da implantação e/ ou operação. Somente após esta definição é possível orientar as análises temáticas

anteriormente citadas, bem como intensidade e natureza dos impactos. Para delimitação pode-se considerar como parâmetros: características e abrangência do empreendimento, bacias hidrográficas, perfil planialtimétrico da região, dados meteorológicos, possíveis interferências com as comunidades do entorno; Plano Diretor do Município e legislação ambiental pertinente.

A adaptação de escopo para avaliação dos impactos ambientais nesta monografia levou em consideração aspectos inerentes à construção e ao seu respectivo ciclo de vida, e não a uma avaliação prévia de impactos na área a receber a construção. Portanto, a principal adaptação é a substituição do conceito de área de influência pelo conceito de escopo da ACV.

## 4 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM CONSTRUÇÕES EM ALVENARIA E WLF

Para a avaliação dos impactos ambientais na comparação entre construções utilizando os sistemas construtivos em alvenaria de tijolos cerâmicos e em WLF, foram consideradas as etapas de extração de matéria prima e fabricação de materiais, fabricação de produtos (indústria), embalagem, construção, uso/ reuso/ manutenção, descarte/ reciclagem/ tratamento, e transportes que ocorrem durante todo o ciclo de vida dos componentes. Como entradas do sistema pode-se identificar as matérias primas, energia e recursos hídricos; e como saídas, emissões atmosféricas, efluentes e resíduos sólidos Figura 24.



**Figura 24 – Etapas consideradas na avaliação de impactos**

Fonte: adaptado de Lobo, 2010 e Graedel, 1998.

O Projeto Arquitetônico também desempenha função fundamental quando se trata da avaliação do ciclo de vida da edificação. Isto porque um projeto realizado considerando formas dinâmicas para aumentar conforto como disposição de janelas para favorecer ventilação conforme características locais ou para aumentar iluminação refletem em economias (principalmente no consumo de energia) ao longo da utilização da edificação.

No quesito de controle de recursos hídricos, é possível integrar formas de aproveitamento à edificação como armazenamento de água pluvial para usos não potáveis. Os materiais usados também refletem em menor necessidade do consumo de água para lavagem e manutenção, aspecto que diz respeito a acabamentos e por isso não foi incluído na avaliação de impactos ambientais.

Ainda sobre as vantagens do projeto arquitetônico bem elaborado, há menor geração de resíduos, tanto por empregar materiais levando em consideração dimensões e quantidades padrão, quanto por reduzir desperdícios.

#### 4.1 ENERGIA

A geração de energia gera impactos ambientais significativos, em todas suas diferentes formas de geração, sendo as inerentes aos componentes das tecnologias de construção em alvenaria e em WLF: queima de combustíveis fósseis (carvão e diesel, por exemplo), energia elétrica (transmitida em rede), ou pelo sistema pneumático.

A queima de combustíveis fósseis ocorre significativamente durante processo de cura dos tijolos cerâmicos, fabricação do cimento e no transporte de materiais em todo o ciclo de vida da construção em alvenaria e da construção em WLF.

A energia elétrica é a fonte mais utilizada na fábrica da Tecverde. O consumo vem da talha, equipamento utilizado para movimentação de painéis, ferramentas para construção dos painéis e dispositivos de iluminação. Como a talha não é ligada durante todo o período de funcionamento e as ferramentas não consomem quantidades significativas para utilização, foi informado em visita técnica que o consumo energético global da fábrica é baixo.

Considerando ainda que a energia elétrica em rede é gerada em sua maioria por fontes hidrelétricas (68,53% segundo a Aneel, 2010) o consumo desta fonte não é significativamente impactante ao meio ambiente. Sobre este dado, no entanto, é necessário fazer um esclarecimento: não é possível rastrear qual fonte de energia foi usada ao ligar um equipamento à rede, mas a grande presença de hidrelétricas na matriz energética é aspecto ambiental favorável é porque os impactos ambientais são considerados sob a perspectiva de redes, e não sob a perspectivas de locais de

geração e distribuição. Isto fica comprovado pelos dados fornecidos mensalmente pelo Ministério da Ciência e Tecnologia sobre emissões de quilos de dióxido de carbono equivalente por megawatt hora gerado ( $tCO_2/MWh$ ) referentes à rede, e não a regiões (MCT, 2012).

Na fábrica da Tecverde também é utilizado o sistema pneumático para mover partes da mesa de fabricação dos painéis conforme tamanhos finais previstos e também para algumas ferramentas. O sistema utilizado consiste em utilizar o ar comprimido por compressor de acionamento elétrico para execução de tarefas através de válvulas e as vantagens em relação a outros sistemas, segundo Silva (2002), resumem-se em:

- Não apresentar riscos de faísca em atmosfera explosiva;
- Fácil armazenamento por ser sistema relativamente compacto;
- Não contaminar o ambiente por ser sistema limpo e atóxico;
- Não necessitar de escapes para atmosfera como ocorre em sistemas elétricos e hidráulicos.

Importante destacar que existe outra perspectiva sobre o gasto energético em relação ao tempo de utilização da construção. Com um melhor sistema de isolamento térmico, a necessidade do uso de aquecedores diminui e por isso há significativa queda de consumo energético considerando o ciclo de vida da edificação. Existe esta economia também quando o projeto arquitetônico inclui formas naturais para aumentar conforto térmico, como localização das janelas de forma a promover ventilação cruzada. Ainda sobre o uso de energia, há economias quando existe aproveitamento da iluminação natural durante o dia, também em razão da localização e formato de janelas.

Desta forma, o projeto desempenha função fundamental na economia de energia em uma edificação durante o seu tempo de utilização, mas o sistema construtivo WLT ainda se destaca como mais vantajoso uma vez que o painel empregado possui maior precisão no isolamento por ser produzido em fábrica, e também dispositivos tecnológicos modernos (lã de PET reciclada ou vidro, por exemplo).

## 4.2 EMISSÕES ATMOSFÉRICAS E RUÍDOS

### Emissões atmosféricas

As emissões de gases na atmosfera ocorrem pela liberação de substâncias retidas durante a mineração das matérias primas, em decorrência de processos industriais, pela queima de combustíveis para transporte e apoio às etapas e durante o tratamento ou decomposição dos materiais residuais. No Quadro 4 pode-se observar valores de emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) inerentes aos componentes das tecnologias de construção aqui estudadas. Pode-se observar que a geração no caso da madeira fica negativa pois existe o seqüestro de carbono durante o cultivo da matéria prima (DEEKE, 2009).

<b>Materiais</b>	<b>Emissões por de CO<sub>2</sub> (kg/ unidade)*</b>	<b>Geração de CO<sub>2</sub> (kg/m<sup>3</sup>)**</b>	<b>Energia Incorporada (MJ/m<sup>3</sup>)**</b>
Madeira	-	<b>(-) 735</b>	<b>11200</b>
Tijolos (blocos cerâmicos)	<b>0,95/ unidade</b>	<b>304</b>	<b>5700</b>
Areia	<b>6,34/ m<sup>3</sup></b>	-	-
Cimento	<b>28,25/ saco – 50kg</b>	-	-
Placas cimentícias	-	<b>306</b>	<b>1972</b>

**Quadro 4 – Emissões dos componentes de construções em alvenaria e em WLF**

\*Fonte: DEEKE, 2009.

\*\*Fonte: DEEKE, 2009 apud RODEL, 2005.

### Ruídos

Segundo a Resolução CONAMA 01/ 1990, os problemas gerados pelos níveis excessivos de ruído estão incluídos entre os sujeitos ao controle da poluição ambiental. A Resolução ainda determina que na execução de construções, os sons produzidos não poderão ultrapassar os níveis estabelecidos pela NBR 10.152: o limite no período diurno (07h00 às 20h00) para áreas residenciais é de 45 dB, áreas diversificadas (comércio, indústrias, residências) 65 dB e áreas industriais 70 dB; em períodos noturnos o limite fica 5 dB a menos (ASSOCIAÇÃO..., 2000).

A poluição sonora nas construções em alvenaria e em WLF ocorre durante todas as etapas por diferentes fontes: na extração, os ruídos são gerados pelo processo de mineração, na fabricação pelo funcionamento de maquinário e

movimentação interna de materiais e na construção pelo assentamento (alvenaria) e montagem (WLF). Há significativa poluição sonora também em razão do transporte de materiais durante todo o ciclo de vida. Durante o uso das construções, o impacto de ruídos não é significativo. Na última etapa, no caso de descarte os ruídos serão gerados pela disposição dos resíduos no aterro, e na reciclagem e tratamento dos ruídos estarão relacionados a outros processos produtivos que irão gerar respectivos produtos e subprodutos, não considerado neste estudo.

#### 4.3 CONSUMO DE RECURSOS HÍDRICOS

O consumo de recursos hídricos na construção ocorre pelo uso no processo produtivo onde há também a geração de efluentes, e como agregado nos produtos finais.

Na extração de matéria prima, especialmente dos minerais dos componentes da alvenaria, o consumo existe na lavagem de veículos sempre que deixam o canteiro de obras e, em alguns casos, umidificação das próprias jazidas para diminuir geração de poeiras. Compõe ainda a massa crua do tijolo e é há consumo para dar o traço na mistura entre areia, cimento e cal durante a produção da argamassa para conexão de tijolos.

Na tecnologia de WLF, os consumos de recursos hídricos são similares, mas ocorrem em menor quantidade: tanto no que se refere à lavagem dos veículos quando na composição de produtos, neste caso placa cimentícia e gesso acartonado.

#### 4.4 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

O gerenciamento de resíduos da construção civil no canteiro de obras é regulamentado pela Resolução CONAMA 307/ 2004: “Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil”. Embora em grandes centros urbanos ocorra a aplicação da Resolução, de uma maneira geral a prática do Gerenciamento é de prática rara, ficando por muitas vezes apenas no papel. Portanto, é necessário programas de educação ambiental para a conscientização de todos os atores envolvidos na construção civil: operários,

construtoras, empreendedores, indústria, pequenos geradores, demolidoras e transportadoras (DEEKE, 2009). Depende do gerenciamento a maior quantidade de reciclagem e reuso dos resíduos. O quadro 5 mostra a classificação dos Resíduos da Construção Civil conforme a Resolução.

CLASSIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO	EXEMPLOS
CLASSE A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados	a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.
CLASSE B	Resíduos recicláveis para outras destinações	Plásticos, papel/ papelão, metais, vidros, madeiras e outros.
CLASSE C	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/ recuperação	Produtos derivados do gesso.
CLASSE D	Resíduos perigosos oriundos do processo de construção	Tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

**Quadro 5 – Classificação dos Resíduos da Construção Civil conforme o Art. 3º da Resolução 307/2004**

Fonte: CONAMA, 2004.

Conforme apresentado no quadro anterior, foram classificados os resíduos das construções em alvenaria e em WLF conforme os componentes presentes em cada tipo de tecnologia no Quadro 6.

CLASSIFICAÇÃO	ALVENARIA	WLF
CLASSE A Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados	Restos de tijolos e argamassa para conexão de tijolos.	Lã de PET, lã de vidro, restos da placa cimentícia
CLASSE B Resíduos recicláveis para outras destinações	Pallets usados, papéis e plásticos das embalagens.	Restos de OSB, pallets usados, papéis e plásticos das embalagens.

CLASSIFICAÇÃO	ALVENARIA	WLF
CLASSE C Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação	-	Gesso acartonado, membrana hidrófuga.
CLASSE D Resíduos perigosos oriundos do processo de construção	-	Estrutura em Pinus (devido ao CCA).

**Quadro 6 – Resíduos de construções em alvenaria e em WLF conforme Classificação na Resolução 307/ 2004**

Fonte: o autor.

Existe a geração de resíduos contemplada por esta classificação ocorre durante a construção em alvenaria e na montagem dos painéis. Na fabricação dos componentes, a classificação de resíduos é diferente, assim como nas etapas de extração de matéria prima, embalagem e uso/ reuso/ manutenção. Nestas etapas, a classificação dos resíduos é em função da NBR 10004, conforme Quadro 7, que também contém exemplos de resíduos gerados durante as outras etapas dos dois processos construtivos.

CLASSIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO	EXEMPLOS
CLASSE i: Perigosos	Resíduos cujas propriedades físicas, químicas ou infecto contagiosas podem acarretar em riscos à saúde pública e/ ou riscos ao meio ambiente quando não há gerenciamento adequado. Devem estar contidos nos anexos A ou B da NBR 10004 ou apresentar uma ou mais das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.	Componentes contaminados com tintas, estrutura em Pinus em razão da presença do CCA, resíduos contaminados com óleo, lâmpadas com vapor de mercúrio após uso (fluorescentes).
Classe II A: Não perigosos – não inertes	Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos Classe I (Perigosos) ou de resíduos Classe IIB (inertes). podem apresentar propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.	Embalagens de papel molhadas, resíduos de painéis OSB, resíduos domésticos gerados durante todo o ciclo de vida da construção (montagem, troca de painéis, embalagens de peças para manutenção, etc.).

CLASSIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO	EXEMPLOS
Classe II B: Não perigosos – inertes	Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G, da NBR 10004.	Resíduos da construção civil, papéis e papelão, plásticos.

**Quadro 7 – Resíduos de construções em alvenaria e em WLF conforme Classificação na NBR 10004**

Fonte: o autor.

#### 4.5 ASPECTOS AMBIENTAIS POR TIPO DE CONSTRUÇÃO E COMPONENTES

Para resumir os aspectos a serem considerados durante uma avaliação das questões ambientais envolvidas nos dois tipos de construção, foram elaborados os quadros a seguir que representam os aspectos ambientais mais relevantes nas etapas do ciclo de vida dos componentes envolvidos.

Sobre os impactos significativos identificados nos componentes da argamassa para conexão de tijolos (Quadro 8), destacam-se na produção: queima de diesel e outros combustíveis no consumo energético; na extração: emissões atmosféricas pela liberação de gases retidos e gases da queima; em todo o ciclo de vida (extração, produção, construção, demolição): ruídos dos maquinários, consumo de recursos hídricos para lavagem, matéria prima no processo produtivo e composição dos produtos finais, geração de resíduos pelo desperdício e perdas nos processos.

Foram considerados itens não significativos dentro do escopo de análise nos aspectos ambientais da construção em alvenaria: as etapas de embalagem, uso/reuso/ manutenção e descarte/ reciclagem/ tratamento. Sobre a questão na não significância na etapa de descarte e reciclagem, isto ocorre porque atualmente a preocupação está focada na coleta dos resíduos da construção civil para longe do canteiro de obras, sem controle da destinação final que muitas vezes não é feita.

<b>Etapas</b>	<b>Consumo energético</b>	<b>Emissões atmosféricas e ruídos</b>	<b>Consumo de recursos hídricos</b>	<b>Geração de resíduos</b>
<b>Extração de matéria prima e fabricação de materiais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diesel maquinário de exploração → significativo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tijolo e argamassa para conexão de tijolos: liberação de gases durante a mineração de matérias primas antes retidos nas jazidas → significativo.</li> <li>▪ Ruídos do maquinário → significativo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lavagem dos veículos, coadjuvante na extração → significativo pois ocorre sempre que os veículos deixam o parque de extração na mineração</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tijolo: cerâmica não adequada para compor massa do tijolo → significativo.</li> <li>▪ Areia, cimento e cal: matéria prima não adequada para compor mistura da argamassa para conexão de tijolos → significativo.</li> </ul>
<b>Fabricação de produtos (indústria)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Queima para cura do tijolo → significativo;</li> <li>▪ Queima para produção do clínquer → significativo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tijolo e componentes da argamassa para conexão de tijolos (cimento e cal): emissões geradas nas caldeiras → significativo</li> <li>▪ Ruídos do maquinário → significativo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tijolo: para compor massa antes da cura → significativo</li> <li>▪ Argamassa para conexão de tijolos: para dar o traço entre areia, cimento e cal → significativo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Perdas do processo (tijolo: quebras; argamassa para conexão de tijolos: endurecimento) → significativo com possibilidade de redução.</li> </ul>
<b>Embalagem</b>	Não significativo*	Não significativo*	Não significativo*	Não significativo*
<b>Uso/ reuso/ manutenção</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Significativo: em construções em WLF há maior economia de energia por melhor isolamento térmico</li> </ul>	Não significativo*	Não significativo*	Não significativo*
<b>Descarte/ reciclagem/ tratamento</b>	Não significativo*	Não significativo*	Não significativo*	Não aplicável.
<b>Transportes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diesel maquinário → significativo: entre todas as etapas do ciclo de vida do tijolo e da argamassa para conexão de tijolos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Emissões da queima do diesel → significativo;</li> <li>▪ Ruídos caminhões → significativo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lavagem dos veículos → significativo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Manutenção dos caminhões e perdas durante transporte → significativo</li> </ul>

**Quadro 8 – Impactos ambientais significativos e não significativos da alvenaria: tijolo e argamassa para conexão de tijolos**

\*Aspecto não significativo no escopo determinado.

Fonte: o autor.

Na tecnologia WLF, os impactos ambientais que se destacam pela sua significância são (Quadro 9): queima de diesel e outros combustíveis fósseis no consumo energético; emissões atmosféricas pela liberação de gases durante a queima; emissão de gases tóxicos durante a queima da estrutura em Pinus (tratamento para destinação final); consumo de recursos hídricos para lavagem,

coadjuvante do processo produtivo e composição dos produtos finais; geração de resíduos por desperdício e perdas nos processos.

Foram considerados itens não significativos dentro do escopo de análise nos aspectos ambientais da construção em WLF: as etapas de embalagem, uso/ reuso/ manutenção e descarte/ reciclagem/ tratamento.

A lã de PET reciclada é uma exceção à forma de avaliação pois não é aplicável a avaliação de impactos na etapa de extração de matéria prima e fabricação dos materiais: a matéria prima do produto final é a destinação final de outros processos produtivos.

Sobre a questão na não significância na etapa de descarte e reciclagem, isto ocorre porque atualmente a preocupação está focada no aprimoramento do processo construtivo e na satisfação do cliente. Por estar no começo do desenvolvimento da tecnologia, recomenda-se que a Tecverde crie uma política da gestão de resíduos das construções onde é empregada sua tecnologia.

Placas cimentícias e de gesso acartonado podem ser substituídas caso ocorram trincas ou por decisão do usuário, mas tais trocas e respectivos resíduos gerados não são significativos no ciclo de vida desta tecnologia de construção.

Diferente da alvenaria onde na etapa de descarte/ reciclagem/ tratamento os impactos ambientais conforme escopo são não significativos; neste caso há queima de combustíveis fósseis e/ ou uso de energia elétrica para triturar resíduos de OSB para posterior uso; e, por causa do CCA agregado ao Pinus, deve-se queimar os componentes deste material em foros adequados com tratamento de emissões atmosféricas.

Na etapa de transportes, há grande similaridade entre as duas tecnologias de construção embora exista maior potencial na diminuição de impactos nesta etapa nas construções em WLF com a produção em larga escala. Observe o Quadro 9.

<b>Etapas</b>	<b>Consumo energético</b>	<b>Emissões atmosféricas e ruídos</b>	<b>Consumo de recursos hídricos</b>	<b>Geração de resíduos</b>
<b>Extração de matéria prima e fabricação de materiais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diesel maquinário de exploração → significativo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estrutura em Pinus e OSB: como há seqüestro de carbono durante a silvicultura do Pinus, a emissão atmosférica é negativa;</li> <li>▪ Ruídos do maquinário para extração das matérias primas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lavagem dos veículos → menos significativo do que na alvenaria.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estrutura em Pinus e OSB</li> </ul>
<b>Fabricação de produtos (indústria)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diesel, energia elétrica e sistema pneumático → significativo;</li> <li>▪ Queima para cura da placa cimentícia → significativo;</li> <li>▪ Combustível para secagem do gesso → significativo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Emissões geradas nas caldeiras → significativo;</li> <li>▪ Ruídos do maquinário → significativo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Agregado na produção de placa cimentícia e gesso acartonado → significativo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Perdas do processo → significativo com possibilidade de redução.</li> <li>▪ Madeira em densidade e características técnicas não adequadas para uso na fabricação de tábuas de pinus e placas OSB → significativo.</li> </ul>
<b>Embalagem</b>	Não significativo*	Não significativo*	Não significativo*	Não significativo*
<b>Uso/ reuso/ manutenção</b>	Não significativo*	Não significativo*	Não significativo*	Placa cimentícia e gesso acartonado podem ser substituídos caso ocorram trincas ou por decisão do usuário → Não significativo*
<b>Descarte/ reciclagem/ tratamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diesel ou energia elétrica trituradores OSB → significativo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Emissão de substâncias perigosas durante a queima do Pinus por causa do CCA → significativo, tratável.</li> </ul>	Não significativo*	Não aplicável.
<b>Transportes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diesel maquinário → significativo: entre todas as etapas do ciclo de vida do tijolo e da argamassa para conexão de tijolos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Emissões da queima do diesel → significativo;</li> <li>▪ Ruídos caminhões → significativo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lavagem dos veículos → significativo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Manutenção dos caminhões e perdas durante transporte → significativo</li> </ul>

**Quadro 9 – Aspectos ambientais do sistema construtivo em WLF: Pinus, OSB, lâ de PET, lâ de vidro, membrana hidrófuga, placa cimentícia, gesso acartonado**

\*Aspecto não significativo no contexto da construção como um todo.

Fonte: o autor.

## 5 RESULTADOS

Considerando a ACV e o EIA, e sob as perspectivas de consumo de energia, emissões atmosféricas e ruídos, consumo de recursos hídricos e geração de resíduos, chegou-se à conclusão que o sistema construtivo em WLF é o mais vantajoso do que a alvenaria no que se refere à conservação do meio ambiente.

Na análise comparativa, sobressaíram as seguintes constatações que constituem importantes argumentos a serem utilizados por profissionais do setor da construção:

Aspecto	Sistema construtivo em alvenaria com tijolos cerâmicos	sistema construtivo em WLF
Mineração	Amplas áreas de exploração, alteração da paisagem, biodiversidade e microclima (muitas vezes tornando o local temporariamente inóspito grande quantidade de espécies vegetais e animais	Também há amplas áreas de cultivo, mas a alteração da paisagem é menos significativa e a alteração da biodiversidade local existe pela redução da diversidade de espécies animais e vegetais, mas não torna o ambiente inóspito.
Fabricação	Altos impactos pela queima necessária durante processos produtivos	Não existe queima durante o processo produtivo, mas há significativo impacto ambiental uma vez que o rendimento da produção de pinus é baixa em razão dos parâmetros a serem seguidos para assegurar uso para fins estruturais. Por outro lado, há menor desperdício durante a fabricação de painéis e a eficiência de produção é maior.
Embalagem	Existem poucas diferenças no processo de embalagem dos materiais, levando em consideração que são utilizados recursos recicláveis ou reutilizáveis, o que traduz a fase como de baixo impacto ambiental.	
Construção/ montagem	Há grandes impactos uma vez que os materiais que vão compor as diferentes peças da edificação (paredes, laje, fundações, etc) são utilizadas no local, o que significa maior geração de resíduos e maior tempo de duração desta fase do que no sistema construtivo em WLF.	Menores impactos por se tratar de um processo construtivo no formato montagem: a maioria das peças já vem prontas e corretamente dimensionadas de fábrica e são necessários poucos ajustes no local da edificação, em sua maior parte durante o acabamento (aspecto não incluído na avaliação de impactos).
Manutenção/ utilização	Sobre o aspecto de manutenção, não há significativas diferenças de impacto entre os dois sistemas construtivos por se tratar de trocas por componentes novos, o que remete uma extrapolação do escopo avaliado neste trabalho,.	

<b>Aspecto</b>	<b>Sistema construtivo em alvenaria com tijolos cerâmicos</b>	<b>sistema construtivo em WLF</b>
Manutenção/ utilização	Em relação ao processo construtivo em WLF, a alvenaria mostra desvantagens principalmente no quesito de isolamento térmico, o que reflete em maior consumo de energia durante a utilização da edificação, e, conseqüentemente, impacto ambiental significativo durante o ciclo da construção.	Neste sistema construtivo há menor consumo de energia, recursos hídricos e também na geração de resíduos durante a utilização,
Desmontagem	Há menor impacto ambiental quando opta-se pela desmontagem ao invés da demolição, mas isto não é praticado e as construções não são executadas prevendo uma desmontagem ao invés de demolição. Isto torna, neste aspecto, este tipo de construção mais impactante do que a em WLF	Este sistema construtivo leva vantagem porque é possível reutilizar o painel como um todo ou seus componentes em outro local, com exceção da estrutura em que possui CCA na composição, material perigoso que obriga o empreendedor a encaminhar a peça para incineração.
Transportes	São fonte significativa de impactos ambientais, especialmente por causa das emissões atmosféricas, fator que não altera significativamente entre os sistemas construtivos. No entanto, há grande potencial de diminuição de emissões no transporte de componentes de WLF na medida em que houver fabricação em larga escala: quando maior as quantidades transportadas, menor o impacto por unidade.	

## REFERÊNCIAS

ALMANAQUE BRASIL SOCIOAMBIENTAL (2008). São Paulo: ISA, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gestão Ambiental - Vocabulário**: NBR ISO 14050. Rio de Janeiro, 2004. 23p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida. Princípios e Estrutura**: NBR ISO 14040. Rio de Janeiro, 2009. 21p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida. Requisitos e orientações**: NBR ISO 14044. Rio de Janeiro, 2009. 46p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gestão Ambiental: Integração dos Aspectos Ambientais no Projeto e Desenvolvimento do Produto**: ISO TR 14062. Rio de Janeiro. 2004. 26p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.152**: níveis de ruído para conforto acústico: procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas – procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

BALDANZI, Giampiero; ARAUJO, Antonio José. Ensaio comparativo de espécies e procedências de Pinus, na estação de pesquisas florestais de rio Negro, Paraná. In: **Revista Floresta**, vol. 3, No 2., 1971. p. 86-89.

BRACELPA. **Pinus**. Disponível em <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/137>>. Acesso em 04 set. 2012.

BRACELPA. **Relatório Florestal 2009**. Disponível em <[http://bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/public/RA02-RelatorioFlorestal\\_2009.pdf](http://bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/public/RA02-RelatorioFlorestal_2009.pdf)>. Acesso em 04 set. 2012.

CHEHEBE, José Ribamar. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos**: ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.  
CONTAINER TRANSPORTATION. **Malcom McLean**: the man changed the world.

Disponível em < <http://www.container-transportation.com/malcolm-mclean.html>>. Acesso em 25 de ago. de 2012.

CRUZ, Beth. **Casas construídas em containers**. Disponível em <<http://www.peixotoplanejados.com.br/blog/arquitetura/casa-em-containers/>>. Acesso em 25 ago. 2012.

D'ALMEIDA, Jorge P. **Portos e transportes marítimos**. Lisboa: Instituto Superior Técnico (IST), 2006.

DECOLUX. **Produtos/ Serviços: Parede de Gesso Acartonado**. Disponível em <[http://www.decolux.com.br/#/flog/album/parede-de-gesso-acartonado-drywall-la-de-vidro-la-de-rocha-la-de-vidro-dupla-resistente-a-umidade-resistente-ao-fogo-acustica-na-zona-sul\\$c=1349453484678](http://www.decolux.com.br/#/flog/album/parede-de-gesso-acartonado-drywall-la-de-vidro-la-de-rocha-la-de-vidro-dupla-resistente-a-umidade-resistente-ao-fogo-acustica-na-zona-sul$c=1349453484678)>. Acesso em 09 out. 2012.

DEEKE, Vania. **Materiais convencionais utilizados na construção civil e emissão de CO2: estudo de caso de um edifício educacional da UTFPR**. 2009. 221 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

DOSSA, Derli; SILVA, Helton Damin da; BELLOTE, Antonio Francisco Jurado; RODIGHIERI, Honorino Roque. **Produção e rentabilidade de pinus em empresas florestais**. Colombo: Embrapa – Comunicado Técnico, 2002.

DRUSZCZ, M. T. **Avaliação de aspectos ambientais dos materiais de construção**: uma revisão bibliográfica com estudo de caso do bloco cerâmico. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

EBERSPACHER, Gisele. **4 construções com containers marítimos**: reaproveitar a estrutura deixa obra mais limpa e rápida, além de ser uma alternativa para uso de containers aposentados. Disponível em <<http://atitudesustentavel.uol.com.br/blog/2012/02/09/4-construcoes-com-containers-maritimos/>>. Acesso em 04 de out. 2012.

ECOHAUS. **Montagem**. Disponível em <<http://www.ecoshaus.com/tecnologia/montagem.html>>. Acesso em 05 set. 2012.

ENGENHARIA UNASP. **Vantagens e desvantagens do gesso acartonado**. Disponível em < <http://engenhariaunasp.wordpress.com/2007/05/10/vantagens-e-desvantagens-do-gesso-acartonado/>>. Acesso em 05 set. 2012.

ESCRITORIO VERDE. **Conheça as etapas da obra.** Disponível em <<http://www.escriptorioverdeonline.com.br/artigos/>>. Acesso em 05 set. 2012.

FIGUEIREDO, Igor Leal. **As vantagens de construir uma casa container.** Disponível em <<http://arqsustentavel.wordpress.com/2012/06/17/as-vantagens-de-construir-uma-casa-container/>>. Acesso em 08 de out. de 2012.

GOMES, C. F. **Argilas** – o que são e para que servem. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1988.

GRAEDEL, T. E. **Streaming Life-Cycle Assessment.** New Jersey, Estados Unidos: Prentice Hall, 1998.

HEIJUNGS, Reinout; SUH, Sangwon. **The computational structure of Life Cycle Assessment.** Norwell: Kluwer Academic Publishers, 2002

HINZ, Roberta Tomasi Pires; VALENTINA, Luiz V. Dalla; FRANCO, Ana Claudia. Sustentabilidade ambiental das organizações através da produção mais limpa ou pela Avaliação do Ciclo de Vida. In: **Estudos tecnológicos**, Vol. 2, nº 2, jul/dez. 2006. P. 91-98.

IAP – Instituto Ambiental do Paraná. **Consulta pública de impactos.** Disponível em <[http://creaweb.crea-pr.org.br/IAP/consultas/consulta\\_impactos\\_publica.aspx](http://creaweb.crea-pr.org.br/IAP/consultas/consulta_impactos_publica.aspx)>. Acesso em 19 nov. 2012.

JUNIOR, Afonso Frazão Barbosa; MORAIS, Rafael Meira de; EMERENCIANO, Sebastião Virgínio; PIMENTA, Handson Cláudio Dias; GOUVINHAS, Reidson Pereira. Conceitos e aplicações de ACV no Brasil. **XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, A energia que move a produção: um diálogo sobre integração, projeto e sustentabilidade. Foz do Iguaçu, 09 a 11 de outubro de 2007.

LOBO, Fernando Henrique Rodrigues. **Inventário de emissão equivalente de dióxido de carbono e energia embutida na composição de serviços e obras públicas: estudo de caso no estado do Paraná.** 2010. 212 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

LOSSO, Marco; VIVEIROS, Elvira. Gesso acartonado e isolamento acústico: teoria versus prática no Brasil. In: I Conferência Latino-Americana de Construção

Sustentável, X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 18-21 julho; São Paulo: 2004.

LP BUILDING PRODUCTS. **História do OSB**. Disponível em <<http://www.lpbrasil.com.br/osb/historia-do-osb.asp>>. Acesso em 05 out. 2012.

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. **Arquivos dos fatores de emissão**.

Disponível em <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html#ancora>>. Acesso em 26 out. 2012.

MEDEIROS, Giovanni. **Containers e construção civil**. Disponível em

<<http://www.projetoblog.com.br/2011/containers-e-construcao-civil/>>. Acesso em 04 out. 2012.

MEDINA, Heloisa Vasconcellos de. Produção e uso sustentável de materiais: gestão ambiental e Análise do Ciclo de Vida. **Comunicação Técnica elaborada para o 61º Congresso Anual da ABM – 24 a 27 de julho de 2006**. Rio de Janeiro, 2006.

MENEZES, Romualdo R.; NEVES, Gelmires de A.; FERREIRA, Heber C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. In: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 303-313. Campina Grande: DEAg/ UFMG, 2002.

OLIVEIRA, Gysele Martins de. **Transporte marítimo de contêiner**: a importância dos navios *feeders* neste modal. Rio de Janeiro: Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Trabalho de Conclusão do curso de Graduação em Tecnologia em Construção Naval, 2010.

OSB GUIDE. **About OSB**. Disponível em <<http://osbguide.tecotested.com/osb>>. Acesso em 05 de out. de 2012.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

RIBEIRO, Celso Munhoz; GIANNETTI, Biagio F.; ALMEIDA, Cecilia M. V. B. **Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)**: uma ferramenta importante da ecologia industrial. Disponível em <<http://www.hottopos.com/regeq12/art4.htm>>. Acesso em: 02 out. 2012.

RIBEIRO, Manuel J.; FERREIRA, António A. L.; LABRINCHA, João A. Aspectos

fundamentais sobre a extrusão de massas de cerâmicas vermelhas. In: **Cerâmica Industrial**, 8 (1), jan/ fev. Aveiro: ESTG, UIMC, 2003.

RICHTER, C. **Qualidade da alvenaria estrutural em habitações de baixa renda**: uma análise da confiabilidade e da conformidade. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, UFRGS, 2007.

RODRIGUES, Carla Regina Blanski; ZOLDAN, Marcos Aurelio; LEITE, Magda Lauri Gomes; OLIVEIRA, Ivanir Luiz. Sistemas Computacionais de apoio a ferramenta Análise de ciclo de Vida do Produto (ACV). **XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, 13 a 16 de outubro de 2008.

SCHMIDT, Margaret Souza; JOBIM FILHO, Helvio. Sistema de avaliação de materiais e componentes na indústria da construção civil: integração das cadeias produtivas. In: **Coletânea Habitare**, v. 7, p. 241-277. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ANTAC, 2006.

SILVA, Narciso Gonçalves da. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. 2006. 180 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SILVA, V. G.; SILVA, M. **Análise do ciclo de vida aplicada ao setor da construção civil**: revisão da abordagem e estado atual. In: CIB / CSTB. 2.o International Conference: Building and the Environment. Paris, 1997.

SOARES, Sebastião Roberto; PEREIRA, Sibeli Warmling. Inventário da produção de pisos e tijolos cerâmicos no contexto da análise do ciclo de vida. In: **Ambiente Construído**, v. 5, n. 2, p. 83-94, abr/ jun 2004. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004.

STACHERA JÚNIOR, Theodozio. **Avaliação de emissões de CO2 na construção civil**: um estudo de caso da habitação de interesse social no Paraná. 2006. 176 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

TCPO. **Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos**, 13 ed. São Paulo: Pini, 2008.

TECVERDE. **Tecnologia Tecverde**: em apenas 3 meses, você se muda para uma

casa onde a natureza é sempre bem-vinda. Disponível em <<http://www.tecverde.com.br/site/tecverde/tecnologia-tecverde/>>. Acesso em 05 out. 2012.

TRISOFT. **ISOSOFT®**, o isolante termoacústico da Trisoft se destaca em obras **ecologicamente corretas**. Disponível em <<http://www.trisoft.com.br/site/index.php/em-destaque.html>>. Acesso em 25 de out. de 2012

VIGON, B. W.; TOLLE, D. A.; CORNABY, B. W.; LATHAM, H. C.; HARRISON, C. L.; BOUGUSKI, T. L.; HUNT, R. G.; SELLERS, J. D. **Life-Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles**. Cincinnati, Ohio (Estados Unidos): U. S. Environmental Protection Agency, 1993.

WORLD RESOURCES INSTITUTE; INSTITUTO DE RECURSOS MUNDIAIS; PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. **A estratégia global da biodiversidade – diretrizes de ação para estudar, salvar e usar de maneira sustentável e justa a riqueza biótica da Terra**. Curitiba: Fundação O Boticário de Proteção à Natureza, 1992.

ZAGONEL, Joni. **Diagnóstico da prática de alvenaria estrutural e análise da viabilidade de uso do sistema racionalizado com blocos cerâmicos no Vale do Taquari**. Porto Alegre: Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, UFRS, 2010.

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

## ANEXO I – CONSULTA PÚBLICA DE IMPACTOS (INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ)

Grupo	Subgrupo	Impactos
Meio Biológico	Fauna	Alteração da composição da fauna.
		Aparecimento de espécies exóticas.
		Aparecimento de vetores.
		Atropelamento de animais.
		Aumento de caça.
		Desequilíbrio ecológico
		Destruição de habitats.
		Dispersão de espécies.
		Empobrecimento genético.
		Espécies endêmicas, raras ou ameaçadas.
		Interrupção da migração de peixes.
		Isolamento de populações.
		Mortandade de peixes.
		Prejuízo de outros animais aquáticos.
	Redução de estoques populacionais.	
	Flora	Alterações em áreas de ocorrência de espécies endêmicas, raras ou ameaçadas.
		Contaminação biológica (exóticas)
		Diminuição da abundância de espécies.
		Diminuição de área de ocorrência de espécies nativas
		Efeitos de borda
		Extinção de espécies - contribuição para
		Fragmentação de habitats - isolamento
		Insularização (formação de áreas isoladas)
		Invasão de espécies mais adaptadas
		Mudança de paisagem (ambiente).
		Perda da diversidade biológica.
Perda de cobertura vegetal nativa (floresta, campo)		
Perda de conexão entre fragmentos		
Prejuízo de outros animais aquáticos.		
Redução da variabilidade genética		
Meio Físico	Água	Alteração da dinâmica do ambiente
		Alteração da qualidade de água subterrânea. (referência resoluções conama e potabilidade)
		Alteração da qualidade de água superficial. (referência resoluções conama)
		Alteração da quantidade de água subterrânea.
		Alteração da quantidade de água superficial.
		Alteração do balanço hídrico.
		Alteração do fluxo de recarga da água subterrânea.
		Alteração do nível do aquífero.
		Alteração nos usos da água
		Aumento do assoreamento das águas superficiais.
		Ecotoxicidade
		Eutrofização e florações
		Poluição por efluentes líquidos ou resíduos sólidos
		Ar
	Alteração qualidade do ar: co, mp, so2, partículas inaláveis, ozônio, fumaça, no2, voláteis, odores	
	Aumento dos índices de ruído	
	Chuva ácida	
	Clima	Geração de poluentes atmosféricos
		Alteração do microclima: precipitação, temperatura

Meio Físico	Clima	Alteração dos padrões de vento
	Geologia/ Geomorfologia	Alteração das características dinâmicas do relevo.
		Alteração das condições geotécnicas
		Alterações de jazidas minerais
		Comprometimento de cavidades naturais
		Sismicidade
	Solo	Agravamento dos processos de desertificação
		Alteração da estrutura do solo
		Alteração da fertilidade do solo (npk, mo, ph micronutrientes.)
		Alteração do uso do solo.
		Compactação do solo
		Contaminação do solo (substâncias poluentes inorgânicas).
		Contaminação do solo (substâncias poluentes orgânicas).
		Diminuição da capacidade de regeneração do meio
Disposição de resíduos e efluentes.		
Erosão nas encostas.		
Erosão superficial.		
Impermeabilização. Aumento da evapo-transpiração do solo		
Meio Socioeconômico	Aspectos sociais e culturais	Alteração das condições da qualidade de vida
		Alteração das relações sociais
		Alteração dos elementos culturais
	Atividades econômicas setor primário	Alteração das condições da qualidade de vida
		Alteração das relações sociais
		Alteração dos elementos culturais
	Atividades econômicas setor secundário	Alteração da produção de unidades industriais
		Alteração da taxa de emprego industrial
		Alteração das atividades industriais
	Atividades econômicas setor terciário	Alteração da taxa de emprego no setor terciário
		Alteração das atividades comerciais e de serviços
		Alteração das atividades do setor terciário
		Alteração das finanças municipais
	Educação, recreação e lazer	Alteração da demanda por escolas
		Maior procura por centros de recreação e lazer
	Infraestrutura regional	Alteração do sistema de telecomunicações
		Alteração do sistema de transmissão e distribuição de energia elétrica
		Alteração do sistema viário, incluindo rodovias, ferrovias, hidrovias e aeroportos
	Núcleos populacionais	Alteração das condições de abastecimento e comercialização
		Alterações na rede de polarização regional
		Criação de pólos de atração com o conseqüente aumento da demanda de serviços e equipamentos sociais.
		Inundação de áreas urbanas
	Patrimônio cultura, histórico, arqueológico e paisagístico	Desaparecimento / descaracterização de monumentos, prédios e sítios com valor cultural e histórico
Desaparecimento de sítios com valor arqueológico e paisagístico		
Populações indígenas, quilombolas e outras populações tradicionais	Alteração da organização social vigente	
	Alteração dos elementos culturais das populações tradicionais	
Transferência compulsória de populações indígenas		
Saúde pública	Alteração de demanda para a rede médico-	

Meio Socioeconômico	Saúde pública	Hospitalar alterações que possibilitem focos de moléstias diversas
		Potencialidade de acidentes com a população local e temporária
	Situação demográfica rural e urbana	Alteração da taxa de emprego rural e/ou urbano
		Alteração das condições habitacionais na fase de construção de obras
		Transferência compulsória da população afetada