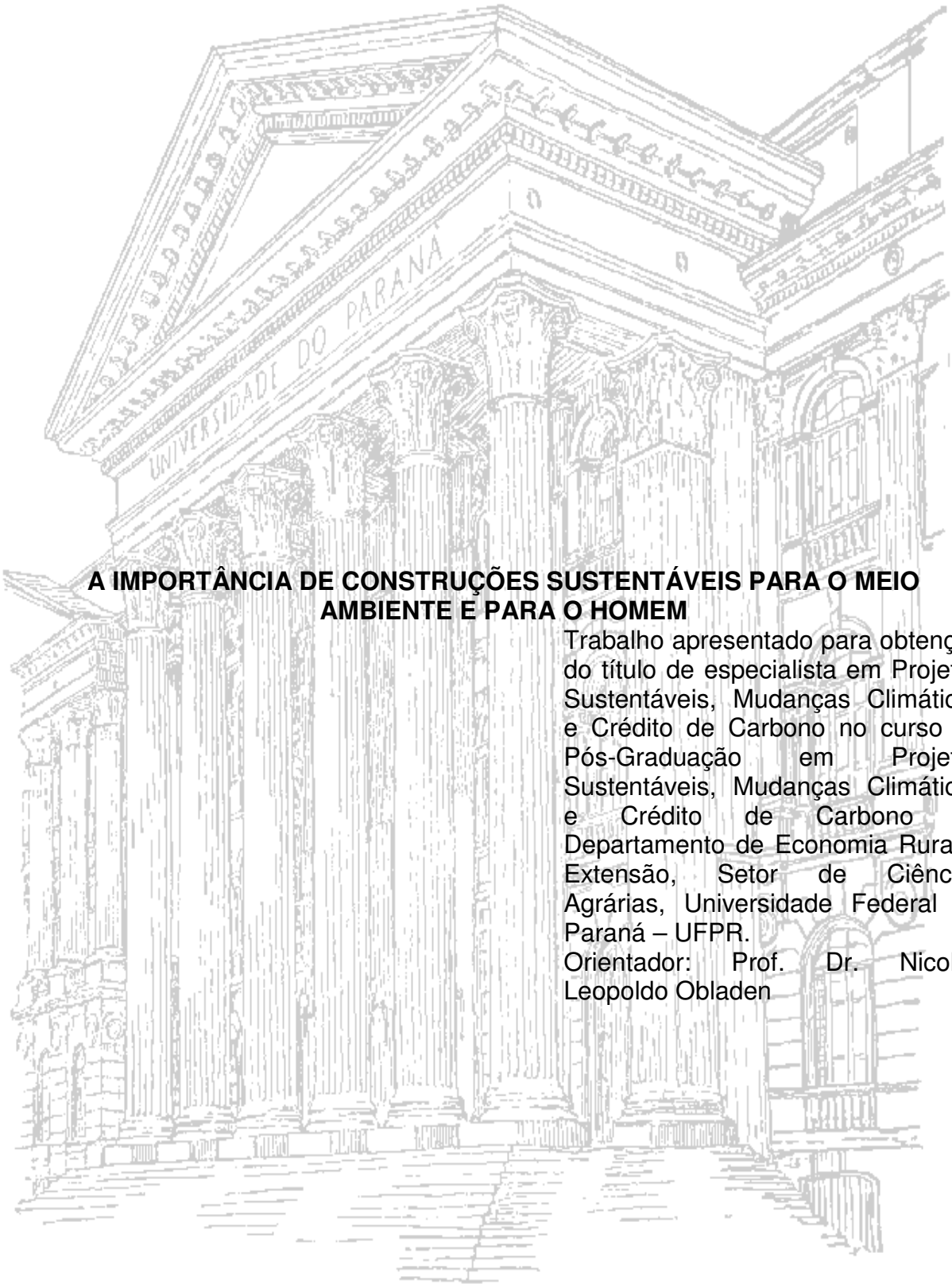
RICARDO BECKERT TREVISAN



A IMPORTÂNCIA DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS PARA O MEIO AMBIENTE E PARA O HOMEM

Trabalho apresentado para obtenção do título de especialista em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Crédito de Carbono no curso de Pós-Graduação em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Crédito de Carbono do Departamento de Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná – UFPR.
Orientador: Prof. Dr. Nicolau Leopoldo Obladen

CURITIBA
2012

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 5
2. DIAGNÓSTICO 5
3. MARCO TEÓRICO 7
   3.1 Princípios gerais 9
   3.2 Edificação saudável 12
   3.3 Materiais de construção 12
   3.4 A obra sustentável 13
   3.5 Tipos de Construções Sustentáveis 13
   3.6 Construção e o Meio Ambiente 18
   3.7 Certificações – Selos Verdes 23
4. MATERIAIS E MÉTODOS 24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 24
6. CONCLUSÃO 32
7. REFERÊNCIAS 33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Protótipo de uma casa sustentável (Hemisfério Norte)..... 10
Figura 2. Construção com materiais sustentáveis industriais.. 14
Figura 3. Construção com pneus e latinhas 15
Figura 4. Residência construída com tijolos reutilizados 16
Figura 5. Portas sendo reutilizadas como forro 16
Figura 6. Painéis solares caseiros 17
Figura 7. Construção natural com terra-palha e troncos 18
Figura 8. Escritório Verde da UTFPR..... 25
Figura 9. Detalhe do isolamento termo-acústico das paredes 27
Figura 10. Detalhe dos pisos drenantes 27
Figura 11. Fachada da casa e placas fotovoltaicas no telhado 28
Figura 12. Telhado verde..... 28
Figura 13. Casa com tijolo ecológico e telhado verde..... 30
Figura 14. Aquecedor solar caseiro 30
Figura 15. Horta vertical..... 31
Figura 16. Janelas elevadas para circulação do ar e telhado verde 31

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo realizar uma análise sobre a importância das construções sustentáveis para o meio ambiente e para o homem. Para tal foram levantados os seguintes aspectos: a problemática que o setor da construção civil acarreta para o meio ambiente; os princípios gerais para considerar uma obra sustentável e os benefícios diretos e indiretos da prática de construções ambientalmente corretas. Utilizou-se de método dedutivo, a partir de pesquisa bibliográfica documental. Também foram realizados dois estudos de caso em exemplos de construções sustentáveis localizadas em Curitiba/PR. Foi possível inferir que o setor de construção civil pode gerar diversos impactos ambientais, principalmente devido à grande geração de resíduos sólidos e à emissão de gases de efeito estufa (GEE's). Verificou-se que os principais benefícios das construções sustentáveis estão ligados ao atendimento das necessidades de qualidade e conforto do ser humano, aliadas à mitigação dos impactos ambientais gerados pelas construções usuais, além da possibilidade de evolução cultural e social do ser humano a respeito da questão ecológica.

Palavras-chave: Construção civil, construção sustentável, gases de efeito estufa.

ABSTRACT

This work aims to carry out an analysis on the importance of sustainable buildings to the environment and to humans. To this end the following issues were raised: the issue that the construction sector brings to the environment; the General principles to consider a sustainable work and the direct and indirect benefits of the practice of environmentally correct constructions. Deductive method was used, from documentary bibliographical research. Were also conducted two case studies on examples of sustainable buildings located in Curitiba/PR. It was possible to infer that the construction sector can generate several environmental impacts, mainly due to the large solid waste generation and greenhouse gas emissions (GHG's). It was found that the main benefits of sustainable buildings are linked to meeting the needs of quality and comfort of human beings, the mitigation of the environmental impacts generated by the usual buildings, besides the possibility of social and cultural evolution of the human being with regard to the ecological issue.

Keywords: Construction, sustainable building, greenhouse gas emissions.

1. INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva da construção tem se destacado no debate global relativo ao tema das mudanças climáticas. Dados da principal iniciativa entre os atores públicos e privados do setor, o Sustainable Buildings and Climate Initiative (SBCI), entidade ligada ao Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma ou Unep, em inglês), aponta que a construção civil é uma das atividades de maior pegada ecológica em nosso planeta. Segundo esse programa, a construção consome 40% de toda energia, extrai 30% dos materiais do meio natural, gera cerca de 40% dos resíduos sólidos dos centros urbanos, consome 25% da água e ocupa 12% das terras. Infelizmente, a construção também não fica atrás quando se trata de emissões atmosféricas, respondendo por mais de 30% das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE's).

Nas edificações, as emissões são prioritariamente provenientes do uso de energia, sendo de 80 a 90% geradas na etapa de uso e operação (aquecimento, condicionamento de ar, ventilação, iluminação e equipamentos). Outros 10 a 20% estão ligados à extração e ao processamento de matérias-primas, à fabricação de produtos e à etapa de construção e demolição.

Reduzir emissões na cadeia produtiva da construção não significa paralisar ou obstruir a atividade, mas sim torná-la mais eficiente do ponto de vista ambiental, econômico e social.

2. DIAGNÓSTICO

Este estudo visa esclarecer alguns ideais que permeiam esse assunto, analisando a importância de construções sustentáveis para o meio ambiente e para o ser humano. Para tanto, irá:

- Evidenciar a problemática da construção civil no que tange a geração de resíduos sólidos e a contribuição desse setor para a emissão de gases de efeito estufa;

- Realçar a importância ambiental e social da reutilização de materiais provenientes de demolições de edificações, bem como da utilização de materiais reciclados, e,
- Demonstrar os benefícios ao homem e ao meio ambiente das construções sustentáveis.

Se houvesse o reaproveitamento (reutilização e/ou reciclagem) de parte dos resíduos da construção civil que são gerados, e a prática de construções sustentáveis, as emissões de gases de efeito estufa se tornariam mais tênues e controladas, contribuindo de diversas formas para a amortização dos efeitos das mudanças climáticas.

Essas práticas ainda são muito pouco realizadas no Brasil, sendo que dois dos principais motivos para tal constatação são os fatos de não haver muitos materiais publicados com essa abordagem e o de haver escassas ações governamentais a esse respeito, ou seja, há pouca divulgação na mídia e pouco apoio do governo.

O fato de estarmos utilizando os recursos naturais de forma exagerada, exaurindo cada vez mais as riquezas do nosso planeta, gerando uma quantidade de resíduos exorbitante, com poucas práticas de redução, reutilização e reciclagem dos mesmos, poluindo os solos, rios, mares e a atmosfera, faz com que haja uma urgência de novos pensamentos, atitudes e hábitos.

A pesquisa sobre esse tema, bem como a apresentação de ideias e materiais que podem ser utilizados em construções de baixo impacto ambiental é de grande importância, pois procura sensibilizar as pessoas e organizações para praticarem, apoiarem e difundirem projetos sustentáveis, além de apresentar propostas de ações governamentais que incentivem essa prática.

Dessa forma, a implementação de construções sustentáveis e ecológicas irão somar significativos benefícios ao meio ambiente como um todo, auxiliando no “bem-estar” do Planeta e trazendo maior qualidade de vida para as pessoas.

3. MARCO TEÓRICO

Embora a história do homem sempre tenha sido acompanhada de exemplos de construções em harmonia com o meio ambiente, foi a década dos anos 1970 a que proporcionou o início de uma das mais pródigas fases, propiciando o surgimento de um movimento que aspirava por construções dessa natureza. Os princípios são praticamente os tradicionais, presentes ao longo da história, mas, a partir da década de 90, eles passaram a receber a denominação de projetos sustentáveis ou mais sustentáveis. Também se observa que nem todas as iniciativas buscavam enfatizar todas as dimensões da sustentabilidade, como hoje se aspira (SATTLER, 2007).

Mas, definitivamente, viu-se florescer, nos anos 70, em diversas regiões do planeta, uma série de propostas, tanto na escala da edificação quanto do conjunto de casas, que entendemos como uma referência inicial para o desenvolvimento dos projetos mais sustentáveis.

Construção sustentável é um sistema construtivo que promove alterações conscientes no entorno, de forma a atender as necessidades de edificação, habitação e uso do homem moderno, preservando o meio ambiente e os recursos naturais, garantindo qualidade de vida para as gerações atuais e futuras. (ARAÚJO, 2005)

Essa definição encontra-se de acordo com o conceito de sustentabilidade proposto pelo Relatório Brundtland, da ONU, que lançou as bases da economia sustentável a partir do axioma: “Desenvolvimento sustentável é aquele que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações em satisfazer suas próprias necessidades”.

Desde seus primórdios, em 1973, ano da Crise do Petróleo, até o presente, a visão sobre o que é Construção Sustentável vem se modificando e aprofundando, à semelhança dos organismos vivos quando submetidos a pressões para adequar-se e sobreviver.

No início, a discussão era sobre edifícios energeticamente mais eficientes. O desafio era superar a Crise do Petróleo através de prédios menos energívoros. Depois, o inimigo passou a ser o entulho gerado pela obra; depois, a água

consumida; a seguir, o lixo dos moradores e usuários; agora, o novo vilão são as emissões de CO_2 e os gases responsáveis pelo efeito estufa e o aquecimento global (MASCARÓ, 2001).

Começou-se a perceber que a construção sustentável não é um modelo para resolver problemas pontuais, mas uma nova forma de pensar a própria construção e tudo que a envolve. Trata-se de um enfoque integrado da própria atividade, de uma abordagem sistêmica em busca de um novo paradigma: o de intervir no meio ambiente, preservando-o e, em escala evolutiva, recuperando-o e gerando harmonia no entorno (ARAÚJO, 2005).

O conceito da construção sustentável baseia-se no desenvolvimento de um modelo que enfrente e proponha soluções aos principais problemas ambientais de sua época, sem renunciar à moderna tecnologia e à criação de edificações que atendam as necessidades de seus usuários.

Trata-se de uma visão multidisciplinar e complexa, que integra diferentes áreas do conhecimento a fim de reproduzir a diversidade que compõe o próprio mundo, interligando conhecimentos de arquitetura, engenharia, paisagismo, saneamento, química, elétrica, eletrônica, mas também de antropologia, biologia, medicina, sociologia, psicologia, filosofia, história e espiritualidade.

Por isso, para se atingir uma construção sustentável, é importante pensar e atuar de forma holística, sem dividir e decompor em partes estanques e separadas o que se propõe para a edificação. Não se trata de formar inúmeras equipes multidisciplinares cada qual especializada em um campo na obra sustentável, mas sim de criar a cultura da sustentabilidade na própria sociedade. Dessa forma, muito mais do que um tema de “domínio público” do qual muito se fala, mas pouco se faz, o conhecimento da construção sustentável poderá tornar-se um saber e um viver público, ou seja, um processo cultural.

Quanto mais sustentável uma obra, mais responsável ela será por tudo o que consome, gera, processa e descarta. Sua característica mais marcante deve ser a capacidade de planejar e prever todos os impactos que pode provocar, antes, durante e depois do fim de sua vida útil.

A ferramenta básica para a identificação do estado e das necessidades gerais de uma obra que pretende ser sustentável é a Análise de Ciclo de Vida. O estudo da Análise de Ciclo de Vida (ACV) tem sido aceito por toda a comunidade internacional como a única base legítima sobre a qual comparar materiais, tecnologias, componentes e serviços utilizados ou prestados.

As Normas ISO 14000, que propõem um padrão global de certificação e identificação de produtos e serviços no segmento ambiental, já incorporam a ACV, sendo as mais difundidas: ISO 14040/1998 – Gestão Ambiental, ACV, Princípios e Estruturas; ISO 14041/1998 – Gestão Ambiental, ACV, Definição de Objetivos, Alcance e Análise de Inventários; ISO 14042/2000, Análise do Impacto de Ciclo de Vida e ISO 14043/2000, Interpretação do Ciclo de Vida, confirmando a importância desse tipo de análise.

Recentemente, a construção ganhou normas próprias no âmbito da sustentabilidade, por meio do sistema ISO. São elas as normas ISO 21930/2007 - Sustentabilidade na construção civil – Declaração ambiental de produtos para construção e ISO 15392/2008 – Sustentabilidade na construção civil – Princípios gerais. É do Comitê Técnico da ISO, o seguinte conceito de obra sustentável:

“Edificação sustentável é aquela que pode manter moderadamente ou melhorar a qualidade de vida e harmonizar-se com o clima, a tradição, a cultura e o ambiente na região, ao mesmo tempo em que conserva a energia e os recursos, recicla materiais e reduz as substâncias perigosas dentro da capacidade dos ecossistemas locais e globais, ao longo do ciclo de vida do edifício (ISO AWI 15392, 2003).”

3.1 Princípios gerais

A moderna construção sustentável, num ideal de perfeição, deve visar sua auto-suficiência e até sua auto-sustentabilidade, que é o estágio mais elevado da construção sustentável. Auto-sustentabilidade é a capacidade de manter-se a si mesmo, atendendo a suas próprias necessidades, gerando e reciclando seus próprios recursos a partir do seu sítio de implantação (Figura 1).

De acordo com o IDHEA (2011), as diretrizes gerais para edificações sustentáveis podem ser resumidas em nove passos principais, que estão conformes ao que recomendam alguns dos principais sistemas de avaliação e certificação de obras no mundo. Os Nove Passos para a Obra Sustentável são:

1. Planejamento Sustentável da obra;
2. Aproveitamento passivo dos recursos naturais;
3. Eficiência energética;
4. Gestão e economia da água;
5. Gestão dos resíduos na edificação;
6. Qualidade do ar e do ambiente interior;
7. Conforto termo-acústico;
8. Uso racional de materiais, e,
9. Uso de produtos e tecnologias ambientalmente amigáveis.

Figura 1. Protótipo de uma casa sustentável (Hemisfério Norte). Fonte: VKR, 2010.

Cada um destes passos é imprescindível para se chegar a uma obra sustentável, assim como, no corpo humano, não se pode prescindir de nenhum dos órgãos vitais, como o coração, o fígado, os pulmões, os rins e o cérebro. Um resumo breve de cada um destes passos é:

- Planejamento do ciclo de vida da edificação – ela deve ser econômica, ter longa vida útil e conter apenas materiais com potencial para, ao término de sua vida útil (ao chegar o instante de sua demolição), serem reciclados ou reutilizados. Sua meta deve ser resíduo zero;
- Aproveitamento dos recursos naturais – como sol, umidade, vento, vegetação- para promover conforto e bem-estar dos ocupantes e integrar a habitação com o entorno, além de economizar recursos finitos, como energia e água;
- Eficiência energética - resolver ou atenuar as demandas de energia geradas pela edificação, preconizando o uso de energias renováveis e sistemas para redução no consumo de energia e climatização do ambiente (sistemas de ar condicionado, no Brasil, em prédios comerciais, respondem por cerca de 35% da demanda energética);
- Eficiência na gestão e uso da água – economizar a água; tratá-la localmente e reciclá-la, além de aproveitar recursos como a água da chuva;
- Eficiência na gestão dos resíduos gerados pelos usuários da edificação;
- Prover excelentes condições termo-acústicas, de forma a melhorar a qualidade de vida física e psíquica dos indivíduos;
- Criar um ambiente interno e externo com elevada qualidade no tocante a paisagem local e qualidade atmosférica e elétrica do ar;
- Prover saúde e bem-estar aos seus ocupantes ou moradores e preservar o meio ambiente;
- Utilizar materiais que não comprometam o meio ambiente, saúde dos ocupantes e que contribuam para promover um estilo de vida sustentável e a consciência ambiental dos indivíduos;
- Resolver localmente ou minimizar a geração de resíduos, e,

- Estimular um novo modelo econômico-social, que gere empresas de produtos e serviços sustentáveis e dissemine consciência ambiental entre colaboradores, fornecedores, comunidade e clientes.

3.2 Edificação saudável

Toda edificação sustentável é saudável. A finalidade de uma construção sustentável não é apenas preservar o meio ambiente, mas também proteger seus ocupantes ou moradores da poluição dos grandes centros urbanos, não sendo geradores de doenças.

A edificação sustentável deve funcionar como uma segunda pele do morador ou usuário. A edificação deve funcionar como um ecossistema particular, sendo a extensão do próprio dono. Assim como no planeta Terra, as interações no interior e entorno da eco-habitação devem reproduzir ao máximo as condições do meio: umidade relativa do ar adequada para o ser humano, temperatura estável, sensações de conforto, segurança e bem-estar (BUENO,1995).

3.3 Materiais de construção

A escolha dos produtos e materiais para uma obra sustentável deve obedecer a critérios específicos como origem da matéria-prima, extração, processamento, gastos com energia para transformação, emissão de poluentes, biocompatibilidade, durabilidade, qualidade, dentre outros, que permita classificá-los como sustentáveis e elevar o padrão da obra, bem como melhorar a qualidade de vida de seus usuários/habitantes e do próprio entorno. Essa seleção também deve atender parâmetros de inserção, estando de acordo com a geografia circundante, história, tipologias, ecossistema, condições climáticas, resistência, responsabilidade social, dentre outras leituras do ambiente de implantação da obra.

É importante evitar ou minimizar o uso de materiais sobre os quais pairem suspeitas ou que reconhecidamente acarretem problemas ambientais, tais como o PVC (policloreto de vinil), que gera impactos em sua produção, uso e descarte/degradação (sua queima gera ácido clorídrico e dioxina) e alumínio (que

provoca grandes impactos ambientais para sua extração e requer imensos gastos energéticos durante sua produção e mesmo reciclagem, se comparado a outros materiais).

3.4 A obra sustentável

O número de etapas a serem observadas para se chegar a uma obra sustentável e saudável é grande, uma vez que a mesma é, parodiando o escritor e filósofo italiano Umberto Eco, aberta, mutável e em permanente evolução e melhoramento. Como prerrogativa da construção sustentável recomenda-se a aceitação de dois elementos-chave: 1) sua complexidade, e 2) sua pluralidade. Uma obra sustentável jamais pode ser copiada sem deixar de ser fiel a si mesma, pois é um sistema "vivo", que obedece ao princípio de que "cada organismo tem sua própria necessidade de interação com o meio". Não há, portanto, uma "receita de bolo" para uma obra sustentável, mas pontos em comum que devem ser atingidos, de conformidade com a máxima da Rio-92: "Pensar global e agir local".

É a partir do local de implantação e de todas suas interações (ecológicas, sociais, econômicas, biológicas e humanas), do perfil do cliente e das necessidades do projeto, que se define uma obra sustentável.

3.5 Tipos de Construções Sustentáveis

A Construção Sustentável é uma síntese das escolas, filosofias e abordagens que associam o edificar e o habitar à preocupação com preservação do meio ambiente e saúde dos seres vivos. Para ela convergem tendências como: arquitetura ecológica, arquitetura antroposófica, arquitetura orgânica, arquitetura bioclimática, arquitetura biológica, bioconstrução, ecobioconstrução, domobiótica, arquitetura sustentável, construção ecológica, construção e arquitetura alternativas, earth-ship (navio terrestre) e permacultura.

Os principais tipos de Construção sustentável resumem-se, basicamente, em cinco modelos:

- Construção com materiais sustentáveis industriais – Construções edificadas com eco-produtos fabricados industrialmente, adquiridos prontos, com tecnologia em escala, atendendo a normas, legislação e demanda do mercado. É a mais viável para áreas de grande concentração urbana, porque se inserem dentro do modelo sócio-econômico vigente e porque o consumidor/cliente tem garantias claras, desde o início, do tipo de obra que estará recebendo. O Escritório Verde da UTFPR é classificado como esse tipo de construção (Figura 2);

Figura 2. Construção com materiais sustentáveis industriais. Fonte: Autor, 2012.

- Construção com resíduos não-reprocessados (Earthship) – Foi idealizada pelo arquiteto americano Michael Reynolds na década de 70 e consiste na utilização de resíduos de origem urbana com fins construtivos, tais como garrafas PET, pneus, latas, vidros, etc. Mais comum em áreas urbanas ou em locais com despejo descontrolado de resíduos sólidos, principalmente onde a comunidade deve improvisar soluções para prover a si mesma a habitação. Um dos exemplos mais notórios de Earthship “intuitivo” e sem planejamento são as favelas dos grandes centros urbanos. No entanto, também pode ser

um modelo criativo de Autoconstrução, com o uso destes mesmos resíduos a partir de concepções de Ecodesign (Figura 3);

Figura 3. Construção com pneus e latinhas. Fonte: Site EarthShip, 2012.

- Construção com materiais de desconstrução e demolição - Esse tipo de construção incorpora produtos convencionais oriundos de uma desconstrução civil, demolição ou reforma, prolongando sua vida útil e evitando que sua destinação final seja em aterros sanitários ou bota-fora. Podem ser reutilizados, por exemplo: tijolos, janelas, portas, pisos, azulejos, madeiras, lajotas, carpetes, azulejos, telhas, esquadrias, forros, lavatórios, vasos sanitários, vidros, trilhos de cortina, fiações elétricas, tubulações hidráulicas e elétricas, grades e portões (Figuras 4 e 5);

Figura 4. Residência construída com tijolos reutilizados. Fonte: Autor, 2007.

Figura 5. Portas sendo reutilizadas como forro. Fonte: Autor, 2007.

- Construção alternativa - Utiliza materiais convencionais disponíveis no mercado, com funções diferentes das originais. É um dos modelos principais adotados em comunidades carentes ou sistemas de autoconstrução. Exemplo: aquecedor solar caseiro feito com tubos de PVC e garrafas PET (Figura 6).

Figura 6. Painéis solares caseiros. Fonte: Site Celesc, 2011.

- Construção natural – É o sistema construtivo mais ecológico, portanto, mais próximo da própria natureza, uma vez que integra a edificação com o ambiente natural e o modifica ao mínimo. Respeita o entorno e usa materiais disponíveis no local da obra ou adjacências (terra, madeira, pedra, bambu, etc.); utiliza tecnologias sustentáveis de baixo custo (apropriadas) e desperdiça o mínimo de energia em seus processos. Exemplos: casas de bambu, tratamento de efluentes por plantas aquáticas, energia eólica por moinho de vento, bombeamento de água por carneiro hidráulico, blocos de adobe ou terra-palha, design solar passivo. É um método adequado principalmente para áreas rurais ou para áreas que permitam boa integração com o entorno, onde haja pouca dependência das habitações vizinhas e das redes de água, luz, esgoto construídas pelo poder público. O planejamento

avançado deste sistema, que também que se insere nos princípios da Autoconstrução, também é conhecido como Permacultura (Figura 7).

Figura 7. Construção natural com terra-palha e troncos. Fonte: Site TerraCrua, 2012.

3.6 Construção e o Meio Ambiente

Tão preocupantes quanto os impactos associados ao consumo de matéria (em seus estados sólido, líquido e gasoso) e energia são aqueles resultantes dos resíduos gerados (também na forma sólida, líquida e gasosa), assim como a qualidade do ambiente que se proporciona às gerações atual e futuras. Tais aspectos ambientais sintetizam as relações entre construção e meio ambiente (SATTLER, 2006).

Dentro desse enfoque, os desafios para todos aqueles envolvidos nesse setor, visando às futuras gerações, poderiam ser traduzidos em estratégias sintetizadas das seguintes formas:

- Reduzir e aperfeiçoar o consumo de materiais e energia;
- Reduzir os resíduos gerados, e,
- Preservar e, na medida do possível, melhorar a qualidade do ambiente natural e construído.

Reduzir e otimizar o consumo de materiais e energia pode ser traduzido em inúmeras ações, entre as quais: o planejamento ambiental de construções; a adoção de estratégias bioclimáticas em projetos de edificações; a redução na utilização de recursos materiais e energéticos escassos; o incentivo à utilização de materiais com menor conteúdo energético; o incentivo ao uso de fontes energéticas sustentáveis na produção de materiais e na produção e uso de edificações; e o desenvolvimento de materiais e componentes de maior durabilidade.

Reduzir os resíduos gerados implica no desenvolvimento de projetos que contemplem o desmonte e reúso de materiais e componentes, a reciclagem de resíduos de materiais e componentes não reutilizáveis e o incentivo ao uso de materiais e componentes que gerem menos resíduos, sólidos e gasosos.

Preservar e melhorar a qualidade do ambiente natural e construído significa:

- Desenvolver projetos de construções e urbanísticos voltados à qualidade de vida que contemplem, em primeiro lugar, o ser humano, com preservação dos sistemas de suporte da vida;
- Evitar o uso de materiais e componentes que em seu ciclo de vida coloquem em risco a saúde ou a segurança do ser humano;
- Priorizar o desenvolvimento de edificações e comunidades sustentáveis e,
- Evitar a utilização de produtos tóxicos, nocivos à saúde humana.

Evidentemente, a superação de tais desafios requer uma educação para a sustentabilidade, que gradualmente seja estendida a toda a sociedade e que priorize os princípios éticos. Para a implementação de tais ações, todos os participantes das cadeias produtivas associadas à produção do ambiente construído (que envolvem projetistas, produtores de materiais, componentes e sistemas construtivos, construtores, etc.) necessitam se conscientizar da dimensão dos impactos que podem causar, para então atuar em estreita cooperação no desenvolvimento de uma construção em harmonia com o meio ambiente (SATTLER,2006).

Muitos autores preveem o aumento da responsabilidade por parte dos fabricantes, que acompanharão de perto seus produtos, da matéria-prima até a entrega, aumentando a pressão para que sejam desenvolvidos novos materiais,

utilizando materiais não-escassos, renováveis ou reciclados, de preferência locais, que requeiram menos transporte (em conseqüência, consumam menos energia e minimizem emissões); sistemas que facilitem o desmonte e a reutilização; ferramentas de projeto capazes de prognosticar e orientar o aumento da vida útil de materiais, componentes e sistemas construtivos, e uma nova logística objetivando menores impactos ambientais.

Construção sustentável é um conceito ligado à preocupação crescente em todo o mundo, em vista da escassez de recursos naturais e de energia, geração de resíduos sólidos e emissão de gases. Existe substancial conhecimento de materiais e técnicas que envolvem construção de terra, plantas vegetais e cimento alternativo, e que poderia ser aplicado em construções não convencionais (PLESSIS, 2001).

De modo geral, as principais diretrizes a serem perseguidas para uma construção sustentável são, de acordo com o (CIB, 1999), as seguintes:

- Busca de materiais renováveis;
- Busca de materiais recicláveis/reutilizáveis;
- Facilidade de desmontagem;
- Padronização de dimensões;
- Baixo conteúdo energético, e,
- Materiais não tóxicos.

Conforme (YUBA, 2001), essas diretrizes devem estar presentes nas diferentes fases da construção, desde a fase de projeto, onde a seleção dos materiais deve ser baseada no seu desempenho ambiental, vida útil e consequências à saúde, devendo-se evitar o uso de substâncias tóxicas, que contaminem o ar interno das edificações, tais como tintas, vernizes, colas, etc., bem como ter cuidados de detalhamento de juntas e montagem, visando à desmontagem e a economia de material.

Na fase de construção e desmontagem, devem ser usados materiais locais, que possibilitem a sua reutilização, tolerando desmontagem; através da modulação, a facilidade de identificação dos componentes, que permita a remoção seletiva e reciclagem; pela incorporação de materiais reciclados ou reutilizados, tanto quanto

possível, baseados em padrões de qualidade para esses materiais, assim como a produção de manuais de uso e manutenção, para edifícios e sistemas. Além disso, em relação aos fabricantes, busca-se incentivar o aumento da responsabilidade dos fabricantes pelos materiais produzidos, incluindo-se etapas que vão desde a extração de matéria-prima até a disposição final, enfatizando-se a importância da redução da quantidade de material e de conteúdo energético dos produtos, da redução de emissões dos produtos durante o uso e da facilidade de manutenção e reciclabilidade possibilitadas.

Ao analisar os impactos ambientais, as restrições impostas às futuras gerações, de todas as espécies, determinados pelas formas como viemos substituindo o ambiente natural pelo "ambiente construído" ao longo dos dois últimos séculos (que não difere muito da forma como continuamos a construir hoje), constataremos que eles são imensos. Tais fatos possibilitam, no entanto, uma oportunidade singular para que, mesmo com intervenções modestas, comecemos a reverter tal situação e assim possamos criar uma expectativa de sobrevivência, ou de sobrevida, para a humanidade, possibilitando uma sadia qualidade de vida e ambiental para todos os seres vivos do planeta.

Cabe ressaltar que vários são os atores que podem participar ativamente na materialização de edificações e comunidades mais sustentáveis: clientes, projetistas, contratantes, produtores e fornecedores de materiais, governo, instituições internacionais, entre outros. É essencial o envolvimento de todos nessa busca. De acordo com (CURWELL; HAMILTON, 1997), a cidade é uma entidade viva, sendo que o impacto ambiental é a soma que resulta de todas as ações individuais da população, sendo necessário conduzir todos os cidadãos, pois todos devem estar dispostos a mudar de comportamento e aspirações, para se alcançar padrões sustentáveis de vida e trabalho.

Felizmente, observa-se um crescente interesse no Brasil por questões relacionadas à sustentabilidade. Embora departamentos específicos da maioria das instituições acadêmicas brasileiras ainda não estejam preparados para cobrir adequadamente os assuntos relacionados a impactos ambientais, iniciativas deveriam ser intensificadas para demonstrar a importância do assunto, assim como

para desenvolver o conhecimento junto àqueles que estão, ou logo estarão contribuindo para a expansão do ambiente construído.

Entendemos, ademais, que a apropriação e a adoção de sistemas alternativos de construção e, também, de vida pela sociedade só irão ocorrer a partir de uma nova ótica, uma nova forma de olhar, de compreender, um possível novo mundo, que, inegavelmente, só será durável se regido pelos princípios éticos da sustentabilidade, enquanto expressos por uma estética que incorpore e manifeste visualmente tais princípios.

De acordo com (SATTLER, 2007), dificilmente estratégias para edificações mais sustentáveis encontrarão uma receptividade e aplicação imediata. Isso ocorre não apenas no Brasil. O mesmo acontece em qualquer parte do planeta, sendo, pois, de extrema importância que tais propostas sejam precedidas ou acompanhadas por uma ampla reeducação, que religue o indivíduo à natureza, assim como por projetos demonstrativos. Projetos arquitetônicos que obedeçam a tais princípios e, principalmente, as obras destes resultantes podem criar essa ligação.

Mas, além disso, a arquitetura, entendida como a mais expressiva das artes, podendo, também, integrar todas as formas de arte, poderia ser empregada, em todo o seu potencial, para o despertar para a sustentabilidade.

As edificações sustentáveis, além de todas as suas demais funções, devem ter uma “cara” e um “coração” sustentáveis. Isto é, devem repassar, por meio das formas, dos espaços criados, uma imagem diferenciada, seja com suas coberturas verdes, seja com o emprego de elementos da arquitetura bioclimática, ou com o potencial de sensibilização da arquitetura orgânica, somado às diversas estratégias de gestão energética, das águas e dos resíduos. Mas não só isso. Deve-se aplicar princípios de sustentabilidade mesmo nos sistemas “não visíveis”, ou naqueles visíveis apenas durante o processo de construção.

Além disso, precisa-se atingir o coração, ou a alma, ou o espírito, dos usuários, por meio de elementos simbólicos ou de componentes “sensíveis”, como os passíveis de introdução no paisagismo, ou, ainda, de uma forma ainda mais

ambiciosa e menos clara às ciências tradicionais, estimular o homem para além de seus órgãos sensoriais. De certo modo, é fundamental manifestar os elementos que tocam mais profundamente o indivíduo, para assim o sensibilizar (SATTLER, 2007).

3.7 Certificações – Selos Verdes

Os efeitos positivos das inovações e práticas sustentáveis já são alvo de uma série de formas de mensuração. Existem hoje, no mundo, diversos tipos de certificações e selos verdes para empresas comprometidas com a redução de impactos negativos ao meio ambiente. Alguns deles são de iniciativa dos governos e outros são de origem privada ou do terceiro setor.

Os selos verdes, que idealmente só devem ser aprovados após uma criteriosa avaliação de especialistas, são concedidos na União Européia, Japão, Estados Unidos, Austrália e mesmo na Colômbia. No Brasil, existem hoje selos verdes apenas para produtos da agricultura e pecuária orgânicas — certificados pelo IBD (Instituto Biodinâmico) — e para produtos de madeira — com certificação de florestas plantadas com plano de manejo sustentável pelo Conselho de Manejo Florestal (FSC – Forest Stewardship Council). Mas ainda não há uma legislação específica para orientar os procedimentos de certificação. Nos Estados Unidos, a ONG Green Seal é a concessora do mais importante selo verde. Na Europa, há mais de oito selos verdes, sendo o alemão Anjo Azul o mais antigo e respeitado.

Para atestar as construções ecológicas, o mais conhecido certificado no Brasil é o LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), conferido pelo Green Building Council Brasil, associado ao norte-americano U.S Green Building Council (USGBC). Ele permite a classificação em diversas categorias, segundo o grau de impacto relacionado, tanto para novos imóveis como para edificações mais antigas.

Existem iniciativas para a adequação das ferramentas de certificação voluntária à realidade brasileira. O Green Building Council Brasil está adaptando o LEED para se ajustar a algumas particularidades da construção nacional (GBC BRASIL). A Associação HQE e a Fundação Vanzolini realizam a iniciativa AQUA (Alta Qualidade Ambiental), para adaptarem o sistema HQE ao mercado nacional. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) também prepara um atestado de

referência ambiental de empreendimentos, que irá considerar inclusive impacto sobre o trânsito e acréscimo ou adoção de área verde (FRANK, 2008).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se de método dedutivo, a partir de pesquisa bibliográfica. Os itens abordados na pesquisa foram: a problemática que o setor de construção civil acarreta ao meio ambiente, os princípios gerais para considerar uma obra sustentável e os benefícios diretos e indiretos que a prática de construções ambientalmente corretas fornece ao homem e ao meio ambiente.

Também foram realizados dois estudos de caso em exemplos de construções sustentáveis localizadas em Curitiba/PR, um no Escritório Verde da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), localizado na Av. Silva Jardim, nº 807 e outro no Projeto EcoHabitare da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR), localizado na Rua Imaculada Conceição, nº 1155. Foram feitas visitas aos projetos com realização de entrevistas com os responsáveis pelas obras, assim como levantamento das suas principais características com ênfase nas questões de conforto térmico e acústico, eficiência energética, mitigação de impactos ambientais e fontes de energia renovável.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A maior parte da população mundial mora em cidades e no Brasil isto não é diferente. Segundo o IBGE, a população brasileira residente em áreas urbanas no ano de 2010 totalizava 84,35%. A implantação de um empreendimento residencial com características sustentáveis, pensadas a partir da escolha do local, com um projeto preocupado com as condições climáticas locais, e a educação ambiental do usuário do imóvel é fundamental na meta de reduzir o impacto causado pela urbanização. Considerando ainda o impacto da Construção Civil em relação ao consumo de recursos naturais e consumo de energia entende-se que todos os resultados alcançados são muito expressivos.

Apesar de ainda existirem poucas pesquisas sobre esse tema, percebeu-se que já há um significativo interesse por partes da população e dos profissionais do

ramo, o que contribuiu satisfatoriamente para que houvesse uma boa percepção das vantagens de se implementar um projeto sustentável, tanto ambientalmente, como economicamente.

Como exemplos do sucesso da prática de obras sustentáveis, a seguir serão sucintamente apresentadas duas edificações elaboradas a partir de projetos universitários, o Escritório Verde da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e o EcoHabitare, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR).

Através de toda pesquisa bibliográfica e dos estudos de caso, fica evidente que a prática de construções sustentáveis é primordial para que haja a preservação do meio ambiente aliada ao desenvolvimento socioeconômico e cultural do ser humano, fornecendo-lhe muitos benefícios diretos e indiretos, solucionando grande parte dos problemas que o setor da construção civil acarreta atualmente.

O Escritório Verde (Figura 8) foi projetado e idealizado pelo Prof. Dr. Eloy Fassi Casagrande Júnior e está localizado na Av. Silva Jardim, nº 807, Curitiba/PR e funciona como um órgão da UTFPR destinado para desenvolver a política de sustentabilidade da universidade, vinculando alunos, professores e pesquisadores.

Figura 8. Escritório Verde da UTFPR. Fonte: Autor, 2012.

O Escritório Verde estabeleceu uma parceria com o Sistema de Certificação de Construções Sustentáveis (Green Buildings) AQUA – Alta Qualidade Ambiental, conduzido pela Fundação Vanzolini (USP) e é a primeira edificação submetida à certificação neste sistema no estado do Paraná.

Possui como principais características:

- Projeto arquitetônico de 150 m² seguindo características bioclimáticas, pois possui face norte, aumentando a luminosidade e a incidência solar nos painéis solares;
- Uso de sistema de coleta e uso da água da chuva (Figura 8) para vasos sanitários e limpeza de pisos e irrigação de plantas, através de calhas direcionadas para uma caixa d'água específica;
- Isolamento termo-acústico com mantas de PET reciclado e pneu reciclado (Figura 9) entre as duas paredes;
- Isolamento termo-acústico com janelas em esquadrias de madeira e vidros duplos especiais;
- Uso de sistema de controle de umidade e resfriamento do ar com a presença de dutos estrategicamente instalados;
- Construção modular a seco (wood-frame) com paredes duplas em estrutura de pinus tratado e painéis de OSB (Oriented Strand Board);
- Iluminação natural através de sistemas inteligentes de claraboias e janelas superiores;
- Uso de lâmpadas LEDs para maior eficiência energética;
- Uso de sistema de aquecimento solar termodinâmico para a água e calefação dos ambientes;
- Turbina eólica para geração de energia;
- Uso de materiais de baixo impacto ambiental como: piso externo drenante para maior permeabilização do terreno (Figura 10), madeira plástica (composta por pó de madeira e plástico reciclado), carpet em material reciclado e parte do revestimento das paredes e do mobiliário em bambu;
- Implantação de energia solar usando painéis fotovoltaicos para suprir até 70% da energia consumida (Figura 11);

- Uso de piso elevado fabricado em polipropileno reciclado, e,
- Isolamento térmico com o telhado verde – uso de vegetação local em dois módulos da edificação (Figura 12).

Figura 9. Detalhe do isolamento termo-acústico das paredes. Fonte: Autor, 2012.

Figura 10. Detalhe dos pisos drenantes. Fonte: Autor, 2012.

Figura 11. Fachada da casa e placas fotovoltaicas no telhado. Fonte: Autor, 2012.

Figura 12. Telhado verde. Fonte: Autor, 2012.

O Projeto EcoHabitare foi idealizado pelo Prof. Dr. José Fernando Arns e conta com o envolvimento de estudantes de diversos cursos de graduação. A edificação construída pelo projeto se encontra no Campus da PUC-PR do Prado Velho, localizado na Rua Imaculada Conceição, nº 1155, Curitiba/PR. É uma planta de 25 m² que tem como objetivo abrigar a brinquedoteca da creche Eunice Benato, na Vila Torres.

Possui como principais características:

- Tijolos ecológicos produzidos com pó de mármore proveniente do corte de peças em indústrias e marmorarias, reciclando o que anteriormente era um passivo ambiental (Figura 13);
- Projeto de um banheiro compostável a ser implementado, que é um sistema integrado de uso e tratamento dos resíduos humanos (fezes, urina e papel higiênico) sem consumo de água. Funciona através de uma câmara isolada e impermeável que evita a contaminação, nela se misturam os resíduos com serragem promovendo a compostagem seca e a reintegração do excedente (em forma de composto) ao ambiente.
- Telhado verde, com a presença de plantas em um dos telhados da casa que propiciam um isolamento térmico além de possuir boas propriedades paisagísticas (Figuras 13 e 16);
- Painel solar térmico que aquecem a água e é elaborado a partir da reutilização de garrafas PET e caixas de leite, ou seja, diminuindo a geração de resíduos sólidos urbanos (Figura 14);
- Horta vertical onde se podem cultivar alimentos sem agrotóxicos além de possuir agradáveis propriedades paisagísticas (Figura 15), e,
- Janelas elevadas para ventilação ao facilitar a saída do ar quente, técnica conhecida como “efeito chaminé”, pois favorece a circulação convectiva do ar (Figura 16).

Figura 13. Casa com tijolo ecológico e telhado verde. Fonte: Autor, 2012.

Figura 14. Aquecedor solar caseiro. Fonte: Autor, 2012.

Figura 15. Horta vertical. Fonte: Autor, 2012.

Figura 16. Janelas elevadas para circulação do ar e telhado verde. Fonte: Autor, 2012.

6. CONCLUSÃO

Desta forma, conclui-se que um projeto sustentável promove a interação entre as questões culturais e socioeconômicas dos usuários ao mesmo tempo em que resolve questões de conforto térmico e acústico, iluminação, ventilação, circulação e saneamento, satisfazendo as necessidades do ser humano, preservando a natureza e progredindo a economia rumo ao Desenvolvimento Sustentável. Para tanto, é fundamental que haja programas de educação ambiental, políticas públicas de incentivo e produtos ecológicos com preços competitivos. Dentre os benefícios gerados, pode-se citar:

- Menor geração de resíduos;
- Maior tempo de vida útil dos aterros sanitários;
- Redução dos impactos ambientais;
- Redução das emissões de GEE's;
- Redução de doenças diretas (respiratórias) e indiretas (roedores, aracnídeos);
- Menor consumo de recursos naturais;
- Menor consumo de energia elétrica;
- Aumento da eficiência energética das residências;
- Aumento da qualidade de vida das pessoas;
- Aumento da qualidade ambiental local e global dependendo da magnitude alcançada;
- Conscientização das pessoas para com a Natureza;
- Evolução social e cultural da questão ecológica;
- Desenvolvimento da economia local;
- Geração de emprego e renda, e,
- Integração social dos moradores com a vizinhança.

7. REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040. *Avaliação do Ciclo de Vida*: princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001. 10 p.

_____. NBR ISO 14041. *Avaliação do Ciclo de Vida*: Definição de objetivo e escopo e análise do inventário. Rio de Janeiro, 2004a. 21 p.

_____. NBR ISO 14042. *Avaliação do Ciclo de Vida*: Avaliação do impacto do ciclo de vida. Rio de Janeiro, 2004b. 17 p.

_____. NBR ISO 14043. *Avaliação do Ciclo de Vida*: Interpretação do ciclo de vida. Rio de Janeiro, 2005. 19 p.

_____. NBR ISO 15392. *Sustentabilidade na construção civil* – Princípios gerais. Rio de Janeiro, 2008.

_____. NBR ISO 21930. *Sustentabilidade na construção civil* – Declaração ambiental de produtos para construção. Rio de Janeiro, 2007.

ARAÚJO, Márcio Augusto. *A Moderna Construção Sustentável*. São Paulo: IDHEA, 2005.

ARAÚJO, Márcio Augusto. *Materiais ecológicos e tecnologias sustentáveis para arquitetura e construção civil*: conceito e teoria. São Paulo: IDHEA, 2004. Apostila.

BRUNDTLAND, Gro Harlem. *Nosso Futuro Comum*. Rio de Janeiro: Edição da Fundação Getúlio Vargas, 1987.

BUENO, Mariano. O *grande livro da casa saudável.* São Paulo: Roca, 1995.

CÂMARA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. *Guia de Sustentabilidade na Construção*. Belo Horizonte: FIEMG, 2008. 60p.

CIB. *International Council for Building Research Studies and Documentation*. Agenda 21 on Sustainable Construction. Report Publication 237. The Netherlands. July 1999. 131 p.

CINCOTTO, M. A.; AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. *Optimization of rice husk ash production*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON VEGETABLE PLANTS AND THEIR FIBRES AS BUILDING MATERIALS, 2., Salvador, 1990. Proceedings… London, Chapman and Hall, 1990. p. 334-342. (Rilem Proceedings, 7)

CURWELL, S; HAMILTON, A. *Towards sustainable urban development: identifying the role for the development and construction industry professional* – The work of BEQUEST. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES

SUSTENTÁVEIS, 1., 18-21 nov. 1997, Canela, RS. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 1997. p. 339-350.

DEGANI, C. M.; CARDOSO, F. F. *A sustentabilidade ao logo do ciclo de vida de edifícios: a importância da etapa de projeto arquitetônico*. In: NUTAU 2002: Sustentabilidade, Arquitetura e Desenho Urbano. São Paulo, 7 a 11 outubro 2002a. p.1347-1358.

FRANK, R. *IPT vai lançar oficialmente atestado de Referência Ambiental*, *2008.* Disponível em: <http://www.piniweb.com.br/construcao/sustentabilidade/ipt-vai-lancar-oficialmente-atestado-de-referencia-ambiental-95635-1.asp> Acesso em 22/08/2012.

IBGE. *Censo Demográfico 2010.* Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br>. Acesso em 15/07/2012.

IDHEA: Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica. *Nove Passos para a Construção Sustentável.* 2011. Disponível em: <http://www.idhea.com.br/pdf/nove_passos.pdf> Acesso em: 23/05/2012.

IDHEA: Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica. *Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva.* Disponível em: <http://www.organum.com.br/ac.asp> Acesso em: 23/05/2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. TC59 (BUILDING CONSTRUCTION)/SUBCOMMITTEE SC3 (FUNCTIONAL/USER REQUIREMENTS AND PERFOMANCE IN BUILDING CONSTRUCTION). *Buildings and constructed assets – Sustainability in Building – General Principles*. ISO AWI 15392 (ISO TC59/SC3/N459), 2003.

JOHN, V. M.; ZORDAN, S. E. *Research & development methodology for recycling residues as building materials* – a proposal. Waste Management, v. 21, p. 213-219, 2001.

MASCARÓ, Lúcia. *Energia na edificação*: estratégias para minimizar seu consumo. 2. ed. São Paulo: Projeto, 1991.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU; CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS - CQNUMC*. Protocolo de Kyoto*. Kyoto, 1997.

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

PLESSIS, C. D. *Doing more, better, with less – A developing country perspective on sustainability through performance.* In: CIB WORLD BUILDING CONGRESS:

PERFORMANCE IN PRODUCT AND PRACTICE, Wellington, 2001. Proceedings... Wellington, Branz, 2001. 8 p. (Plenary session)

ROAF, Sue. *Ecohouse – A Casa Ambientalmente Sustentável*. 2. ed. São Paulo: Bookman, 2007.

SATTLER, Miguel A.; PEREIRA, Fernando O. R. *Construção e Meio Ambiente*. Porto Alegre: ANTAC, 2006. Coletânea Habitare.

SATTLER, Miguel Aloysio. *Habitações de baixo custo mais sustentáveis*: a casa Alvorada e o Centro Experimental de tecnologias habitacionais sustentáveis. Porto Alegre: ANTAC, 2007. Coletânea Habitare.

TREVISAN, Ricardo Beckert. *Resíduos da construção civil: desconstrução e reaproveitamento.* TCC (Graduação em Engenharia Ambiental) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUC-PR. Curitiba, 2007.

UNEP (United Nations Environment Programme), 2007. *Buildings and Climate Change: Status, Challenges and Opportunities*, lead authors P. Huovila, M. Ala-Juusela, L. Melchert, and S. Pouffary, 2007, UNEP Sustainable Buildings and Climate Initiative, Paris.

YUBA, A. N. *Cadeia produtiva de madeira serrada de eucalipto para a produção sustentável de habitações*. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - CPGEC, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.