



Habitação
mais Sustentável

Documento

Levantamento do estado da arte: Seleção de materiais



Projeto
Tecnologias para construção habitacional mais sustentável
Projeto Finep 2386/04
São Paulo
2007



Habitação **mais** Sustentável

Documento 2.4

Levantamento do estado da arte: Seleção de materiais

Autores

Vanderley Moacyr John, Dr.

Daniel Pinho de Oliveira

José Antonio Ribeiro de Lima



Imprima somente se for necessário.



Utilize papel reciclado.

Projeto

Tecnologias para construção habitacional mais sustentável

Projeto Finep 2386/04

São Paulo

2007

Projeto
Tecnologias para construção habitacional mais sustentável
Projeto Finep 2386/04

Instituições executoras



Instituições parceiras





Coordenação

Prof. Dr. Vanderley M. John



POLI / USP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Pesquisadores

Prof. Dr. Alex K. Abiko
Msc. Clarice Menezes Degani
Prof. Dr. Francisco F. Cardoso
Prof. Dr. Orestes M. Gonçalves
Prof. Dr. Racine T. A. Prado
Prof. Dr. Uiraci E. L. de Souza
Prof. Dr. Vahan Agopyan
Prof. Dr. Vanderley M. John

Bolsistas

Airton Meneses de Barros Filho
Cristina Yukari Kawakita
Daniel Pinho de Oliveira
Davidson Figueiredo Deana
José Antônio R. de Lima
Msc. Vanessa M. Taborianski
Viviane Miranda Araújo



UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

Pesquisadores

Prof. Dra. Marina S. O. Ilha
Prof. Dra. Vanessa Gomes da Silva

Bolsistas

Erica Arizono
Laís Ywashima
Marcia Barreto Ibiapina



UFG – Universidade Federal de Goiás

Pesquisadora

Prof. Dra. Lúcia Helena de Oliveira

Bolsista

Ricardo Prado Abreu Reis



UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

Pesquisador

Prof. Dr. Roberto Lamberts

Bolsista

Msc. Maria Andrea Triana



UFU – Universidade Federal de Uberlândia

Pesquisador

Prof. Dr. Laerte Bernardes Arruda

Bolsista

Gabriela Salum
Larissa Oliveira Arantes

Sumário

1. Introdução	6
2. Conceitos fundamentais	7
2.1 Avaliação ambiental de materiais e componentes	8
2.1.1 Sistemas baseados na ACV	9
2.1.2 Sistemas baseados em soluções ambientalmente preferíveis	11
2.1.2.1 Consumo de recursos	12
2.1.2.2 Uso de materiais locais	15
2.1.2.3 Uso de materiais renováveis (madeira e fibras vegetais).....	15
2.1.2.4 Conteúdo energético	17
2.1.2.5 Conteúdo de material reaproveitado e potencial de reaproveitamento	19
2.1.2.6 Emissões e resíduos	21
2.1.2.7 Presença de substâncias perigosas	24
2.1.2.8 Qualidade do ambiente interno	24
2.2 Avaliação de aspectos sociais relacionados a materiais e componentes	26
2.2.1 Extração de recursos	26
2.2.2 Manufatura	27
2.3 Avaliação de aspectos econômicos relacionados a materiais e componentes	29
2.3.1 Custos do ciclo de vida de produtos	30
3. Caracterização e análise crítica das práticas existentes no mercado nacional	32
3.1 Critérios ambientais	32
3.2 Critérios sociais	32
3.3 Custo	35
4. Metodologias de avaliação	36
4.1 Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM)	36
4.2 Building Research Establishment - EcoHomes (BRE EcoHomes).....	36
4.3 Leadership in Energy & Environmental Design (LEED)	37
4.4 LEED® for Homes	38
4.5 Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency (CASBEE)	39
4.6 NF Bâtiments Tertiaires – Démarche HQE® Bureau et Enseignement	40
4.7 H&E – Certification Habitat & Environnement	40
4.8 Green Building Challenge – GBTool	41
4.9 Síntese da abordagem da seleção de materiais nos sistemas de avaliação	42
5. Considerações finais	46
Referências Bibliográficas	47
Anexo A	56

Levantamento do estado da arte: Seleção de Materiais

Vanderley Moacyr John, Daniel Pinho de Oliveira, José Antonio Ribeiro de Lima

1. Introdução

Os impactos ambientais do fluxo de materiais na produção do ambiente construído são evidentes. A construção de edificações consome até 75% dos recursos extraídos da natureza, com o agravante que a maior parte destes recursos não são renováveis. A produção, transporte e uso de materiais contribuem para a poluição global e as emissões de gases de efeito estufa e de poluentes do ambiente interno de edificações são igualmente relevantes.

A produção mundial de cimento *portland* é responsável por aproximadamente 6% de todas as emissões antropogênicas de CO₂. Em países em desenvolvimento esta fração pode alcançar 10% (JOHN, 2003).

Do ponto de vista econômico, a produção e comercialização de materiais de construção são igualmente importantes. No Brasil, a indústria de materiais de construção representa cerca de 5% do PIB e tem implicações sociais significativas, abrangendo aspectos relativos à geração de empregos, impostos, impacto local nas comunidades, etc. Estes impactos são ainda mais relevantes se observado que o setor da construção possui grande capilaridade na economia.

Assim, em qualquer metodologia de construção sustentável deverão existir os procedimentos de **seleção de materiais com base na sustentabilidade**. Porém, a avaliação da sustentabilidade de produtos da construção apresenta dificuldades decorrentes: (a) das peculiaridades dos produtos da construção (KOTAJI et al., 2003; OECD, 2003); (b) da complexidade dos processos e variáveis ao longo do ciclo de vida destes produtos; (c) da complexidade dos processos e das cadeias produtivas dos materiais e componentes (HORVATH, 2004); (d) da complexidade das questões ambientais (IEA ANNEX, 2001c), sociais e econômicas envolvidas, que devem ser consideradas de forma integrada.

A seleção segundo critérios de sustentabilidade não pode prescindir, também, da consideração do desempenho funcional, julgando-se os produtos em função de sua finalidade, através de múltiplos critérios (CIB, 1982). Entretanto, diferentemente da avaliação de desempenho físico, onde as características dos produtos podem variar em função da aplicação considerada, existem aspectos ambientais e sociais que podem ser critérios praticamente incondicionais a serem atendidos como, por exemplo, a baixa emissão de substâncias nocivas, como fibras de amianto.

O julgamento de um material como mais sustentável que outros exige um processo de decisão que envolve incertezas e variáveis subjetivas e, por vezes, apriorísticas. Apesar de os aspectos ambientais do ciclo de vida dos materiais estarem expostos de forma cada vez mais transparente para a sociedade, há o risco de se criar mitos, potenciais distorções e julgamentos apriorísticos baseados em fatos incompletos, devido a lacunas do conhecimento em relação a tais aspectos (LEEJW, 2005). O mesmo pode ser afirmado para os aspectos sociais e econômicos, com a

diferença que estes têm sido menos abordados na literatura internacional.

Devido à complexidade e sobreposição de requisitos das diversas dimensões a serem consideradas na seleção de materiais e componentes mais sustentáveis, é natural a ocorrência de *trade-offs*¹. Diferenças significativas são esperadas não apenas entre materiais alternativos, mas também entre materiais similares, mas com processos de produção diferentes. Desta forma, julgamentos apriorísticos de materiais como bons ou maus devem ser evitados, buscando-se julgamentos baseados nas características de cada produto.

Uma construção mais sustentável depende da seleção correta de materiais e componentes, que pode ser definida como a seleção de produtos que, combinada com o correto detalhamento de projeto, resulta em impactos ambientais menores e em maior benefício social, dentro dos limites da viabilidade econômica, para uma dada situação.

Ferramentas de seleção são importantes para projetistas e podem promover o desenvolvimento de materiais mais sustentáveis. A seleção assistida por ferramentas de avaliação deve oferecer uma interface para que o usuário possa processar sistematicamente um número significativo de critérios, muitas vezes inter-relacionados e conflitantes. Estas ferramentas deverão ser desenvolvidas com base em conhecimentos sobre: (a) a gestão do processo de desenvolvimento do produto; (b) a avaliação ambiental de produtos com base na abordagem do ciclo de vida; © a avaliação de custos no ciclo de vida dos produtos, (d) critérios de avaliação de adequação social.

Neste contexto, coloca-se o objetivo deste documento, como sendo o de prover uma base de conceitos e referências para o desenvolvimento de ferramentas de avaliação e sustentabilidade para a seleção de materiais e componentes de edificações habitacionais. A revisão enfatiza os aspectos ambientais, visto que as referências são mais disseminadas para este aspecto, o que não significa, entretanto, uma posição hierarquicamente superior aos demais.

2. Conceitos fundamentais

A seleção de materiais ocorre dentro de um processo complexo para se estabelecer a solução que melhor se ajuste às necessidades dos clientes. Segundo Kamara et al. (2000), requisitos de clientes podem ser entendidos como os objetivos, expectativas e necessidades dos clientes, que geralmente são uma descrição de características que uma edificação deve apresentar para satisfazê-los. Estes requisitos necessitam ser processados para se obter uma tradução técnica em forma de especificações que objetivamente definirão o objeto concreto do projeto (a edificação), seus componentes e materiais constituintes. No caso dos requisitos de sustentabilidade, isso se traduz na identificação de quais questões relevantes devem ser consideradas no desenvolvimento de edificações, mais especificamente, neste caso, na seleção de materiais e componentes.

A identificação destas questões é uma tarefa complexa que envolve decisões subjetivas, e que pode ser originada a partir de dispositivos legais, de preocupações levantadas voluntariamente pela sociedade e agentes da tomada de decisão, ou de critérios presentes em sistemas de avaliação e seleção de materiais. Os sistemas existentes tendem a abranger apenas aspectos ambientais,

¹ *Trade-offs*: escolhas realizadas ao longo do PDP onde questões conflitantes são analisadas e comparadas, sendo uma preferida. Exemplos: aspectos de custo e tecnológicos, ou ambientais e de custo.

raramente incorporando aspectos de custos. Os aspectos sociais, por sua vez, são praticamente excluídos destes sistemas.

Portanto, a seleção de materiais e componentes para a maior sustentabilidade dos produtos da construção dependerá da identificação e processamento de requisitos adequados, com o auxílio de ferramentas de avaliação que considerem, de forma integrada, aspectos ambientais, econômicos e sociais.

2.1 Avaliação ambiental de materiais e componentes

A construção sustentável é favorecida e restringida por uma série de fatores, voluntários ou mandatários. Estes fatores podem ser fundamentais para a especificação e o agente da tomada de decisão deve estar ciente dos mesmos. Os fatores voluntários incluem **sistemas de avaliação ambiental**, políticas adotadas voluntariamente por empresas, e sistemas de gestão ambiental. Os mandatários referem-se à legislação existente e às demandas dos contratantes.

Os **sistemas de avaliação** podem ser introduzidos como um fator de auxílio à tomada de decisão de seleção de materiais e componentes. Permitem identificar as cargas e os impactos ambientais associados a materiais e componentes, explicitando os de menor impacto e traduzindo-os em informações e indicadores, ou mesmo a um índice único.

Na avaliação de materiais é importante considerar que estes não são ambientalmente “bons” ou “ruins”, de forma que as ferramentas de avaliação devem evitar este tipo de abordagem, onde materiais são julgados de forma inadequada, negligenciando-se seus impactos em função de uma característica que é usualmente, e por vezes erroneamente, tomada como favorável.

Uma das primeiras formas de avaliação da sustentabilidade dos materiais se deu através do uso da **energia incorporada** como critério de julgamento. Nesta avaliação, considera-se a energia necessária para a produção de um produto, podendo ser englobadas etapas desde a extração da matéria-prima até a distribuição do produto no mercado. Uma das limitações deste método é que não são considerados aspectos ambientais importantes na análise. Por exemplo, não há discriminação entre o uso de combustíveis renováveis, como bagaço de cana, de não renováveis, como carvão mineral. O método é mais adequado para países com fontes de energia de poucos tipos, como o Japão, podendo levar a distorções nas análises em países com matriz energética diversificada, como o Brasil (JOHN et al., 2006).

Outro aspecto de prejudica a análise baseada na energia incorporada são as diferenças na eficiência energética dos fabricantes de um mesmo produto, o que dificulta a escolha dos materiais pela energia incorporada média, para uma determinada região. Outra fragilidade está relacionada à complexidade das questões ambientais envolvidas na análise dos materiais e que ficam fora da análise, como impactos na extração de recursos, emissões e resíduos no ciclo de vida, contribuições para o aquecimento global e para a destruição da camada de ozônio e outros fatores.

Com o avanço do conhecimento sobre as questões ambientais associadas aos materiais, este conceito foi sendo substituído por métodos de avaliação mais complexos e que consideram aspectos de natureza diversificada. Os sistemas utilizados atualmente podem ser classificados em três tipos (TRUSTY, 2000; REIJNDERS; ROEKEL, 1999): (a) sistemas baseados na ACV voltados para comparação e seleção de materiais e componentes, tais como *Environmental Profiles* (HOWARD et al., 1999) e BEES (LIPIATT, 2002); (b) sistemas de avaliação de edificações como um todo e que tratam, geralmente, de um aspecto específico da edificação (energético, por exemplo), tais como

ENERGYPLUS (USDOE, 2005) e *Envest* (BRE, 2005); sistemas ou estruturas de avaliação ambiental de edificações como um todo, tal como GBTool (iiSBI, 2005), LEED (USGBC, 2004); BREEAM (BRE, 2005b). Os sistemas mencionados em a e c são os mais relevantes para a seleção de materiais. Os sistemas do tipo b também podem ser úteis, pois os materiais podem ter efeito sobre o desempenho da edificação como um todo.

2.1.1 Sistemas baseados na ACV

A Análise do Ciclo de Vida (ACV) tem sido reconhecida como a forma mais abrangente e potencialmente mais eficiente para a avaliação ambiental de produtos (WEIDEMA, 2000; ERLANDSSON; BORG, 2003; FAWER; 1999). e provavelmente será, no futuro, a ferramenta prática para seleção de materiais do ponto de vista ambiental.

A ACV é uma ferramenta para a avaliação quantitativa dos impactos originados por um produto durante todo o seu ciclo de vida. A base de uma ACV é o Inventário do Ciclo de Vida (ICV), uma quantificação de todas as cargas ambientais “do berço ao túmulo” ou “berço ao berço” de um produto. A ACV é normalizada pela série ISO 14040-14042 e é amplamente documentada. Constitui uma abordagem mais completa que a energia incorporada, mas está longe de ser uma abordagem perfeita e está em constante desenvolvimento.

A ACV pode ser considerada um método de avaliação de desempenho ambiental, pois trabalha em termos de fins, mais do que meios. Por exemplo, o conteúdo energético considera um meio, o consumo de energia, como indicativo de impactos de depleção de combustíveis fósseis e de emissões de efeito estufa. A ACV, por sua vez, considera diretamente o impacto de uma emissão ou do consumo de recursos resultante de um meio.

Tal como definido na ISO 14040, o inventário de todas as cargas ambientais é realizado pela análise de processos, dentro de limites pré-definidos do sistema e sem levar em conta as cargas ambientais geradas fora desse limite. Segundo a IEA Annex (2001), até as ferramentas mais sofisticadas não podem contabilizar todas as variáveis e processos ambientais do ciclo de vida de um produto. Assim, o processo de avaliação precisa limitar o foco para os aspectos mais relevantes, procedimento denominado delimitação de fronteiras. Esta delimitação é um procedimento necessário, realizado assumindo-se que a adição de processos produtivos deixados fora dos limites tem um efeito desprezível no inventário total. A definição dos limites do sistema é, obviamente, um fator crítico (Lipiatt, 2002). A existência de delimitações reduz a precisão da avaliação porque introduz erros de truncagem. Em alguns casos, se tem demonstrado que tais erros são de até 50%.

Uma forma híbrida de ACV tem sido proposta, onde o processo de inventário é complementado por uma análise de entrada-saída (*input-output*). Esta ferramenta estima o uso de recursos e as emissões de poluentes com base em dados de estatísticas macroeconômicas. Este método pode ser útil para o estabelecimento de políticas públicas, ou para o delineamento inicial de panoramas macro, mas não possibilita uma visão das especificidades dos processos produtivos, devendo ser complementado por ferramentas mais precisas.

Outro aspecto crítico da ACV é a alocação de cargas ambientais entre diferentes produtos de uma planta específica. Isto é crucial quando se realiza a alocação de impactos relativos à reciclagem de resíduos em um sistema de ciclo aberto (HAES et al., 1999), tal como no uso de escória de alto forno ou cinza volante na produção de cimento (JOHN, 2003).

A interpretação de uma ACV requer a ponderação de diferentes impactos ambientais, porque é necessário reduzir o número de critérios de avaliação, buscando-se um índice único que permita decisões objetivas. Na prática, o peso relativo de cada categoria ambiental depende da agenda

ambiental de cada região, país ou instituição e a definição de tal agenda é sempre um procedimento político e subjetivo. Até mesmo a definição das categorias de impacto em cada ferramenta com base na ACV resulta de decisões subjetivas. Como consequência, há grande variabilidade nos pesos relativos, mesmo entre instituições de um mesmo país (Tabela 1) bem como nas categorias abrangidas. Tal ponderação e a falta de harmonização das categorias de impacto afetam a seleção de materiais e torna difícil a comparação de resultados de diferentes ferramentas.

Tabela 1 - Ponderações de categorias de impacto de diferentes instituições americanas (fonte: Lipiatt, 2002).

Categoria de impacto	Harvard University	EPA Science Advisory Board Study
Aquecimento global	6	24
Acidificação	22	8
Eutroficação	11	8
Depleção de combustíveis	11	8
Qualidade do ar interno	11	16
Alteração do habitat	6	24
Tomada de água	11	4
Critérios de poluentes aéreos	22	8

Bovea e Gallardo (2006), comparando quatro ACV de três materiais poliméricos para embalagens, concluíram que o material considerado de menor impacto ambiental pelas diferentes avaliações não é o mesmo. Esta discrepância decorre de diferentes delimitações dos sistemas e dos pesos atribuídos às categorias de impacto. Os autores observam que o uso de um índice único, com o objetivo de simplificar a comunicação dos resultados dos sistemas nem sempre é possível e que este procedimento deve ser utilizado com cautela.

A ACV de materiais de construção pode diferir das ACV de bens de consumo, devido a peculiaridades dos primeiros, que acabam por demandar categorias de impacto diferenciadas (KOTAJI et al., 2003; OECD, 2003). A vida útil de um determinado material pode sofrer variações significativas em função de detalhes de projeto e do clima da região, interferindo na sua durabilidade. Este problema tem sido subestimado nas ACVs voltadas para a construção civil, muitas das quais consideram a vida útil uma propriedade fixa do material.

Materiais de construção interagem com o ambiente durante o uso, emitindo substâncias por lixiviação, abrasão de superfícies, volatilização ou absorção de substâncias, etc.. Na maioria dos casos, a emissão de materiais (e absorção de massa) durante a vida útil de um material não são incluídos em ACVs convencionais. A categoria relativa à qualidade do ambiente interno é ignorada na avaliação de bens de consumo em geral, mas é essencial para a avaliação de edificações e seus materiais constituintes (Kotaji et al., 2003). Além disso, a carbonatação, a fixação de CO₂ por cimento e materiais a base de cal hidratada é, também, geralmente ignorada.

Existem muitos bancos nacionais para materiais de construção, como o *USA Life-Cycle Inventory* (<http://www.nrel.gov/lci/>), a maioria deles contendo estimativas de emissões típicas para um determinado país. Estes bancos de dados “médios” apresentam um problema básico: diferenças de

cargas ambientais entre fornecedores de um mesmo material são ignoradas. Quase sempre, os dados são apresentados em termos gerais, por exemplo, concreto de 50 MPa, sem mencionar detalhes como o consumo de cimento e composição, que são fundamentais para se calcular a carga ambiental na produção de cimento (JOHN, 2003). Então, no lugar de promover a competitividade baseada na eficiência ambiental de fornecedores, este procedimento promove competição entre materiais, podendo favorecer produtores de materiais pouco eficientes.

Um sistema interessante baseado em ACV é o BEES (Lipiatt, 2002), que combina valores médios com dados específicos de empresas, permitindo ao consumidor a comparação de valores entre produtos similares. Esta é uma aplicação prática do conceito de “declaração ambiental produtos” (*environmental product declaration*) tal como definido pela ISO 14025/TR, uma ferramenta que deve promover a competitividade baseada na eficiência ambiental.

Relativamente poucos países desenvolvidos e, provavelmente, nenhum em desenvolvimento têm um banco de dados de ICV abrangente e confiável para materiais de construção. Por isso, há uma tendência de usar dados gerados para países estrangeiros, o que deve ser evitado porque irá, quase certamente, gerar erros, como pode ser visto na Figura 1.

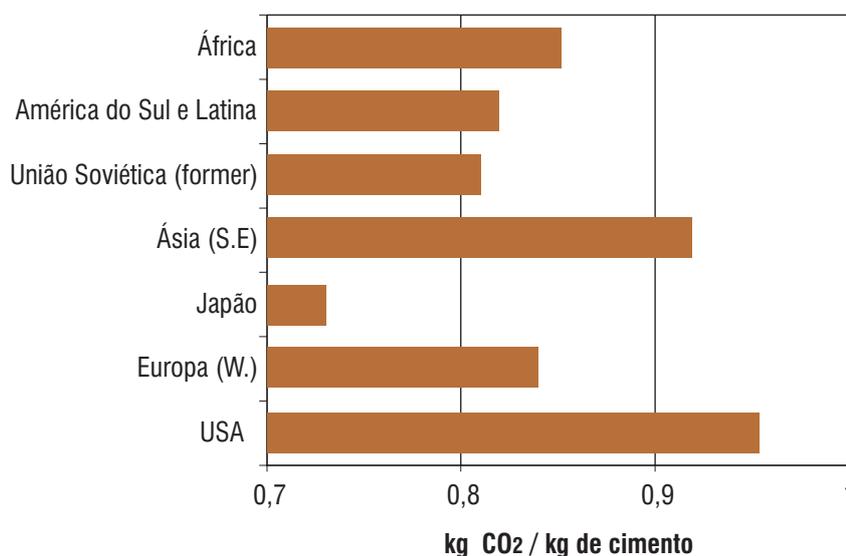


Figura 1 - Emissões médias de CO₂ na produção de 1 kg de cimento *Portland* em diferentes regiões (fonte: John, 2003).

Apesar de suas limitações, a ACV é, de longe, a melhor ferramenta para a seleção de materiais com base na sustentabilidade ambiental e, na medida em que a disponibilidade de dados aumente, sua precisão deverá ser aprimorada e seus custos deverão diminuir.

2.1.2 Sistemas baseados em soluções ambientalmente preferíveis

Sistemas de avaliação ambiental baseados em múltiplos critérios são alternativas à avaliação baseada na ACV. Esta classe abrange sistemas bastante diferentes, que possuem em comum o fato de reduzirem um problema complexo a indicadores ou critérios simplificados ou a solução preferencial, reconhecida como de menor impacto ambiental.

Na ausência de informações para a realização de ACV, tais sistemas constituem a melhor alternativa para avaliação ambiental de produtos da construção. Possuem, entretanto, limitações na medida em que: (a) não são abrangentes de forma a incluir todos os possíveis impactos ambientais; (b) podem conter redundâncias; (c) tendem a confundir meios com fins, transformando os meios em objetivos a serem alcançados independentemente dos impactos resultantes (TRUSTY; HORST, 2002). Por exemplo, o LEED concede créditos para o uso de material reciclado, o que implica admitir-se que

todos os reciclados são ambientalmente favoráveis, o que nem sempre é verdade, visto que um produto reciclado pode ter vida útil reduzida, ou emitir cargas ambientais maiores durante a reciclagem do que um produto produzido a partir de recursos virgens.

Nestes sistemas, há critérios que não refletem, necessariamente, a agenda ambiental brasileira (SILVA, 2003) como, por exemplo, o critério de conteúdo energético. Assim, embora se possa contar com sistemas e critérios existentes de avaliação ambiental como referência para o desenvolvimento deste trabalho, nem sempre é possível adotá-los diretamente no contexto brasileiro.

Como mostrado no item anterior, os dados utilizados para a caracterização de critérios podem ser mais ou menos sensíveis às especificidades dos processos. De forma ideal, a avaliação ambiental, qualquer que seja os sistemas adotados, deve ser sensível às especificidades dos materiais.

Fundamentalmente, os sistemas de avaliação de desempenho ambiental existentes foram examinados com o objetivo de reunir um rol de critérios passíveis de serem adotados ou adaptados para avaliações de materiais e componentes no Brasil.

A seguir são apresentados critérios de soluções preferenciais frequentemente considerados na seleção de materiais com base em critérios ambientais.

2.1.2.1 Consumo de recursos

O uso de recursos naturais tem sido abordado em critérios diversificados, como os apresentados neste item.

Uso de recursos naturais

O setor da construção é um grande consumidor de recursos (JOHN, 2000; HORVATH, 2004; LIPIATT, 2002; HALLS & HOVERS, 2003), conforme pode ser observado pelos exemplos da Tabela 2.

Minério/material (2004)	Produção (ton)	Consumo ⁽²⁾ (ton)	Reservas ⁽¹⁾ (ton)	
			Brasil	Mundo
Aço	32.918.000	21.485.000	-	-
Cimento	34.413.000	33.904.949	abundante	abundante
Areia	187.000.00	1,1 t/cap	abundante	abundante
Pedra britada	128.700.00	0,7 t/cap	abundante	abundante
Alumínio (bauxita)	19.700.000	12.447.000	2.729.000.00	33.000.000.0
Alumínio (alumina)	5.315.000	3.397.000	-	-
Alumínio (primário)	1.457.000	798.000	-	-
Alumínio (secundário) ⁽⁵⁾	246.000	-	-	-
Crisotila ⁽³⁾	252.067	120.620	15.373.000	abundante
Cal	6.900.000	6.900.000	abundante	abundante
Gipsita	1.472.000	1.464.549	1.228.929.00	abundante
Bentonita (beneficiada)	226.874	226.456	47.011.000	abundante
Bentonita (bruta)	428.183	329.649	-	-

Tabela 2 - Consumo, produção e importação de recursos minerais no Brasil (Brasil, 2005a).

(1) Reservas estimadas dependem do valor do recurso, e do estágio tecnológico atual, que limita a concentração mínima do produto para tornar a exploração economicamente viável. Isto é a torna um parâmetro dinâmico

(2) Consumo aparente = produção + importação - exportação

(3) 98% do consumo para a fabricação de artefatos de fibrocimento

(4) *Iron ore and concentrate, marketable product - Gross weight*

(5) Metal primário, sucatas, semi-acabados e outros

Segundo Barreto (2000), a avaliação do uso de recursos naturais considerando a possibilidade de **renovação do recurso** não se presta ao contexto atual, o que pode ser demonstrado pelo fato que, atualmente, existem recursos renováveis que estão em risco de extinção ou de escassez. Por outro lado, há recursos não-renováveis que são abundantes para um consumo livre do risco de depleção de reservas em curto prazo. Assim, o uso do conceito de disponibilidade dos recursos permite corrigir uma primeira distorção daquela abordagem. Porém, mesmo o conceito de **disponibilidade do recurso** é insuficiente para uma **caracterização sistêmica** do uso de recursos em uma sociedade, porque os **estoques de materiais em uso** e passíveis de serem reintroduzidos na sociedade através de reciclagem ou reúso devem ser considerados.

Os dados de estoques em uso são utilizados para examinar aspectos da disponibilidade de *commodities* que não são usualmente considerados na análise de minerais e materiais (USGS, 2005).

Em países onde são grandes as demandas por infra-estrutura e habitação, estes estoques tendem a aumentar significativamente com o atendimento desta demanda e, assim, passam a receber maior relevância. Nos países com estrutura já consolidada, os materiais incorporados nas mesmas tendem a constituir uma fonte relevante de recursos para a produção de novas estruturas.

Pode-se determinar os estoques de materiais em uso a partir da **contabilidade ou análise do fluxos de materiais**, realizada em escala local, regional ou nacional. Segundo a *National Academy of Science* (2004) a contabilidade de fluxo de materiais inclui: (a) a identificação dos fluxos de materiais que entram nas reservas em uso (materiais virgens extraídos); (b) as quantidades de materiais geradas indiretamente pela extração dos recursos (por exemplo, resíduos e outros produtos das atividades de mineração); (c) os materiais dispostos em aterros; (d) os materiais reutilizados ou reciclados. Estes dados constituem subsídios importantes para o cálculo de balanço de massa de sistemas ou materiais específicos e podem ser utilizados na definição de políticas públicas. Devido à relevância identificada deste conceito, maiores detalhes são apresentados no Anexo A.

Impactos da extração de recursos

A disponibilidade de materiais é um **aspecto quantitativo** dos problemas ambientais do uso de recursos (EUROPA, 2005) e, além destes, deve-se considerar ainda os **aspectos qualitativos**, que interferem na qualidade ambiental, como o impacto na extração de recursos.

Segundo Macedo et al. (2003), no Brasil, a extração de diversos recursos usados na construção civil caracteriza-se como atividades de pequenas empresas funcionando sem procedimentos de redução de impactos ambientais. Os autores afirmam que os minerais usados na construção representam o maior volume e valor de produção dentre os *commodities* extraídos no Brasil. Exemplos: o minério de ferro, com uma produção próxima de 274 milhões de toneladas em 2000, e os agregados, com uma produção próxima de 158 milhões de toneladas (valor considerado conservador, pois as operações informais não foram contabilizadas). Outro fator importante é que maior parte das extrações para uso direto na construção ocorre com uso de tecnologia inadequada, que leva a impactos ambientais mais amplos do que os dos setores de extração mais organizados. Embora individualmente essas operações sejam pequenas, jazidas e minas são quase sempre abandonadas, aumentando os impactos ambientais.

Segundo Moriguchi (1999) a quantidade de resíduos de mineração é significativamente maior que a massa útil final do commodity. Estes resíduos são considerados dentro de estudos de análise de fluxo de materiais como fluxos indiretos. Bringezu et al. (2004) indicam que os fluxos indiretos

influenciam de forma significativa o *Total Material Requirement* (TMR) de países incluídos em uma análise de fluxo de materiais. Tais fluxos podem ser tomados como indicadores de impactos de atividades de extração, pois representam parcela não utilizada das extrações minerais e de combustíveis fósseis, escavações e dragagens, biomassa não utilizada, etc. Estes autores indicam que em nove de dez casos estudados, as alterações no **uso total de material** foram mais influenciadas por fluxos indiretos do que pela quantidade de material efetivamente utilizado.

Assim, torna-se pertinente a introdução de critérios para a avaliação dos materiais e componentes quanto aos **impactos na extração** de seus recursos constituintes. Mas este controle é difícil, devido à informalidade que atinge, inclusive, o comércio de alguns materiais. Uma forma possível de contemplar tais aspectos é a exigência de certificação ambiental, ou programas de gestão ambiental por parte das empresas de mineração. Entretanto, rastrear a procedência de alguns materiais de construção, principalmente *commodities*, pode não ser uma tarefa viável em muitos casos. Assim, a exigência mandatária de tal critério tenderia a restringir demasiadamente as opções de escolha de materiais, pois poucas alternativas atenderiam a tal requisito.

Desmaterialização

Desmaterialização é um conceito entendido como uma **estratégia** para o desenvolvimento sustentável (van der VOET et al., 2005). Segundo Herman et al. (1989) o termo desmaterialização é utilizado para caracterizar a redução em massa, ao longo do tempo, dos materiais utilizados nos produtos industrializados. O conceito é definido por Oers et al. (2002) como a redução de fluxos de entrada e saída, e do uso de materiais em nossa sociedade. Cleveland e Ruth (1998) afirmam que, em geral, desmaterialização se refere à redução absoluta ou relativa da quantidade de materiais usados e/ou à quantidade de resíduos gerados na produção de uma unidade de indicador econômico, por exemplo, o Produto Interno Bruto (PIB). Oers et al. (2002) indicam **meios** para se alcançar a desmaterialização: (a) **aumento da eficiência do uso de materiais** (usando menos material para uma mesma função); (b) substituição de materiais; (c) reúso e reciclagem de materiais; (d) compartilhamento (uso de produtos por mais de um consumidor). Na construção civil, o conceito de desmaterialização pode envolver aspectos como reciclabilidade, incorporação de conteúdo reciclado, geração de resíduos, durabilidade dos componentes e inovações tecnológicas de materiais.

Geralmente, a desmaterialização é aferida através de **indicadores** baseados na massa de materiais considerados (BRINGEZU; SCHUTZ, 2001), possíveis de serem derivados a partir de uma ferramenta de Contabilidade do fluxo de materiais (ver Anexo A). A lógica desta abordagem é que, embora indiretamente, há uma relação entre a massa de um material e a quantidade de energia, resíduos e emissões no ciclo de vida deste material (van der VOET et al., 2005). Esta abordagem, entretanto, não é totalmente precisa, pois há materiais com pequena massa e impactos ambientais relevantes, e materiais com massa significativa com impactos pouco relevantes.

Oers et al. (2002) indicam possíveis efeitos colaterais da desmaterialização, como: (a) materiais mais leves podem não implicar em redução de impactos ambientais; (b) uma mudança de materiais pode implicar na redução da vida útil de um produto, ou da demanda de mais transporte, tendência de descarte no lugar de reparos, redução de reciclabilidade; (c) a recuperação e reciclagem de materiais pode ter impactos ambientais indesejáveis devido a emissões nocivas, aumento de transporte e uso de energia.

Em função das potenciais distorções apontadas anteriormente, a desmaterialização dos produtos da construção deve ser analisada considerando-se os possíveis efeitos colaterais. Por exemplo, a simples substituição de materiais cerâmicos de telhado por materiais mais leves, a base de

fibrocimento pode não significar vantagens do ponto de vista ambiental. Se a escolha do material de fibrocimento for sobre materiais à base de fibras de amianto, existirão efeitos emissões de fibras nocivas à saúde humana (ABREA, 2004; JONES, 1999; USGS, 2001).

2.1.2.2 Uso de materiais locais

O uso de materiais locais permite reduzir emissões e consumo de combustíveis decorrentes do transporte, desde a extração até a local da construção. Outros benefícios podem ser identificados com relação a aspectos econômicos e sociais, mas fora do escopo desta seção.

A distância está diretamente relacionada à energia demandada e à emissão de CO₂ no transporte de materiais. Segundo Economia e Energia (2000), no Brasil, a modalidade rodoviária tem sido predominante nos transportes de cargas, com participação significativa do diesel como combustível. Uma comparação entre alternativas hipotéticas de coberturas para uma habitação de interesse social indica que o transporte de material pode representar uma parcela considerável do aporte energético total, conforme tabela abaixo.

Tabela 3 - Comparação entre conteúdos energéticos de fontes fósseis (OLIVEIRA, 2005)

Subsistema	Conteúdo energético total (MJ/m ²)	Conteúdo energético - fontes fósseis		Aporte energético para transporte		Aporte energético total de fontes fósseis	
		MJ/m ²	%	MJ/m ²	%	MJ/m ²	%
A	628,53	60,81	55	49,95	45	110,76	100
B	1280,09	1075,28	97,75	24,69	2,25	1099,97	100

Outra vantagem do uso de materiais locais é o estabelecimento de ligações mais fortes entre as pessoas e o meio ambiente que as circunda (GIBBERD, 2004), que pode ocorrer na medida em que, sendo a produção local, suas conseqüências positivas e negativas sobre o meio ambiente são mais evidentes e facilmente percebidas pela população local.

2.1.2.3 Uso de materiais renováveis (madeira e fibras vegetais)

Provavelmente, a madeira é um dos recursos renováveis mais consumidos pela construção civil, levando a questionamentos quanto à sustentabilidade ambiental de seu uso. Segundo o site Ambiente Brasil (2000), o consumo de madeira no país, em 1998, foi de 204 milhões de m³, sendo 33% deste total correspondente a madeira nativa e o restante a madeira de reflorestamento. O consumo de madeira industrial em toras, no Brasil, em 2000, foi de 166 milhões de m³, sendo 61% deste montante proveniente de florestas plantadas e 39% de florestas nativas (SBS, 2004). Estas fontes não indicam os percentuais de madeira certificada. A tabela 4 apresenta informações sobre o consumo de madeira em São Paulo, responsável por cerca de 20% do consumo nacional (SOBRAL et al., 2002 apud IPT, 2003)².

A madeira é, em geral, considerada como material ambientalmente favorável, apresentando vantagens pela retenção de CO₂ (CORTEZ-BARBOSA; INO, 2001; PETERSEN; SOLBERG, 2005), pelo potencial de reciclagem e pelo potencial de renovação. Deve-se observar que o uso de madeira só

² SOBRAL, L. et. al. **Acertando o alvo 2: consumo de madeira amazônica e certificação florestal no Estado de São Paulo**. Belém: Imazon, 2002. 72p. (ISBN: 85-86212-05-9)

Tabela 4 - Consumo de madeira industrial em toras no Brasil em 2000 em 1.000 m³ (SBS, 2004)

Produto	Nativas	Plantadas	Total
Celulose e Papel	-	32.000	32.000
Carvão Vegetal	11.800	33.400	45.200
Lenha Industrial	16.000	13.000	29.000
Serrados	34.000	15.100	49.100
Lâminas e Compensados	2.050	3.960	6.010
Painéis Reconstituídos (MDF, aglomerados, chapas de fibra)	-	5.000	5.000
Total	63.850	102.460	166.310

propicia a retenção de CO₂ quando provem de florestas plantadas ou quando a extração é compensada com o plantio de novas árvores.

Petersen e Solberg (2005) realizaram uma revisão de trabalhos da Suécia e Noruega sobre avaliações do uso da madeira, comparando-a a materiais alternativos e concluem que o uso da madeira oferece benefícios quanto à emissão de gases de efeito estufa na maioria dos casos. Entretanto, este uso oferece riscos ambientais como: (a) destruição do *habitat* e deslocamento de espécies animais, e de extinção de espécies vegetais exploradas inadvertidamente; (b) poluição de solo e corpos d'água durante a extração e beneficiamento da madeira; (c) riscos decorrentes do uso

Tabela 5 - Consumo de madeira serrada amazônica pela construção civil, no estado de São Paulo, em 2001 (SOBRAL et al, 2002 apud IPT, 2003)

Uso na construção civil	Consumo	
	1000 m ³	%
Estruturas de cobertura	891,7	50
Andaimes e fôrmas para concreto	594,4	33
Forros, pisos e esquadrias	233,5	13
Casas pré-fabricadas	63,7	4
Total	1.793,3	100

de preservativos, tais como emissões por lixiviação e dificuldades técnicas para a reciclagem; (d) riscos à saúde humana decorrente da exposição ao pó de serragem). Petersen e Solberg (2005) afirmam que o uso de preservativos causa riscos de toxicidade à saúde humana e ao ecossistema, que contrabalançam as vantagens oferecidas pelas menores emissões de CO₂.

Espécies tradicionalmente empregadas na construção encontram-se ameaçadas, tais como pinho do Paraná, peroba rosa, imbuia e outras indicadas pelo IBAMA (2004), o que constitui um problema ambiental grave que pode ser diminuído pelo uso de espécies alternativas, como as indicadas pelo IPT (2003).

Outra medida para redução dos impactos negativos da extração da madeira é a certificação de florestas, que oferece uma garantia, para os clientes, de que os impactos ambientais foram mitigados na exploração da madeira. A certificação do Conselho Brasileiro de Manejo Florestal (FSC, 2005) coloca, como um de seus **princípios**, que o manejo florestal deve conservar a **diversidade ecológica**, os recursos hídricos, os solos, e os ecossistemas e paisagens frágeis e singulares, e ao assim atuar, manter as funções ecológicas e a integridade da floresta.

Tabela 6 - Número de empresas com cadeia de custódia certificada com produção potencialmente vinculada a construção (baseado em FSC, 2005)

Ano	1996	1998	2000	2001	2002	2003	2004
Empresas	3	4	9	33	56	68	90

No Brasil são utilizados os sistemas da *Forest Stewardship Council* (FSC) e o Sistema de Certificação Florestal Brasileiro do Inmetro (Cerflor), mas ainda é difícil adquirir madeira certificada no país (SHIMBO; SILVA, 2003). Entretanto, dados do FSC (2005) indicam o crescimento significativo do número de empresas certificadas com produção potencialmente vinculada à construção.

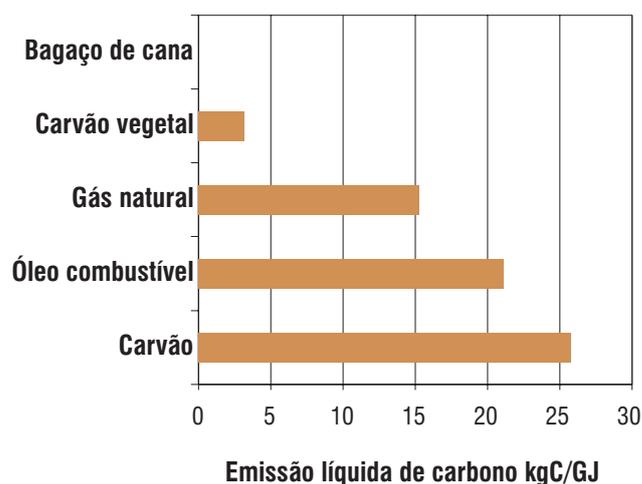
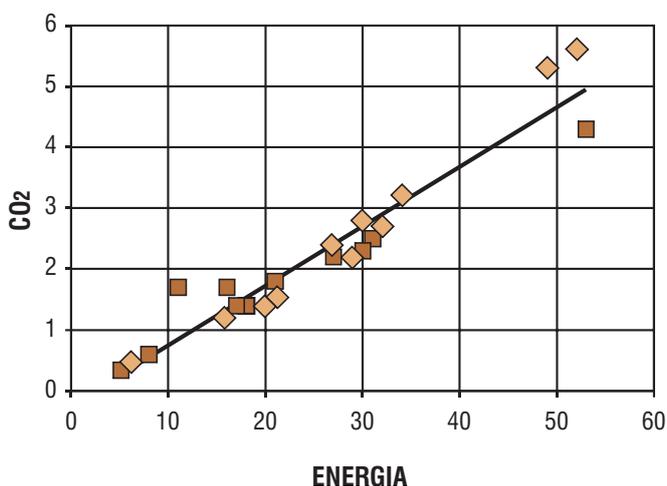
A escassez de oferta de madeira certificada pode inviabilizar o uso de tal critério na avaliação da sustentabilidade ambiental de materiais e uma forma alternativa seria a seleção de madeiras alternativas provindas de florestas plantadas, o que indicaria a redução de desmatamento para exploração em florestas nativas. Portanto, a seleção da madeira como material de construção deve ser realizada a partir de um *trade-off* das vantagens e desvantagens oferecidas com relação aos materiais alternativos.

Outros materiais renováveis que podem ser mencionados são as fibras vegetais e um exemplo são as fibras de celulose, aplicáveis em materiais compósitos para telhas (SAVASTANO, 2000) e que constituem alternativa ao uso de fibras minerais e sintéticas, resguardando recursos virgens, e possibilitando a reciclagem de resíduos.

Figura 2 - Esquerda: correlação entre a intensidade de energia (MJ/10³ ien) e intensidade de CO₂ (kg/10³ ien) para a construção de duas variedades de casas no Japão (baseado em dados de SUZUKI et al., 1995). Direita: emissões líquidas de CO₂ de diferentes combustíveis usados no Brasil, não tendo o bagaço de cana qualquer emissão (dados de SATHAYE et al., 2001)

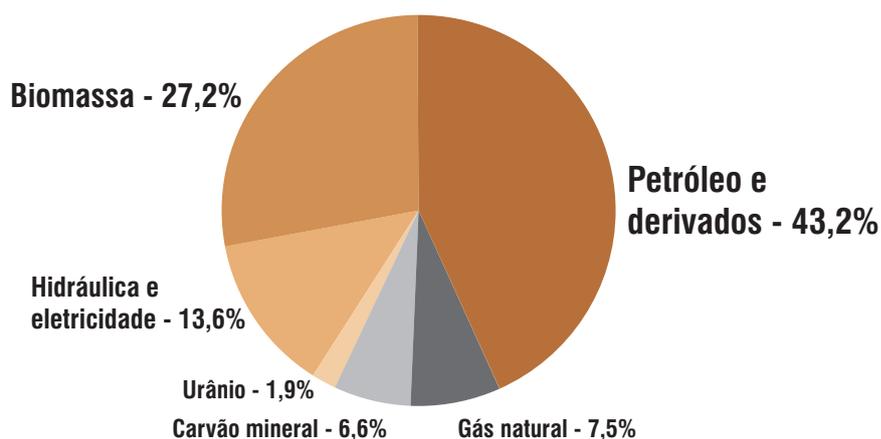
2.1.2.4 Conteúdo energético

Além dos minerais, o uso de recursos engloba o uso de recursos energéticos e, no caso de edificações, os maiores aportes energéticos em edificações ocorrem na etapa de uso, representando aproximadamente, 80 a 90% da energia utilizada ao longo do seu ciclo de vida (KOTAJI et al.; 2003). O restante é empregado na extração de recursos naturais, manufatura de materiais e nas atividades de disposição final de produtos.



O conceito de conteúdo energético foi, provavelmente, o primeiro critério de seleção ambiental de materiais de construção. Porém, como anunciado anteriormente neste documento, este conceito não discrimina diferentes fontes de energia (Emmanuel, 2004), o que faz como que materiais produzidos a partir de uma fonte renovável e com pouco impacto recebam a mesma avaliação que um produto produzido a partir de carvão, muito embora os dois tenham contribuições bastante distintas para o aquecimento global (Figura 2 - direita).

OFERTA INTERNA DE ENERGIA - 2002 BRASIL



ESTRUTURA DA OFERTA DE ELETRICIDADE - 2002 BRASIL

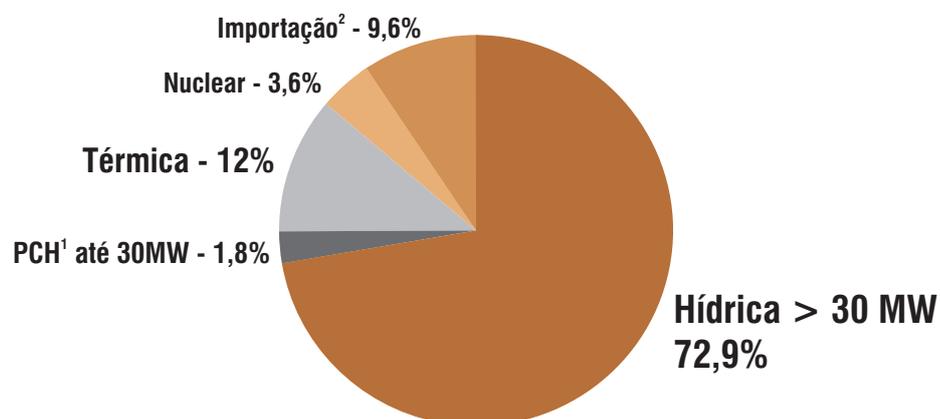


Figura 3 - Oferta de energia e oferta de eletricidade no Brasil em 2002 (BRASIL, 2003)

Notas: (1) inclui autoprodutores e a (2) importação inclui a parcela paraguaia de Itaipu

Em países como o Japão, onde a matriz energética é fortemente vinculada a combustíveis fósseis (Figura 2 - esquerda), a energia incorporada pode ser um bom indicador para se estimar a contribuição do material para o aquecimento global. Entretanto, em países com uma matriz energética mais diversificada, esta abordagem pode levar a distorção e erros. No Brasil, energia renovável, incluindo hidroeletricidade e biomassa, representa mais de 40% de toda a demanda energética e 94% da eletricidade provem de hidroeletricidade (SCHAEFFER; COSTA, 2001). A Figura 3 apresenta os dados do balanço Energético Nacional de 2002 (BRASIL, 2003) que ilustram a participação de diversas fontes energéticas na matriz nacional.

Adicionalmente, existe uma grande variabilidade no consumo de energia entre diferentes plantas de produção decorrente de diferenças tecnológicas. Na indústria de cimento, o consumo de energia pode variar entre 6000 MJ/ton para fornos de produção úmida, até 3000 MJ/ton, em uma planta moderna de produção a seco, equipada com pré-aquecedores e pré-calcinadores. Um estudo desenvolvido em 14 plantas de produção de cimento no Brasil (SATHAYE et al., 2001), construídas recentemente e com tecnologias similares, revelou que as emissões de CO₂ das plantas mais eficientes foi 45% menor do que as emissões médias, devido, principalmente, a diferenças no tipo de combustível utilizado. A produção de aço a partir de sucata pode reduzir 84% das emissões de CO₂ em comparação com a produção a partir da matéria prima virgem (PETERSEN; SOLBERG, 2002). Assim, tomar decisões a partir de valores médios para uma região ou país pode levar a erros e, certamente, não promove a competição entre os produtores.

O uso generalizado de lista de coeficientes de conteúdo energético (MJ/kg) para diferentes materiais tende a derivar uma lista de “bons” e “maus” materiais, o que nem sempre é correto. Por exemplo, existem valores publicados de energia incorporada em concreto (NDIAYE, et al., 2005), um material compósito cuja verdadeira energia incorporada depende fundamentalmente de decisões de projeto (quantidade de cimento, que está relacionada à resistência e variabilidade do processo de produção). A energia incorporada do cimento presente no concreto pode variar 80%. Em blocos cerâmicos fabricados em diferentes plantas no Rio Grande do Sul pode-se encontrar valores entre 0,87 MJ/kg e 4,85 MJ/kg.

Além da limitação do conceito de energia incorporada, é uma prática comum julgar materiais em termos de energia incorporada por unidade de massa do material, sem levar em conta a quantidade de material necessária para atender a uma determinada função em uma edificação. Por exemplo, a energia incorporada de telhas cerâmicas é de 3,3 MJ/kg, menor que a energia incorporada de telhas de fibrocimento, que é de 3,55 MJ/kg (SPERB, 2000). Mas, porque um metro quadrado de cobertura requer 8,5 kg de fibrocimento e mais de 50 kg de telha cerâmica, um telhado de fibrocimento contém menos energia incorporada que um de telha cerâmica.

Portanto, a energia incorporada como critério único para a seleção de materiais é claramente insuficiente para análise de sustentabilidade de materiais, devendo ser associada à análise de outros critérios.

2.1.2.5 Conteúdo de material reaproveitado e potencial de reaproveitamento

O uso de materiais reaproveitados, sejam reutilizados ou com conteúdo reciclado, proporciona benefícios ambientais ao reduzir:

- (a) o consumo de recursos virgens;
- (b) os impactos decorrentes da extração destes recursos;
- (c) a quantidade de resíduos dispostos no meio ambiente.

O setor da construção é potencialmente importante para a incorporação de resíduos em seus produtos devido à variedade de materiais que são utilizados, à magnitude dos volumes processados, e porque, uma vez incorporado em materiais e edificações, os resíduos são imobilizados por longo período (BUHÉ et al., 1997). Podem ser incorporados, em seus materiais e produtos, resíduos gerados por sua própria atividade e gerados por outros setores produtivos. O principal exemplo é a indústria de cimento, que incorpora resíduos de outras indústrias, principalmente escória de alto forno e cinzas volantes (CARVALHO, 2002; JOHN, 2003; MAGANHA; KOMATSU, 1999; TREZZA; SCIAN, 2005).

Porém, a composição de produtos com materiais secundários permanece, em muitos casos, desconhecida. Fernández et al. (2000), em avaliação de informações referentes a cerca de 3000 produtos secundários de cimento com resíduos, identificaram lacunas na apresentação da composição de tais produtos.

No Brasil, informações e dados sobre a reciclagem de materiais são disponibilizados pelo Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), como de papel, latas de alumínio, vidro, plástico rígido, etc. Algumas instituições reúnem e divulgam informações sobre a disponibilidade de resíduos industriais (BOLSA DE RESÍDUOS, 2005). Entretanto, os dados para reciclagem no Brasil são insuficientes, principalmente os relativos a materiais de construção.

Embora desejável, nem sempre é possível realizar uma caracterização quantitativa da composição de materiais reciclados. Neste caso, é necessário recorrer à caracterização qualitativa, identificando a presença de substâncias perigosas e seus mecanismos de lixiviação. A simples presença de substâncias perigosas não indica o potencial de impactos, pois a liberação de tais substâncias depende de fatores relacionados à matriz na qual estão agregadas e às condições de exposição do material.

Um aspecto relevante no uso de materiais secundários é a identificação das propriedades físicas dos produtos que os incorporam. É possível a ocorrência de *trade-offs*, pois a incorporação de resíduos pode mudar as características do novo produto. Assim, benefícios conquistados com a redução de uso de matéria-prima virgem podem ser superados pelo consumo de material para as substituições resultantes de uma durabilidade reduzida, pelo possível aumento da demanda de energia e pela geração de resíduos de maior periculosidade que os dos processos com o material virgem. Segundo van der Sloot e Kosson (2003), as implicações ambientais de longo prazo, resultantes de sucessivos ciclos de reciclagem são incertas. Nestes ciclos, substâncias contaminantes podem ser progressivamente acumuladas nos materiais e, em determinadas etapas e processos, dispersas no meio ambiente.

Com relação à reciclagem de materiais de construção, a fração não mineral tem fácil destinação para reciclagem, podendo ser usadas na geração de agregados para pavimentação e para concretos sem função estrutural (ANGULO, 2005; LIMA, 1999; PINTO, 1999). Um passo relevante para a reciclagem de RCD no Brasil foi a publicação de normas técnicas relacionadas ao assunto (ABNT, 2004), disciplinando a reciclagem e a aplicação de agregados reciclados.

O potencial de reutilização de materiais e componentes depende igualmente de fatores de mercado e custo. Sua viabilidade técnica pode ser obtida em dois momentos (DORSTHORST; KOWALCZYK, 2001): (a) durante o projeto, através de ferramentas de DFD (*Design for Dismantling - Deconstruction*), quando uma estratégia de desmontagem da edificação pode ser estabelecida; (b) na demolição ou desconstrução, termo utilizado para se referir à técnica de desmontar edificações e recuperar materiais para reciclagem e reutilização (MACOZOMA, 2001).

Kibert e Chini (2000) apresentam, porém, barreiras para a adoção da desconstrução: (a) o fato de edificações e componentes existentes não terem sido projetados para serem desconstruídos; (b) falta de ferramentas adequadas para a desconstrução; (c) baixos custos de deposição de resíduos de demolição; (d) demanda de tempo, em geral, maior que a alternativa de demolição; (e) códigos construtivos que não contemplam a reutilização de componentes; (f) falta de explicitação e evidência de vantagens econômicas e ambientais.

A reutilização de materiais, entendida como o prolongamento da vida útil na mesma função original, oferece benefícios ambientais similares ao da reciclagem, embora com menores riscos ambientais,

visto que, para serem reutilizados, os materiais necessitam pouco ou nenhum processamento.

De um modo geral, deve-se evitar a avaliação simplista de materiais com resíduo incorporados como “boa”, analisando os impactos ambientais e econômicos na cadeia de produção e uso destes materiais, principalmente no que se refere ao seu potencial contaminante.

2.1.2.6 Emissões e resíduos

Ao longo do ciclo de vida dos materiais de construção ocorrem emissões e deposições de resíduos no ambiente, envolvendo: (a) extração de minérios; (b) processo de manufatura; (c) atividades construtivas; (d) atividades de manutenção e reposição de componentes; (e) atividades de demolição (JOHN, 2000). Moriguchi (1999) afirma que resíduos são gerados principalmente na indústria de beneficiamento de recursos naturais, pela necessidade de remoção de impurezas e de materiais inúteis. Segundo a USEPA (1996), no processamento de 1 t de minério de ferro em alto-forno consome-se 1,4 t de minérios de ferro, 0,5 a 0,65 t de coque e 0,25 t de calcário, sendo gerados, na produção de ferro, 0,2 a 0,4 t de escória e 2,5 a 3,5 t de gás de alto forno.

O processo construtivo gera também resíduos de construção e demolição (RCD), em quantidades variando entre 0,23 e 0,66 t/hab.ano (PINTO, 1999). Souza et al. (2004) afirmam que a ineficiência dos processos produtivos e a dimensão da indústria da construção a levam a ser uma grande geradora de resíduos.

A relevância da geração de resíduos no setor da construção decorre: (a) das grandes quantidades geradas de resíduos e emissões; (b) da periculosidade de algumas substâncias emitidas, as quais podem afetar os ecossistemas e a saúde humana. Entretanto, há dificuldades na obtenção de informações sobre quantidades e características dos resíduos gerados em alguns setores como, por exemplo, os de extração de recursos e de produção de materiais, pelo fato de as empresas considerarem sigilosos os dados relativos a tais emissões.

Esta situação poderá melhorar com a consolidação da Resolução CONAMA 313 (CONAMA, 2002b), que estabelece: (a) a obrigatoriedade das indústrias registrarem os dados de geração e destinação dos seus resíduos para formação do Inventário Nacional dos Resíduos Industriais; (b) a obrigatoriedade dos Estados apresentarem ao IBAMA os dados do Inventários Estaduais de Resíduos Sólidos Industriais e de elaborarem Programas Estaduais de Gerenciamento de Resíduos Industriais; (c) o desenvolvimento, pelo IBAMA, do Plano Nacional de Resíduos Industriais. Esta resolução abrange, entretanto, uma quantidade limitada de indústrias, deixando de fora setores relevantes da produção de materiais de construção. Tais inventários tendem, ainda, a fornecer um panorama incompleto das emissões de resíduos, já que não consideram emissões aéreas.

A quantificação de resíduos, na escala da produção e em macro-regiões, constitui um desafio e demanda ferramentas adequadas para sua realização. A Análise do Fluxo de Materiais (AFM) e o Inventário do Ciclo de Vida (parte integrante de uma ACV) são opções que podem ser usadas para isso. A AMF é uma ferramenta importante para a quantificação e gestão de resíduos industriais, por abranger a identificação e quantificação dos fluxos indiretos.

Moriguchi (1999) e Bringuez et al. (2004) afirmam que estes fluxos são responsáveis por uma parcela significativa do total de matéria demandada em indústrias. O autor afirma, com base em análises de AFM no âmbito japonês, que o CO₂ é, em massa, o resíduo antropogênico mais significativo naquele país. A partir da identificação destes fluxos é possível estabelecer estratégias e políticas mais coerentes para a redução da geração e processamento de resíduos.

Diante da relevância e do potencial impacto ambiental dos resíduos gerados ao longo do ciclo de vida dos materiais e componentes, tem-se colocado como estratégias gerais para redução dos

impactos (HARTLÉN, 1996; SOUZA et al., 2004): (a) a redução das quantidades geradas; (b) reciclagem e reuso dos resíduos. No mesmo sentido, Buéh et al. (1997) afirmam que em muitos setores industriais que buscam a melhoria ambiental de sua produção, a redução do volume de resíduos gerados é a melhor expressão desta melhoria. Esta redução pode ser obtida, segundo os autores, a partir de: (a) otimização dos processos de transformação, manufatura, aplicação, utilização, e tratamento no fim do ciclo de vida; (b) aumento da durabilidade da vida de materiais ou produtos; (c) reciclagem. Estas metas são válidas tanto para os processos industriais de produção de materiais quanto para os processos construtivos.

A emissão de substâncias nocivas é outro fator importante a considerar no setor da construção, pois os materiais de construção podem conter compostos tóxicos, que são emitidos com intensidade variável desde a extração de matérias-primas até produção e uso dos materiais e componentes. A melhoria desta situação pode ser buscada através do estímulo ao consumo de produtos com baixa emissão de substâncias tóxicas ao longo do ciclo de vida. Entretanto, a quantificação das emissões nem sempre é possível, pois as empresas tendem a considerá-los confidenciais (EEA, 1997; TODD; CURRAN, 1999). Estimativas e caracterizações qualitativas, por outro lado, são possíveis a partir de referências bibliográficas que, no entanto, serão insensíveis às especificidades de cada planta.

Algumas instituições podem fornecer modelos e informações para essa caracterização quantitativa ou qualitativa: (a) Intenational Panel on Climate Change; (b) US Environmental Protection Agency; (c) European Environmental Agency; (d) IEA. A qualificação da geração de resíduos pode ocorrer também a partir de referências sobre os processos produtivos, tais como as disponíveis em USEPA (1996).

A partir destas referências e de trabalhos mais específicos sobre a produção e ciclo de vida de alguns materiais de construção (GRIGOLETTI, 2001; MANDFREDINI, 2003; SOARES et al., 2002; CARVALHO, 2003; MOORS et al., 2005; AMERICA IRON AND STEEL INSTITUTE, 2001; INTERNATIONAL ALUMINIUM INSTITUTE, 2003; BORGES, 2004), pode-se identificar emissões decorrentes da produção de materiais empregados em edificações, como os exemplos mostrados na Tabela 7.

Para a seleção de materiais com menores emissões na manufatura, é relevante, portanto, ter acesso a informações sobre os possíveis procedimentos de mitigação ou de eliminação de resíduos na manufatura, que são resultados de políticas de gestão ambiental e de inovação de processos de cada produtor.

Tabela 7 - Emissões na produção de alguns materiais de construção

Materiais e emissões na produção de CIMENTO
Material particulado , na mineração, britagem e moagem, armazenamento de matéria prima, homogeneização, produção de clínquer, moagem do cimento, sinterização e resfriamento (CARVALHO, 2002)
NOx , na queima de combustíveis e reações térmicas durante a produção do clínquer (CARVALHO, 2002)
SOx , na dissociação do enxofre contido no combustível e na matéria-prima, dentro dos pré-aquecedores, pré-calcinadores e forno (CARVALHO, 2002)
CO₂ , na queima dos combustíveis fósseis para a obtenção de energia térmica, na descarbonatação dos materiais carbonáticos, na clínquerização (CARVALHO, 2002; HOLCIM, 2003)
Dioxinas/ furanos (HOLCIM, 2003)

Continuação da Tabela 7

Materiais e emissões na produção de AÇO
NOx , no escoamento do ferro gusa e no processamento aço
CO , na sinterização, produção de ferro, escoamento do ferro gusa (USEPA, 1995; EMEP/CORINAIR)
SO₂ , na alimentação do alto-forno, no escoamento do ferro gusa, no processamento aço - laminação
CO₂ , na produção integrada de ferro e aço e coque (GERDAU AÇOMINAS; 2004)
NMVOCs , na produção de ferro, na produção do aço - escoamento do ferro gusa, no processamento do aço - laminação
Dioxinas , na sinterização, coqueria, em forno de arco elétrico (USEPA, 1998)
Materiais e emissões na produção de CERÂMICA (BLOCOS E TELHAS)
Fluoreto de hidrogênio (HF) , resultante da decomposição térmica de matérias-primas, que contém flúor, proveniente de compostos dos íons fluoreto (SOARES et al.; 2002)
SO₂ , nos processos de combustão que utilizam combustíveis contendo enxofre (SOARES et al.; 2002)
NOx , em combustão (SOARES et al.; 2002)
CO₂ , presente em todas as emissões quentes das fases de secagem e queima. Decomposição e combustão, de carbonatos e substâncias orgânicas, respectivamente, destas substâncias (SOARES et al.; 2002)
Material particulado , na extração, mistura, moagem e laminação da matéria-prima (SOARES et al.; 2002)
Materiais e emissões na produção de ALUMÍNIO
CO₂ , na geração da alumina processo Bayer, na redução do anodo, na redução para alumínio (eletrólise), na fundição e lingoteamento (TAN; KHOO 2005)
Fluoreto, poeira, SO ₂ , CO ₂ , CO e pequenas quantidades de voláteis
SO₂ , nas emissões dos fornos de produção de anodos (USEPA, 1996)
Fluoretos , nas emissões dos fornos de produção de anodos (USEPA, 1996)
Lama vermelha , no refino da bauxita em alumina para alumina (TAN; KHOO 2005)
Materiais e emissões na produção de PVC
Emissões para o ar: Amônia; CFC; CH ₄ ; CH ₄ renovável; CO ₂ ; CO ₂ (<i>non-fossil</i>); C _x H _y ; C _x H _y alifático; C _x H _y aromático; Diclorometano; Metilmercaptana; N ₂ O; NO ₂ ; NMCOV; NO _x ; Percloroetileno; SO ₂ ; Sox; Tetraclorometano; Tricloroetileno; MVC (cloreto de vinila); Compostos Orgânicos Voláteis (BORGES, 2004)
Emissões para a água (Asbestos; C _x H _y ; 1,2-dicloroetano; Metais pesados (Cr, Pb); NH ₃ ; MVC) (BORGES, 2004)
Resíduos sólidos (Asbestos; Óleo; Resíduos sólidos (não inerte); Resíduos sólidos (contendo Cu); Resíduos processuais) (BORGES, 2004)

2.1.2.7 Presença de substâncias perigosas

Muitos materiais de construção como carpetes, adesivos, produtos de madeira, revestimento sintéticos, etc. contém substâncias tóxicas que podem ser liberadas no ambiente, como: tiocianato em concretos e chumbo, bromo, IPBC, toliifluanida e DCOIT em tintas para proteção de madeira (TOGERO, 2004); PCB em revestimentos de fachadas e tintas (ANDERSSON et al, 2004); Chumbo em tintas (NGUYEN, 1996); compostos orgânicos voláteis em carpetes, papel de parede e adesivos (WALLACE et al, 1987).

Informações da Companhia de Saneamento Ambiental (CETESB), da Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ASTDR), da US Environmental Agency (USEPA) e de outras fontes mostram que várias substâncias tóxicas estão presentes nos materiais de construção, como: Antimônio (baterias, pigmentos, cerâmica, ligas, plásticos, resinas, etc.); Arsênio (ligas, vidro, têxteis, tintas, etc.); Cádmio (pilhas, tintas, pigmentos, biocidas, plásticos, etc.); Chumbo (soldas, lâmpadas, plásticos, vidro, tintas, etc.); Cianeto (madeira tratada, plásticos, biocidas, etc.); Mercúrio (lâmpadas, tintas, plásticos, biocidas, etc.); Formaldeído (colas, papel, têxteis, espumas, etc.); Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (plásticos, alvejantes, asfalto, madeira tratada, etc.); outros. Várias destas substâncias podem ser emitidas para o meio ambiente de diversas formas. As fibras de amianto são emitidas para o ar e em suspensão, inaladas. Os metais pesados podem ser lixiviados e contaminar solo e corpos d' água. As dioxinas são emitidas para o ar e sua inalação acarreta riscos à saúde.

A presença de substâncias tóxicas é importante na análise da reciclagem, onde o conteúdo perigoso de resíduos é incorporado aos materiais produzidos. Hartlén (1996) aponta a lixiviação como a principal preocupação no uso de materiais reciclados. Neste sentido, é ilustrativo o caso da produção de cimento com co-processamento de resíduos. Segundo (ANDRADE; ERBE, 1996) durante o co-processamento, algumas substâncias são incorporadas à estrutura cristalina do cimento, enquanto outras, mais voláteis, tendem a se concentrar no fluxo de gases e se condensar na superfície dos materiais particulados. Existem evidências da lixiviação de substâncias perigosas contidas em concreto (TORGERO, 2004; SANI et al, 2005), em materiais de matriz cimentícia (ZIVICA; BAJZA, 2002), bem como de resíduos estabilizados com cimento (HALIM et al., 2005; JIM et al., 2005). Outro exemplo é a lixiviação de metais em preservativos em madeira, cuja liberação no ambiente pode ser favorecida pela reciclagem da madeira (LEBOW et al, 2000).

Em função da presença de substâncias perigosas nos materiais de construção, torna-se necessário restringir o uso daqueles cujos riscos de contaminação ambiental sejam maiores. Este fator deve ser considerado na seleção de materiais. Ressalta-se, entretanto, que a simples identificação de substâncias tóxicas não é necessariamente um indicador eficiente de riscos, mas, dentro de uma abordagem simplificada, constitui um primeiro passo para a eliminação de tais riscos.

2.1.2.8 Qualidade do ambiente interno

Os materiais de construção podem influenciar na qualidade do ambiente interno de edificações através de emissões de substâncias nocivas à saúde humana (YU; CRUMP, 1998; USEPA, 1991; 1995; JONES, 1999; HEALTH CANADA, 1995; SUNDELL, 2004). Essas emissões estão dentre as causas do que se convencionou chamar síndrome do edifício doente.

Zuraimi et al. (2006) afirmam que os efeitos de alguns compostos orgânicos voláteis (VOC) variam desde respostas não específicas à toxicidade até efeitos específicos em determinados órgãos. Jones (1999) indica, entretanto, que há a necessidade de aperfeiçoar o conhecimento sobre as conseqüências dos poluentes sobre a saúde. O autor afirma que os avanços neste sentido são

menores que os dedicados ao estudo das fontes de contaminação e que, embora se disponha de evidências sobre a contaminação interna de edificações como causa dos problemas de saúde, há incertezas quanto às conseqüências específicas de cada substância.

Tabela 8 - Potenciais efeitos à saúde decorrentes da exposição às substâncias emitidas por materiais

Substância	Efeito potencial
VOC em geral	A exposição a VOC pode causar danos a saúde agudos e crônicos. Pessoas asmáticas ou com problemas respiratórios são particularmente vulneráveis a exposições, mesmo em baixa dosagem. Em altas concentrações, muitos VOC são narcóticos potentes e podem deprimir o sistema nervoso central. Exposições podem causar reações de sensibilidade envolvendo o olho, pele e pulmões (JONES, 1999).
VOC em geral	Síndrome do edifício doente (NIU & BURNETT, 2001)
VOC (formaldeído)	Causa problemas à saúde por inalação ou contato direto, como: efeitos neuropsicológicos; irritação dos olhos e das vias respiratórias, edema pulmonar, inflamação, pneumonia, coma e até morte (JONES, 1999)
VOC (tolueno)	Pode causar letargia, tontura e confusão, podendo evoluir para convulsões até morte (JONES, 1999).
Fibras de amianto	Exposições agudas ao amianto podem causar irritação da pele (Spengler; Sexton, 1983 apud Jones; 1999) Entretanto, os danos a saúde mais grave são câncer de pulmão, mesotelioma (câncer envolvendo a proliferação de células mesoteliais) e asbestosis. (JONES, 1999)

Segundo Niu e Burnett (2001), as taxas e tipos de emissões variam significativamente mesmo entre materiais de uma mesma categoria, o que inviabiliza a generalização do risco para grupo de produtos. Sundell (2004) alerta para as diferenças entre emissões de edificações em países desenvolvidos e em desenvolvimento, pelas interferências da climatização no grau das emissões.

Segundo Lippiatt (2002), não há consenso científico sobre fatores para caracterização das emissões internas para os muitos produtos passíveis de serem empregados em uma edificação. A autora afirma que, na ausência de dados confiáveis, as emissões de VOC, embora não sejam as únicas relevantes, são normalmente usadas para medir o desempenho da qualidade do ar interno.

Os VOCs representam uma ampla gama de compostos orgânicos cujas concentrações no interior de edificações pode ser, segundo Yu e Crump (1998) dez vezes maior que a exterior. A grande diversidade de VOCs dificulta o estabelecimento de um índice para quantificar as emissões e níveis totais destas substâncias. Muitas vezes, as emissões de VOC são tratadas de forma conjunta, na forma de TVOC (total VOC) (USEPA, 1991), o que tende a mascarar os riscos de concentrações maiores de algumas substâncias.

Segundo Olesen (2004), existe uma lacuna nos dados sobre taxas de emissões de materiais, o que torna difícil o uso de métodos analíticos para o delineamento de cenários, bem como a determinação de normas de conforto e salubridade. Estas informações são, entretanto, fundamentais para apoiar a seleção de materiais. Acredita-se que, na ausência de tais dados para a caracterização de emissões dos materiais disponíveis no mercado brasileiro, critérios ainda mais simplificados serão necessários, baseados na caracterização qualitativa dos materiais, segundo o potencial de emissões nocivas ao longo do ciclo de vida.

2.2 Avaliação de aspectos sociais relacionados a materiais e componentes

O aspecto social na seleção de materiais é fator importante para a sustentabilidade de edificações, principalmente em países em desenvolvimento como o Brasil, onde a informalidade de alguns setores de produção de materiais é significativa. Em muitos casos, esta informalidade está ligada à desorganização das empresas e ao descuido com questões ambientais.

Um exemplo disso são as olarias clandestinas, encontráveis em diversas partes do país, que utilizam mão-de-obra informal e madeira nativa extraída irregularmente como combustível, causando desmatamento e diminuição da biodiversidade. Outras situações parecidas com esta em seus efeitos sociais e ambientais negativos são as extrações de madeira e de areia de forma irregular.

A informalidade pode ocorrer na extração de recursos, produção, comercialização e fim do ciclo de vida de materiais, podendo causar: (a) evasão fiscal; (b) desrespeito à legislação ambiental; (c) desrespeito aos direitos dos trabalhadores; (d) comprometimento da qualidade dos produtos.

Um desafio nas análises de sustentabilidade social é encontrar formas viáveis de avaliar esta questão. A definição de critérios pode começar a partir da identificação de diretrizes gerais para a sustentabilidade econômica. Gibberd (2003), em estudo de avaliação de sustentabilidade de edificações na África do Sul, apresenta diversas diretrizes para a promoção de uma relação equilibrada entre sociedade e meio ambiente: (a) acesso a capital; (b) inclusão social; (c) altos níveis de saúde e bem estar; (d) elevação dos níveis de educação e conscientização; (e) integração social. Do ponto de vista da seleção e materiais de construção, os atributos mencionados devem derivar critérios objetivos relacionados a aspecto social na extração, produção, uso e disposição final de materiais.

2.2.1 Extração de recursos

A extração de recursos tem papel importante para a sustentabilidade social do setor da construção, pelas suas conseqüências em termos de condições de trabalho e saúde e de disponibilidade de recursos públicos provenientes de taxas sobre extração de recursos naturais, que diminuem com a informalidade de parte do setor.

O conjunto de minerais utilizados na construção civil é o maior entre os commodities não metálicos produzidos no país, em volume e valor, segundo Macedo et al. (2003). Estes autores afirmam que a informalidade de parte do setor permite aos mineradores sonegar informações sobre os totais extraídos e sobre os lucros frente ao Departamento Nacional Produção Mineral (DNPM), deixando de pagar tributos devidos. Rodrigues e Moreira (2005) apresentam evidências do uso inadequado de dinheiro público proveniente da extração de recursos minerais, como discrepâncias entre alta arrecadação decorrente da atividade mineradora e o índice de desenvolvimento humano (IDH) de alguns municípios brasileiros. Esta arrecadação deveria, hipoteticamente, ser aplicada em promoção da saúde, educação, infra-estrutura e qualidade ambiental. Os autores indicam a necessidade de monitorar mais rigorosamente a aplicação destes recursos públicos, para promover o desenvolvimento social sustentável de tais localidades.

O setor de extração de recursos utiliza mão-de-obra intensiva e a maioria desta mão-de-obra, na extração de areia, argila, pedrisco e pedras ornamentais, trabalha de maneira informal (MACEDO et al., 2003). A informalidade tem com uma de suas conseqüências a precariedade de condições de trabalho, como constatado por Grigoletti (2001) na manufatura de argila. Esta precariedade está

sejam ilegais, apesar de esforços de alguns países em restringir o consumo de tal madeira.

Em países em desenvolvimento, parte da economia é informal e a adesão de empresas a princípios de responsabilidade social ainda é pequena. Assim, a seleção de materiais de construção com base em movimentos de responsabilidade social pode resultar em poucas opções de escolha, em alguns casos. Por outro lado, setores formados por poucas empresas de grande porte são mais propensos à adoção de tais princípios, como acontece na produção de aço e cimento.

No Brasil, o Programa Nacional da Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H) promove a produtividade na cadeia de suprimento de materiais para habitações, usando o poder de compra do Estado para estimular o respeito às normas técnicas, o desenvolvimento de normas de desempenho e de novas tecnologias construtivas. Os fabricantes que não atendem de forma recorrente às normas ou legislação são processados, legalmente proibidos de vender para o governo e suas marcas são denunciadas publicamente como de má qualidade. Apesar disso, o índice de conformidade é preocupante em alguns setores, como mostrado na tabela a seguir.

Tabela 9 - Conformidade de alguns setores de produção de materiais de construção (BRASIL, PBQP-H)

Material	Índice de conformidade
Cimento portland	99%
Cal hidratada	81%
Barras e fios de aço para armaduras de concreto	98%
Tubos e conexões de PVC para instalações prediais	95%
Tubos e conexões de aço	70%
Metais sanitários	72%
Louças sanitárias	95%
Placas cerâmicas para revestimento	88%
Perfis de PVC para forro	49%
Fechaduras	73%
Esquadrias de alumínio	64%
Argamassas colantes	75%

Embora o potencial para a promoção da sustentabilidade social tenha sido identificado principalmente na extração e manufatura, há questões tais como o acesso, uso e destinação final dos materiais que são relevantes. O acesso a preço compatível com a disponibilidade da população, principalmente para a de baixa renda, é importante para a solução do déficit habitacional brasileiro. As questões relacionadas ao uso dizem respeito principalmente à saúde dos usuários. No fim do ciclo de vida dos materiais, as condições de trabalho na demolição e processamento dos resíduos de construção e demolição também têm desdobramentos sociais. Muitos destes aspectos possuem desdobramentos econômicos e ambientais, e sua avaliação poderá ser realizada em quaisquer destas dimensões, evitando-se, entretanto, a dupla contabilidade dos mesmos.

associada, na maioria dos casos, à desobediência à legislação ambiental e ao enfraquecimento da economia local, com reflexos sociais importantes.

No Brasil, a maior parte da madeira é extraída ilegalmente. Segundo o WWF (2005) o crime florestal prejudica particularmente a parcela mais pobre da população, pois, em longo prazo, causa crescimento econômico distorcido e perda de receitas públicas, o que, por sua vez, resulta em prejuízo à saúde pública, à infra-estrutura sanitária e às oportunidades de educação. As ações de disciplinamento do setor podem levar à perda de direitos de uso das florestas que são exploradas ilegalmente, causando a perda de fontes de renda e emprego local, entre outros problemas.

Assim, é importante promover o consumo de materiais e recursos de fontes responsáveis, mas nem sempre é possível atender a este requisito. Um exemplo disso é a madeira, que no Brasil ainda não conta com fornecedores certificados em quantidade suficiente para suprir o mercado nacional, apesar do aumento do número de produtores com cadeia de custódia certificada (FSC, 2005). Na extração de areia a informalidade também é relevante e difícil de ser caracterizada, pois a areia é vendida geralmente sem identificação de procedência ou de fornecedor.

Estes fatores tornam difícil a caracterização de critérios voltados à restrição da informalidade para alguns materiais e constituem uma dificuldade para que o uso de materiais de fontes responsáveis seja adotado, em alguns casos.

2.2.2 Manufatura

A produção de materiais e componentes possui um papel importante na promoção da sustentabilidade social, vinculado à saúde, à segurança e às condições de trabalho. Além disso, deve-se considerar o comprometimento das empresas com aspectos externos à produção, como corrupção e sonegação de impostos.

O grau de comprometimento de fabricantes e fornecedores para com o movimento de Responsabilidade Social de Empresas (Corporate Social Responsibility – CSR) pode ser um critério de avaliação da sustentabilidade social de um material. Os princípios do CSR estão consolidados no Global Compact das Nações Unidas (ver www.unglobalcompact.org/) e incluem temas como: respeito e não-violação aos direitos humanos; garantia da liberdade de associação e incentivos a negociação coletiva; eliminação de trabalho forçado e compulsório; erradicação do trabalho infantil; eliminação da discriminação no emprego; prevenção contra impactos ambientais negativos; incentivo à responsabilidade ambiental nas ações empresariais; combate à corrupção.

O Instituto ETHOS (<http://www.ethos.org.br>) instituiu, no Brasil, um movimento de responsabilidade social de empresas, cujos princípios são semelhantes aos do Global Compact. Alguns produtores de materiais de construção têm declarado iniciativas nesse sentido, conforme o documento “Práticas Empresariais de Responsabilidade Social” (ETHOS, 2005). Entretanto, as reais conseqüências de tais iniciativas estão ainda por ser verificadas.

Apesar de a responsabilidade social ser relativamente mais importante em países em desenvolvimento, é importante que países desenvolvidos utilizem este critério, pois muitos produtores de materiais operam em escala mundial e suas posturas em países em desenvolvimento não são, por vezes, correspondentes às que adotam nos países desenvolvidos. Além disso, países desenvolvidos importam materiais dos países em desenvolvimento, como madeira, e sua pressão pode ser um fator importante para melhorar padrões sociais nos países fornecedores. Embora a madeira certificada brasileira seja fundamentalmente destinada ao mercado internacional, estima-se que 80% da madeira sul-americana exportada para a Europa

2.3 Avaliação de aspectos econômicos relacionados a materiais e componentes

A inclusão de aspectos econômicos durante a seleção de materiais de construção é praticamente obrigatória, pois é primordial nas tomadas de decisão relativas à implantação de edificações, inclusive na seleção de materiais.

Gibberd (2003) apresenta medidas para promoção de sustentabilidade econômica para a África do Sul e aponta fatores importantes para isso, muitos dos quais se aplicam ao Brasil: (a) maior equidade no sistema econômico; (b) ênfase na economia local; (c) aumento da complexidade e diversidade do sistema econômico; (d) modelo de geração de riqueza que encoraje e estimule as pessoas à adoção de práticas mais sustentáveis; (e) reconhecimento e estabelecimento do valor ambiental; (f) aumento de produtividade. Estas diretrizes gerais coincidem com os princípios da Agenda 21 (UNDESA, 1992), alguns dos quais se aplicam ao setor da construção, como os relativos aos padrões de consumo e mecanismos financeiros.

Tabela 10 - Ações do setor da construção para a sustentabilidade econômica e suas relações com os princípios da Agenda 21 (SILVA, 2003)

Alguns destes aspectos e princípios gerais podem ser transformados em critérios para avaliação da sustentabilidade econômica da seleção de materiais na construção, como sugerido por Silva (2003) e apresentado na tabela a seguir.

Tema	Sub-tema	Possibilidades de ação relacionadas ao setor
Estrutura econômica	Recursos e mecanismos de financiamento	<ul style="list-style-type: none"> - Criar linhas de financiamento para iniciativas, políticas e programas para aumento de sustentabilidade - Aumentar (re) investimento - Aumentar investimento em alternativas para aumento de sustentabilidade, incluindo tecnologias mais eficientes e limpas
	Desempenho econômico	<ul style="list-style-type: none"> - Melhorar a qualidade de produtos, processos e edifícios - Aumentar a vida útil das edificações (durabilidade e adaptabilidade) - Aumentar eficiência na alocação de recursos financeiro e ambiental para a produção de materiais, e construção e uso de edifícios. Internalizar custos ambientais e sociais no estabelecimento de preços, para estimular opção por produtos com “melhor valor” em termos de sustentabilidade
Padrões de produção e consumo	Consumo de materiais	<ul style="list-style-type: none"> - Aumentar eficiência na produção e uso de materiais: - Reduzir resíduos da indústria de materiais de construção - Melhorar qualidade da construção (gestão) - Aumentar durabilidade (de materiais e edifícios) e planejamento da manutenção - Reduzir desperdício e RCD - Aumento no uso de reciclados como materiais de construção. - Fortalecer reciclagem de RCD
	Ampliação e aquecimento de mercado de soluções mais sustentáveis	
	Auxílio na tomada de decisão com base em qualidade ambiental e sustentabilidade	<ul style="list-style-type: none"> - Prover instrumentos de informação a consumidores: relato de sustentabilidade de empresas, serviços, materiais e edifícios

Em países em desenvolvimento, a escassez de recursos financeiros pode colocar os custos como prioridade no desenvolvimento de projetos e construções. Isto tende a forjar uma cultura de curto prazo que prioriza o valor dos custos iniciais em detrimento de custos futuros no uso, manutenção e demolição da edificação.

Do ponto de vista da sustentabilidade econômica, não apenas os custos do ciclo de vida dos materiais devem ser considerados, mas também a lógica do sistema de produção. Isso implica considerar também o contexto econômico das empresas e seus desdobramentos externos para a economia local, regional e nacional.

Nas avaliações de sustentabilidade, os custos ambientais devem ser considerados. Estes custos referem-se aos recursos e esforços aplicados direta ou indiretamente em bens, serviços ou taxas que visam à preservação, recuperação e controle do meio ambiente. Um conceito próximo, apresentado por Vogtlander e Hendricks (2002) é o de *eco-cost*, definido como os custos relacionados a medidas que devem ser tomadas para fabricar um produto em concordância com a capacidade estimada do planeta. Estes autores definem os custos virtuais diretos de prevenção à poluição como sendo: (a) a redução das emissões do ciclo de vida do produto; (b) o *eco-cost* de energia; (c) o *eco-cost* da depleção de recursos. Adicionalmente, apresentam os custos indiretos: (a) *eco-cost* de depreciação de equipamentos e edificações; (b) *eco-cost* da mão-de-obra na comutação e no uso de escritórios (edificação, iluminação, eletricidade para computadores, papel, etc.).

A avaliação dos custos do ciclo de vida é necessária para a promoção da sustentabilidade econômica na seleção de materiais. Este procedimento pode ajudar a fornecer referências monetárias para as soluções ambientalmente mais favoráveis, explicitando relações de custos-benefícios ambientais que de outra forma seriam possivelmente distorcidas. Isto porque se associa, muitas vezes, soluções ambientalmente mais sustentáveis a maiores custos, quando a situação contrária é possível (Edwards et al., 2000). A consideração dos impactos da atividade produtora sobre a econômica local deverá também ser incluída na avaliação, sempre que possível.

2.3.1 Custos do ciclo de vida de produtos

O conceito de custos do ciclo de vida (*Life Cycle Costs* – LCC) tem sido utilizado para se referir aos custos monetários de um produto ao longo de seu ciclo de vida (Kotaji et al., 2003), sendo adotado como um critério extra na avaliação da sustentabilidade de produtos. Este conceito pode também ser usado como uma ferramenta para a ponderação de critérios em ACV (Reich, 2005).

Lippiat (2002) apresenta um método que combina avaliação econômica e ambiental onde são considerados os custos do ciclo de vida, incluindo custos de construção, operação, manutenção, e demolição, convertendo-se todos os custos futuros em valores atuais através de taxas de desconto (Gluch e Baumann, 2004; Kotaji et al., 2003).

Edwards et al. (2000) utilizam o conceito de Custo da Vida Completa (Whole Life Costs – WLC) para comparação com os aspectos ambientais definidos por ACV em três estudos de caso. Os autores concluíram que a avaliação de WLC melhorou a eficiência do processo de projeto por permitir a tomada de decisões com maior potencial de impacto ambiental entre as opções que se enquadraram em um orçamento pré-determinado.

Em alguns casos, o LCC é aplicado em um sentido mais abrangente, como os custos de um produto ao longo do ciclo de vida, incluindo os custos ambientais. Reich (2005) propõe uma combinação dos conceitos e ferramentas de ACV e LCC, resultando em uma LCC ambiental que é calculada com base no estabelecimento de valores para emissões, utilizando LCC como uma

ferramenta de ponderação para a avaliação ambiental, de forma similar ao conceito de *eco-costs*.

Considerando os diversos termos e definições relacionados à análise de custos vinculada à avaliação ambiental, pode-se afirmar que existe alguma confusão entre os conceitos. Gluch e Baumann (2004) analisaram diversas ferramentas utilizadas no contexto empresarial para a contabilidade ambiental e afirmam que alguns métodos possuem nomes diferentes, mas algoritmos ou princípios de cálculo similares. Os autores mencionam ainda a importância de se reconhecer os diferentes ciclos de vida definidos em diversos métodos, o que pode levar a confusão nas comparações de resultados de ACV e LCC.

Tabela 11 - Etapas e variáveis comuns do ciclo de vida em ACV e LCC

Entretanto, Kotaji et al. (2003) mencionam que existem semelhanças entre LCC e ACV, conforme apresentado na tabela a seguir. Embora os ciclos de vida considerados nas abordagens possam

LCC (custos do ciclo de vida)		Etapas do ciclo de vida variáveis		Ao
Não se aplica		Extração de recursos (quantidade extraída)	→	Depleção de recursos
Não se aplica		Manufatura (Entradas e saídas em massa)	→	Cargas ambientais da manufatura
Não se aplica		Transporte (origem do produto)	→	Consumo de combustíveis fósseis Emissões decorrentes do transporte
Custos dos materiais Custos da mão-de-obra	←	Construção Especificação do materiais Quantidades dos materiais Resíduos Horas de trabalho	→	Consumo de materiais Geração de resíduos
Custos operacionais (energia) Custos operacionais (água)	←	Uso (operação) Consumo de energia Consumo de água Conforto térmico	→	Emissões vinculadas à energia de operação Consumo de água Conforto do ambiente interno
Custos de produtos Custos de mão-de-obra	←	Uso (manutenção) Facilidade de manutenção Periodicidade Produtos utilizados	→	Recursos utilizados para a manutenção Emissões tóxicas dos produtos
Custos do material reposto Custos da mão-de-obra	←	Uso (reposição) Durabilidade de componentes Tempo de vida da edificação como um todo	→	Consumo de materiais e seus impactos correlatos (depleção e geração de resíduos)
Custos e tempo de demolição e desconstrução	←	Fim do ciclo de vida (demolição) (demolição / técnicas de desconstrução)	→	Emissões durante a demolição Resíduos gerados % de materiais para reciclagem
Custos futuros da reciclagem Receitas potenciais em função da reciclagem	←	Fim do ciclo de vida (reciclagem) Potencial de reciclagem do material Tecnologias disponíveis Percentual reciclável	→	Impactos do processo de reciclagem
Custos de transporte Taxas para aterrar	←	Fim do ciclo de vida (aterro) fim do ciclo de vida (% aterrado) Distância transportada	→	Consumo de combustíveis fósseis Emissões decorrentes do transporte Emissões do material aterrado (lixiviação e emissões aéreas) Imobilização de recursos

variar, as variáveis apresentadas podem ser tomadas como um ponto de partida para a consolidação de uma abordagem harmonizada dos conceitos.

Segundo Gluch e Baumann (2004), o uso de LCC pode auxiliar nas tomadas de decisão por traduzir o contexto complexo das questões ambientais em valores monetários, que é uma dimensão familiar ao mundo dos negócios. Ainda de acordo com os autores, outro benefício da elaboração de uma LCC é que o **envolvimento** dos agentes no processo de elaboração pode levar à educação e capacitação destes agentes em relação às questões de sustentabilidade.

Entretanto, as ferramentas de LCC possuem limitações, por se basearem em muitas variáveis **estimadas** devido à complexidade da previsão de aspectos do ciclo de vida das edificações que ocorrem em longo prazo, como disposição final de resíduos após demolição (GLUCH; BAUMANN, 2004). Outras fragilidades são: (a) seus resultados são distorcidos em função dos valores pessoais do agente da tomada de decisão (GLUCH; BAUMANN, 2004); (b) introduzem complexidade e subjetividade quando são comparadas a critérios de avaliação ambiental.

A comparação de critérios ambientais e econômicos cria uma etapa extra no processo de tomada de decisão e agrega complexidade e subjetividade ao processo. Essa comparação não ocorre, provavelmente, de uma forma objetiva e estritamente racional, mas sim como resultado de procedimentos complexos e sutis, quando da realização de *trade-offs*. Por isso, no sentido de facilitar e proporcionar maior rigor a este processo de comparação, o desempenho final (econômico e ambiental) pode ser calculado com a assistência de ferramentas de análise de decisão multiatributo (Multiattribute Decision Analysis – MADA).

Assim, a integração de critérios ambientais e econômicos em uma avaliação de sustentabilidade, embora relevante, ainda é um procedimento a ser mais bem desenvolvido. Em países em desenvolvimento, o uso de LCC pode restringir a cultura de curto prazo existente e promover uma perspectiva mais abrangente e compatível com o conceito de construção sustentável.

3. Caracterização e análise crítica das práticas existentes no mercado nacional

3.1 Critérios ambientais

No Brasil não há tradição de se considerar aspectos de sustentabilidade ambiental na seleção de materiais e uma das primeiras abordagens realizadas, nesta área, foi baseada no uso da energia incorporada como critério de seleção. Este critério foi bastante divulgado no país por Mascaró (1980), em um período em que a crise do petróleo já era uma preocupação mundial. Atualmente, este critério ainda é utilizado, como mostram alguns trabalhos relativos ao tema, como: (1) o de Krüger et al (2000), que avalia edificações implantadas na Vila Tecnológica de Curitiba pelo conteúdo energético global (na construção, uso, manutenção, demolição e destinação de resíduos), considerando também a energia incorporada nos materiais; (2) o de Isaia (1999), que avalia o aspecto energético de concretos de alto desempenho à base de cimento portland e adições de pozolanas; (3) o de Camargos e Branco (2005), que analisa a prática de readequação de edifícios abandonados ou subutilizados utilizando o conceito de conteúdo energético dos materiais.

Ultimamente começaram a surgir, no país, novas propostas para a seleção de materiais com uma abordagem mais ampla da sustentabilidade, avaliando-se outros critérios além da energia incorporada. Muitos dos novos estudos e métodos propostos têm como modelos práticas adotadas em outros países. Entretanto, Silva (2003) afirma não se pode aplicar os métodos estrangeiros diretamente à construção civil nacional, porque é necessário adaptar a forma como os critérios são ponderados para a realidade brasileira e isso ainda não foi feito. Além disso, o país não conta com base de informações necessárias para a realização de ACV ou de referências nacionais e regionais para a aplicação de métodos de avaliação da sustentabilidade de edificações. A autora aponta ainda a necessidade de se considerar, nas análises, outros aspectos além do ambiental.

Apesar destas carências, o estudo de aspectos ambientais e de sustentabilidade de materiais de construção vem sendo realizado no Brasil.

Uemoto et al. (2004) desenvolveram estudo de avaliação ambiental de tintas imobiliárias nacionais, concluindo que muitas delas, principalmente esmaltes sintéticos, emitem compostos orgânicos voláteis e que é necessário criar legislação nacional sobre o assunto.

Sperb (2000) realizou estudo comparativo dos impactos ambientais no ciclo de vida de materiais de construção em cinco tipologias habitacionais implantadas na Vila Tecnológica de Porto Alegre. A autora analisou também métodos existentes de análise ambiental e caracterizou impactos ambientais do ciclo de vida de alguns materiais para construção de paredes e coberturas. Nas análises, foram determinadas as quantidades de matérias-primas (para avaliação do consumo de recursos) e o potencial de reciclabilidade dos materiais selecionados. A autora analisou, para cada tipologia, o conteúdo energético e os gastos energéticos com transporte. Uma limitação importante da pesquisa é a ausência de dados específicos nacionais para a realização das análises, o que levou a pesquisadora a trabalhar com base conceitual de ACV e com dados de caráter geral, muitos dos quais de referências internacionais.

No seu trabalho, a autora caracteriza alguns impactos que considera importantes no ciclo de vida dos materiais, como: exploração de recursos naturais; gastos energéticos na produção; gastos energéticos no transporte; emissões aéreas, de efluentes líquidos e de resíduos sólidos; potencial de reuso e reciclagem. Os impactos considerados são os que afetam principalmente o planeta, tendo sido deixados em segundo plano os impactos que afetam a saúde humana, como os associados à emissão de VOCs.

Grigoletti (2001) realizou estudo de caracterização dos impactos da indústria cerâmica vermelha no RGS, avaliando qualitativamente aspectos relacionados a: recursos naturais; energia; resíduos sólidos e líquidos; emissões aéreas; recursos humanos e produto acabado. Manfredini (2003) continuou o trabalho de Grigoletti, analisando aspectos relacionados a: matéria-prima; fontes energéticas; emissões gasosas; geração de resíduos sólidos e recursos humanos. Os dados de Manfredini não podem ser considerados representativos da realidade no estado do Rio Grande do Sul, por dificuldades de amostragem em setor tão heterogêneo, mas constituem um avanço no entendimento da sustentabilidade de materiais.

Vários trabalhos nacionais referem-se a análises do ciclo de vida de materiais e produtos para a construção. Carvalho (2002) realizou ACV do cimento portland produzido no Brasil, considerando os impactos: aquecimento global; acidificação; consumo de energia elétrica; nutrição; emissão de particulados. O estudo é quantitativo e constitui o único exemplo de aplicação de ACV no Brasil, nos moldes da ISO 14040.

Soares et al. (2002) realizaram ACV de produtos cerâmicos abordando os temas: energia; emissões gasosas; uso da água e resíduos sólidos. Mastella (2002) realizou estudo comparativo de ACV de blocos cerâmicos e blocos de concreto para alvenaria estrutural. A ACV foi parcial, pela ausência ou deficiências de algumas informações, e baseada em: balanço massa-energia; análise multicritérios através de matriz simplificada contendo consumo de matéria-primas, de água e de energia, e emissão de efluentes gasosos e resíduos sólidos. Cortez-Brabosa (2001) analisou os critérios de consumo de energia, resíduos sólidos e emissão de CO₂ na cadeia produtiva de edificações de madeira, através do uso de ACV. Filho et al (2002) realizaram estudo conceitual sobre a aplicação de ACV em coberturas de galpões industriais.

Kronka (2001) propõe diversas ações de projeto e implantação de edificações pelo critério de sustentabilidade, com referências a atributos de materiais preferíveis, como: durabilidade; baixa necessidade de manutenção; uso de madeira de reflorestamento; uso de materiais locais; uso de madeira não tratada; uso de materiais com baixa energia incorporada; uso de materiais com uso intenso de embalagens.

Um outro trabalho sobre sustentabilidade de edificações de interesse social, da UNICAMP (2004) aborda questões de outras naturezas nas análises, como projeto urbanístico, densidade populacional, infra-estrutura urbana, mas não faz referências explícitas à seleção de materiais.

A existência destes e outros trabalhos mostram um aumento na importância do tema da sustentabilidade no cenário nacional, que tem levado pesquisadores a propor métodos de avaliação de sustentabilidade de edificações considerando também a seleção de materiais.

Oliveira (2005) propõe sistema de avaliação de coberturas, cujos critérios podem ser utilizados para a avaliação ambiental de outros sistemas. Sua proposta ainda não é utilizada no país, mas contém pontos de interesse para a seleção de materiais visando a sustentabilidade. O autor observa que sua proposta é simplificada, pela ausência de bases de informações nacionais que permitam a aplicação de sistema mais robusto.

No sistema proposto há três grupos de critérios: (1) consumo de recursos (**uso de recursos materiais; aporte energético para processo de manufatura; aportes energéticos para transporte**; recursos energéticos para uso da edificação); (2) **geração de emissões e resíduos** decorrentes de aportes energéticos para processos; **emissões aéreas de gases de efeito estufa** decorrentes dos processos de manufatura; **emissões de CO₂ decorrentes do transporte** de materiais; **geração de resíduos e emissões**, incluindo destinação de RCD, **reúso e reciclagem**); (3) qualidade do ambiente interno (conforto térmico do ambiente interno; **qualidade do ar interno**). Os itens marcados em negrito são os de interesse para a seleção de materiais.

Para a definição destes critérios, foram considerados impactos ambientais e seus fatores de caracterização: mudança climática (fator de caracterização: emissões de CO₂); depleção de recursos abióticos (uso de recursos minerais e de combustíveis fósseis e reúso/reciclagem de resíduos); depleção de recursos bióticos (uso de madeira de reflorestamento, certificada e alternativa); qualidade do ambiente interno (resistência térmica); toxicidade ao homem (emissões de VOCs e formaldeído); toxicidade ao ecossistema (emissão de resíduos tóxicos); degradação do ambiente (disposição de resíduos inertes).

O autor reconhece a dificuldade de aplicação de um sistema de avaliação no Brasil no cenário

atual, por falta de informações, rotinas e conhecimento dos profissionais da área para lidar com questões de sustentabilidade.

Como se observa pelos trabalhos já realizados no Brasil e pelo próprio desenvolvimento do projeto FINEP no qual este relatório está incluído, ainda não há rotinas consolidadas e testadas de seleção de materiais por critérios de sustentabilidade implantadas no país, embora alguns pesquisadores tenham avançado no estudo desta questão.

3.2 Critérios sociais

As iniciativas de promoção da responsabilidade social no setor empresarial, citadas no item 2.2, ainda não se consolidaram no país a ponto de derivar sistemas de seleção de produtos para a construção civil pelo critério de sustentabilidade social.

Um fator que dificulta a seleção de materiais por este critério é a ausência de informação sobre o grau de responsabilidade ambiental e social dos fornecedores de materiais, como já tratado anteriormente neste documento. Assim, projetistas e construtores que queiram evitar a aquisição de materiais de fornecedores que operam de forma irregular e sem respeito aos direitos dos trabalhadores e de comunidades locais, dificilmente conseguirão fazê-lo.

3.3 Custo

As análises de custo de edificações no Brasil priorizam os custos de implantação, utilizados como base para análises de viabilidade comercial do lançamento de empreendimentos imobiliários. A maioria dos incorporadores, construtores e usuários não consideram os custos de uso, manutenção, demolição e destinação de resíduos nas análises de viabilidade de edificações habitacionais.

Ultimamente, tem crescido a preocupação ambiental na sociedade brasileira e, neste cenário, observam-se ações no sentido de diminuir os custos de uso e manutenção de edificações, através da racionalização do uso de energia e água, buscando a minimização dos custos operacionais. Entretanto, este esforço se dá principalmente na especificação dos tipos de materiais a utilizar e não na seleção de materiais de mesmo tipo.

SILVA (1996) aborda o tema da escolha de alternativas tecnológicas para a produção de edificações pelo critério de custos ao longo da vida útil e reconhece a predominância do uso dos custos iniciais nas análises realizadas em situações práticas, em detrimento dos custos durante o uso e pós-uso. Para que esta abordagem global dos custos seja adotada no país, é necessária uma consolidação da compreensão dos impactos econômicos associados aos materiais ao longo do ciclo de vida da edificação. Isso ajudaria a tornar a análise dos custos globais um requisito dos clientes, com reflexos na atuação de projetistas e construtores.

4. Metodologias de avaliação

Apresentam-se a seguir informações sobre a presença de critérios, nas metodologias de avaliação, relacionados à seleção de materiais.

4.1 Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM)

Nos nove grupos de critérios do BREEAM (gestão; saúde e conforto; energia; transporte; água; materiais; uso do solo; ecologia local; poluição) há vários critérios relacionados à seleção de materiais. Um deles refere-se ao **uso de materiais com baixa energia incorporada e baixa emissão de CO₂**, em que este fator é avaliado durante o ciclo de vida dos materiais. Outros critérios também relacionados a emissões são: **uso de materiais com baixa emissão de compostos orgânicos voláteis, como tintas e acabamentos de piso; e uso de materiais com baixa emissão compostos danosos à camada de ozônio, como CFC, HCFC e halons.**

O sistema apresenta critério de caráter geral e que considera múltiplos fatores ambientais: escolha de materiais e componentes com baixo impacto ambiental, em que a caracterização ambiental dos materiais pode ser realizada conforme o documento *Post Office/BRE Green Guide to Material Specification*, que considera aspectos como: energia incorporada; emissões; consumo de matérias-primas; reciclagem; toxicidade. Estes aspectos são considerados na extração de matéria-prima, na produção e no transporte dos materiais.

Outros critérios relacionados à seleção de materiais são: **uso de materiais de fornecedores locais**, para redução dos impactos ambientais do transporte; **uso de materiais de fontes responsáveis**, englobando madeira, blocos, tijolos, painéis, tintas, etc., cujos produtores e fornecedores devem ser regulamentados e em cuja produção devem ser observados cuidados na preservação ambiental; **uso de materiais com resíduos reciclados; Reúso de materiais e componentes**, principalmente madeira e peças estruturais e de elementos de fachadas.

4.2 Building Research Establishment - EcoHomes (BRE EcoHomes)

O método inglês BRE EcoHomes (BRE, 2005; 2006) contém sete grupos de critérios: energia; transporte; poluição; materiais; água; uso do solo e ecologia; saúde e bem-estar. Na versão válida a partir de abril de 2006, inclui-se um oitavo grupo: gestão.

Com relação à seleção de materiais, no grupo poluição há critério relacionado à aplicação de materiais isolantes com baixa emissão de substâncias danosas à camada de ozônio ou que não contribuam significativamente para o aquecimento global.

Os materiais listados são os de vedação, cobertura, piso e materiais dos sistemas de aquecimento de água e isolamento térmica. Para demonstrar que os materiais usados atendem às especificações, são aceitos certificados como os da *British Board of Agrément* (BBA). Os exemplos citados de **materiais que não atendem a este critério são**: espumas de poliuretano, policianuretos, polistireno e outros. São apresentados como exemplos de **materiais que, em geral, atendem a**

este critério: fibras minerais, fibra de vidro, cortiça, polistireno expandido, isolações de celulose, placas de madeira, jornal reciclado, juta.

No **grupo materiais** há outros critérios diretamente relacionados à seleção de materiais. Um deles é uso de **madeira certificada** em elementos construtivos primários (vedações, pisos, cobertura, escadas, forração e outros elementos de grande porte) e secundários (janelas, portas, guarda-corpos, móveis, etc.). Na nova versão do BRE EcoHomes, este critério foi inserido no critério uso de material básico de fontes responsáveis. Este outro critério (**uso de material básico de fontes responsáveis**) avalia materiais para uso em estrutura, pisos, cobertura, paredes externas e internas, fundações, escadas (exemplos: tijolos, compósitos, concreto, vidro, plástico, metais, pedra e madeira). Os materiais devem ser obtidos ou produzidos legalmente e com responsabilidade ambiental. Este critério é apontado com um dos que apresentam considerável complexidade, envolvendo aspectos ambientais, políticos, econômicos e sociais. Para avaliar o atendimento a este critério, pode-se utilizar sistemas de avaliação de instituições como Forest Stewardship Council (FSC), Canadian Standard's Association (CSA), Sustainable Forestry Initiative (SFI), Programme for the Endorsement of Forestry Certification (PEFC) e outros.

O sistema utiliza também o critério uso de **materiais com baixo impacto ambiental**, em que é considerado todo o ciclo de vida dos materiais. Há pontuação específica para o uso de pelo menos 80% de materiais classificados no Green Guide for Housing Specification, do Building Research Establishment, nos elementos: cobertura, paredes externas e internas, pisos, janelas, pavimentos externos, etc. Os critérios de classificação dos materiais incluem: consumo de matérias-primas; uso de materiais renováveis; toxicidade; energia incorporada; durabilidade; impactos da demolição e descarte no fim da vida útil.

Finalmente, no grupo gestão, o critério **impactos do local de construção** estimula o reúso de madeira, que é um fator auxiliar na obtenção de pontos.

4.3 Leadership in Energy & Environmental Design (LEED)

O sistema norte-americano LEED® permite a avaliação de edifícios comerciais por cinco grupos de critérios: sítios sustentáveis; eficiência no uso da água; energia e atmosfera; materiais e recursos; qualidade ambiental de interiores (USGBC, 2000).

No grupo **materiais e recursos** há critérios específicos de seleção de materiais. Um deles é reúso, que estimula a reutilização de elementos construtivos de edifícios reformados, como: estruturas, fachadas, vedações, pisos, coberturas. É estabelecida pontuação para aplicação de 5% e 10% de materiais reusados na edificação.

Outro critério é **materiais e componentes com incorporação de materiais reciclados**, que estimula a aplicação de materiais contendo 20% de resíduos pós-consumo ou 40% de resíduos industriais. Há pontuação para as presenças de 25% e 50% de materiais com resíduos incorporados no total dos materiais usados na edificação.

O critério **uso de materiais locais**, visa à diminuição dos impactos ambientais do transporte e para melhoria da economia local. Definem-se pontuações para aplicação 20% e 50% de materiais extraídos ou produzidos em uma distância de até 800 km.

Há dois critérios que tratam do uso de recursos renováveis: **uso de materiais de rápida**

renovação, com pontuação para o uso de no mínimo 5% de materiais de rápida renovação e cujos manejo e extração causem baixos impactos ambientais como perda de biodiversidade, poluição atmosférica, erosão do solo, etc.; e **uso de madeira certificada**, que estabelece pontuação para aplicação de pelo menos 50% de madeira certificada conforme diretrizes do Forest Stewardship Council (FSC), em serviços como: estrutura, pisos, acabamentos, fôrmas de concreto, guarda-corpos, etc.

No grupo **qualidade ambiental de interiores**, há pontuação específica para aplicação de materiais com baixa emissão de compostos orgânicos voláteis: adesivos, selantes, tintas, coberturas, produtos compostos de madeira e carpetes. Para cada tipo de material são apresentados documentos de referência em que são estabelecidos limites de emissão, como: VOC limits of *South Coast Air Quality Management District Rule #1168*; *Green Seal requirements*; *Carpet and Rug Institute Green Label Indoor Air Quality Test Program*.

4.4 LEED® for Homes

O sistema norte-americano LEED® for Homes contém oito grupos de critérios de avaliação de edificações habitacionais: localização e integração; sustentabilidade do sítio; eficiência no uso da água; qualidade ambiental de interiores; materiais e recursos; energia e atmosfera; conscientização dos proprietários; inovação e processo de projeto (USGBC, 2005). Em vários destes grupos há referências a materiais, embora em alguns casos estas referências tratem de **especificação e aplicação de materiais e componentes**.

No grupo **qualidade ambiental de interiores**, o critério relevante para a seleção dos materiais é o **controle da contaminação**, em que é recomendado o uso de produtos com baixa emissão de compostos orgânicos voláteis.

O grupo **materiais e recursos** é o mais relevante para a seleção de materiais, contendo critérios que tratam diretamente do tema. Um deles é **fornecedores locais** e, para pontuar neste critério, a edificação avaliada deve utilizar materiais produzidos num raio de 800 km do local de construção. São considerados os materiais: agregados, cimento, portas, estrutura, placas de gesso, alvenaria, madeira, forração, paredes externas, piso, cobertura, isolantes, janelas e outros.

O sistema apresenta critério de caráter geral e que considera múltiplos fatores: **produtos ambientalmente preferíveis**. Neste critério, é obrigatório o uso de madeira certificada de acordo com as exigências do Forest Stewardship Council (FSC). Outras ações são opcionais e contam pontos, todas relativas ao uso de produtos ambientalmente preferíveis listados e que apresentam, em geral, um ou mais dos seguintes atributos: uso de madeira certificada; incorporação de resíduos reciclados, de produtos biológicos e resíduos de agricultura; baixa emissão de compostos orgânicos voláteis. Exemplos destes materiais são: móveis, pisos, isolações, tintas com baixa emissão de compostos orgânicos voláteis; elementos de piso e forração com madeira certificada; elementos de piso, revestimento, isolamento com carpete e outros materiais reciclados, com bambu, linóleo, etc.

O sistema contém também critério associado à existência de **plano de durabilidade**. O objetivo deste critério é prevenir a redução da durabilidade da edificação pela presença de água nas superfícies e no solo. Embora o objeto de análise seja o sistema construtivo como um todo, a

escolha de materiais que permitam ao sistema alcançar a durabilidade desejada é fator fundamental no processo. São estabelecidos pontos diferentes para zonas secas, normais e úmidas.

4.5 Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency (CASBEE)

O sistema CASBEE avalia as edificações em vários estágios, desde o projeto até a ocupação, com base em sete grupos de critérios: ruído e acústica; ambiente interno; qualidade dos serviços; ambiente externo no terreno; energia; recursos e materiais; ambiente fora do terreno.

No grupo ambiente interno, subitem qualidade do ar, há critério específico para seleção de materiais com baixa emissão de compostos orgânicos voláteis, cuja lista é apresentada no documento *Building Standards Law*.

No grupo **qualidade dos serviços**, subitem **durabilidade e confiabilidade**, há critérios de seleção de materiais com base na vida útil estimada. É apresentada, nos anexos, tabela com vida útil de referência para vários materiais, cuja fonte é o documento “*Survey report on service lives of building structural elements, components and other elements*” do Building and Equipment Live Cycle Association (1988).

No grupo **recursos e materiais**, há critérios específicos de seleção de materiais, voltados à aplicação de materiais com baixa carga ambiental. Um deles é **uso de materiais reciclados**, em que são listados: uso de aço de forno de arco elétrico em elementos estruturais; uso de cimento com escória de alto-forno e de agregados reciclados em concretos estruturais; uso de tijolos com incorporação de lodo de estações de tratamento de esgoto; uso de filmes impermeabilizantes contendo resíduos de vidro; uso de asfalto e materiais impermeabilizantes contendo pneus; uso de tintas, materiais de isolamento acústica e revestimento de piso contendo resíduo de vidro; uso de outros materiais para isolamento, acabamento, decoração e pavimentação contendo resíduos de poliestireno expandido, de resina de polipropileno, de pneus, de vidro, de incineradores de resíduos urbanos, de madeira de demolição, de plástico.

Outro critério importante é uso de **materiais com baixo risco à saúde**, que estabelece pontuação para a não-utilização de materiais emissores de substâncias danosas à saúde apresentados na Pollutant Release and Register Transfer Law, que em que são listados: adesivos, selantes, materiais para impermeabilizações, tratamentos anticorrosivos, revestimento de piso e preservativos. Algumas das substâncias danosas consideradas são: VOCs (benzeno, tolueno, xileno, etc.); organoclorados (dioxinas, tricloroetileno, etc.); agrotóxicos; metais pesados (chumbo, estanho, etc.); substâncias redutoras da camada de ozônio (CFC, HCFC, etc.); outros (amianto, etc.).

Outros critérios relacionados à seleção de materiais são: **uso de madeira de fontes de exploração sustentável**, com pontuação variando conforme a porcentagem de uso, na edificação, de madeira explorada de forma sustentável; uso de materiais com baixa emissão CFC e halons: retardadores de fogo e isolantes; e reuso de materiais, em que se estimula a reutilização e reciclagem de materiais e componentes de edificações demolidas, para aplicação em fundações, estrutura, vedações da nova edificação.

4.6 NF Bâtiments Tertiaires – Démarche HQE Bureau et Enseignement

Neste método são considerados 14 categorias de preocupação ambiental: relação do edifício com seu ambiente imediato; escolha integrada de produtos, sistemas e processos de construção; canteiro de baixo impacto ambiental; gestão de energia; gestão de água; gestão de resíduos do uso; manutenção – extensão do desempenho ambiental; conforto higrotérmico; conforto acústico; conforto visual; conforto olfativo; qualidade sanitária dos espaços; qualidade sanitária do ar; qualidade sanitária da água.

A categoria escolha integrada de produtos, sistemas e processos de construção contém recomendações relacionadas à seleção de materiais, como: (1) avaliação da contribuição dos produtos à durabilidade e adaptabilidade do edifício; (2) avaliação da facilidade de manutenção; (3) avaliação dos impactos ambientais e sanitários dos materiais.

Para avaliação destes fatores, pode-se utilizar os documentos “*Norme NF P-01-010 - Information sur les caractéristiques environnementales des produits de construction*”; “*Norme ISO 15686 – Bâtiments et biens immobiliers construits – prévision de la durée de vie*”; “*Guidance paper F - Durability and the construction products directive, disponibles do site: (<http://europa.eu.int/comm/enterprise/construction/internal/guidpap/f.htm>)*”.

Na avaliação dos impactos ambientais, são considerados: conteúdo energético do edifício; conteúdo de materiais do edifício; contribuições para o efeito estufa; acidificação da atmosfera; resíduos sólidos.

Na avaliação das características sanitárias dos materiais são considerados: emissões de poluentes químicos e de odores; facilidade de criação de fungos e bactérias; outros. Esta avaliação é realizada principalmente para materiais isolantes térmico e acústicos, e revestimentos de interiores. Estes mesmos materiais são objetos de análise nas categorias **conforto olfativo e qualidade sanitária dos espaços**, que visam à minimização dos odores desagradáveis na edificação, incluindo os provenientes dos materiais de construção.

Na categoria **qualidade sanitária da água** há exigências relativas à escolha de materiais para as instalações, priorizando-se os que não emitam poluentes na água ou que tenham bom desempenho e durabilidade, mantendo assim a estanqueidade do sistema por mais tempo.

4.7 H&E – Certification Habitat & Environnement

Este sistema baseia a avaliação em sete categorias: gestão ambiental do empreendimento; canteiro de obra limpo; energia e redução do efeito estufa; cadeia produtiva /escolha de materiais; água; conforto e saúde; gestos verdes.

Para a seleção de materiais, a categoria mais significativa é cadeia produtiva/escolha dos materiais, que contém recomendações relativas à contribuição dos materiais para a durabilidade do edifício e às características ambientais dos materiais.

Para esta, é recomendado o uso do documento “*Norme NF P-01-010 - Information sur les*

caractéristiques environnementales des produits de construction”.

As avaliações consideram o ciclo de vida dos produtos, da extração dos materiais à produção dos componentes e elementos construtivos, passando pelos impactos no transporte até a destinação dos resíduos no fim de vida. Alguns impactos considerados são: conteúdo energético; consumo de água; resíduos sólidos; mudanças climáticas; acidificação; poluição do ar e da água; destruição da camada de ozônio. Dentre os critérios para avaliação ambiental dos materiais encontram-se: utilização de materiais renováveis, como madeira; utilização de produtos reciclados. Outros critérios de escolha dos materiais é o nível de emissão de produtos químicos danosos, como compostos orgânicos voláteis, radon e fibras minerais.

4.8 Green Building Challenge – GBTool

O método GBTool avalia o desempenho ambiental de edificações com base em sete grupos de critérios: uso de recursos; cargas ambientais; qualidade do ambiente interno; qualidade dos serviços; aspectos econômicos; gestão pré-ocupação; transporte. No grupo uso de recursos há critérios relativos à seleção de materiais. Um deles é **energia incorporada nos materiais**, observando-se que há uma carência de métodos de avaliação consolidados e consensuais sobre este assunto, o que introduz índice de incerteza significativo neste item.

As informações necessárias para a avaliação de energia incorporada em materiais podem ser obtidas nos programas Athena ou Eco-Quantum ou nas planilhas do GBTool.

Neste grupo há critérios relacionados a reúso e reciclagem de materiais, como: **reúso de materiais** estruturais e não estruturais e provenientes do próprio local ou de outras obras (porcentagem da massa total); e **conteúdo de materiais reciclados**, que considera o teor de material reciclado em materiais e componentes - os materiais reciclados podem ser pós-consumo ou resíduos industriais.

Outro critério importante contido no grupo uso de recursos é **uso de madeira certificada** em estrutura, pisos, acabamentos, etc. A certificação deve ser realizada com base em um sistema reconhecido de avaliação de práticas de exploração florestal.

No grupo **cargas ambientais**, há critério relacionado a emissões: **emissões de gases do efeito estufa incorporadas nos materiais** durante a produção, provenientes da queima de combustíveis fósseis, calcinação na produção de cimento e de outras fontes. Sobre este critério, o GBTool apresenta a observação da ausência de método de avaliação consolidado e consensual, o que introduz índice de incerteza significativo neste item. As informações necessárias para a avaliação deste critério podem ser obtidas nos programas Athena ou Eco-Quantum, ou em outras fontes. Neste grupo há também o critério **uso de materiais com baixa emissão de compostos danosos à camada de ozônio**, como CFC, HCFC e halons.

No grupo **qualidade do ambiente interno**, o critério relativo a seleção de materiais é controle da poluição: considera-se a aplicação de materiais contendo amianto ou outras fibras minerais passíveis de liberação no ambiente interno, como os materiais isolantes acústicos e térmicos. Considera-se também o uso de materiais poliméricos, ou contendo solventes ou plastificantes, que podem liberar compostos orgânicos voláteis, como: tintas, adesivos, acabamentos de piso, produtos de manutenção e limpeza, outros.

4.9 Síntese da abordagem da seleção de materiais nos sistemas de avaliação

Tabela 12 - Participação da seleção de materiais nos sistemas analisados

Sistema	Porcentagem aproximada dos pontos da Seleção de Materiais no total do sistema
BREEAM	10%
BRE EcoHomes	29%
LEED®	17%
LEED® for homes	12%
CASBEE	25%
NF Batiment Tertiaires	< 10%
H&E – Certification Habitat & Environnement	< 15%
GBTool- Green Building Challenge	8%

A Tabela 13 a seguir, apresenta a síntese dos critérios de sustentabilidade estudados – critérios ambientais, sociais e econômicos - nos seguintes sistemas internacionais analisados:

- BREEAM
- BRE EcoHomes
- LEED®
- LEED® for homes
- CASBEE
- NF Batiment Tertiaires
- H&E – Certification Habitat & Environnement
- GBTool – Green Building Challenge

Tabela 13 (próxima página) - Síntese dos critérios de sustentabilidade nos sistemas analisados

CRITÉRIOS	BREEAM	BRE EcoHomes	LEED®	LEED for homes	CASBEE	HQE	H&E	GBTTool
CRITÉRIOS AMBIENTAIS								
Uso de recursos naturais	<p>Materiais e componentes com baixo impacto ambiental</p> <p>Uso de materiais de fontes responsáveis</p> <p>Uso de materiais com resíduos reciclados</p> <p>Reúso de materiais e componentes</p>	<p>Reúso de madeira</p> <p>Uso de materiais com baixo impacto ambiental</p>	<p>Reúso de materiais</p> <p>Uso de materiais e componentes com incorporação de materiais reciclados</p> <p>Uso de madeira certificada</p> <p>Uso de materiais de rápida renovação</p>	<p>Uso de materiais com durabilidade adequada</p> <p>Uso de produtos ambientalmente preferíveis</p>	<p>Seleção de materiais com base na vida útil estimada</p> <p>Uso de materiais reciclados</p> <p>Uso de madeira de fontes de exploração sustentável</p> <p>Reúso de materiais</p>	<p>Avaliação da contribuição dos produtos à durabilidade e adaptabilidade do edifício</p> <p>Avaliação do conteúdo de materiais do edifício</p>	<p>Contribuição dos materiais para a durabilidade do edifício</p> <p>Características ambientais dos materiais</p>	<p>Reúso de materiais</p> <p>Conteúdo de materiais reciclados</p> <p>Uso de madeira certificada</p>
Impactos da extração de recursos	<p>Escolha de materiais e componentes com baixo impacto ambiental</p> <p>Uso de materiais de fontes responsáveis</p>	<p>Uso de material básico de fontes responsáveis</p> <p>Uso de materiais com baixo impacto ambiental</p> <p>Uso de madeira certificada</p>	<p>Uso de madeira certificada</p>	<p>Uso de produtos ambientalmente preferíveis</p>	<p>Uso de madeira de fontes de exploração sustentável</p>		<p>Características ambientais dos materiais</p>	<p>Uso de madeira certificada</p>
Conteúdo energético	<p>Uso de materiais com baixa energia incorporada</p>	<p>Uso de materiais com baixo impacto ambiental</p>	<p>Uso de materiais locais</p>	<p>Uso de produtos ambientalmente preferíveis</p>		<p>Avaliação do conteúdo energético do edifício</p>	<p>Características ambientais dos materiais</p>	<p>Energia incorporada nos materiais</p>
Conteúdo de material reaproveitado	<p>Escolha de materiais e componentes com baixo impacto ambiental</p> <p>Uso de materiais com resíduos reciclados</p> <p>Reúso de materiais e componentes</p>	<p>Reúso de madeira</p> <p>Uso de materiais com baixo impacto ambiental</p>	<p>Reúso de materiais</p> <p>Uso de materiais e componentes com incorporação de materiais reciclados</p>	<p>Uso de produtos ambientalmente preferíveis</p>	<p>Uso de materiais reciclados</p> <p>Reúso de materiais</p>		<p>Características ambientais dos materiais</p>	<p>Reúso de materiais</p> <p>Conteúdo de materiais reciclados</p>
Uso de materiais locais	<p>Uso de materiais de fornecedores locais</p>		<p>Uso de materiais locais</p>	<p>Fornecedores locais</p>				

Tabela 13 (continuação)

CRITÉRIOS	BREEAM	BRE EcoHomes	LEED®	LEED for homes	CASBEE	HQE	H&E	GBTool
CRITÉRIOS AMBIENTAIS								
Uso de materiais renováveis	Escolha de materiais e componentes com baixo impacto ambiental	Uso de materiais com baixo impacto ambiental	Uso de materiais de rápida renovação	Uso de produtos ambientalmente preferíveis			Características ambientais dos materiais	
Resíduos e emissões industriais	Escolha de materiais e componentes com baixo impacto ambiental	Uso de material básico de fontes responsáveis Uso de materiais com baixo impacto ambiental		Uso de produtos ambientalmente preferíveis		Avaliação da acidificação da atmosfera Avaliação da geração de resíduos sólidos	Contribuição dos materiais para a durabilidade do edifício	Emissões de gases do efeito estufa incorporadas nos materiais
Conteúdo de material reaproveitado	Uso de materiais com baixa energia incorporada Uso de materiais com baixa emissão de CO2 Uso de materiais com baixa emissão compostos danosos à camada de ozônio Uso de materiais de fornecedores locais Escolha de materiais e componentes com baixo impacto ambiental	Uso de materiais com baixo impacto ambiental Uso de materiais com baixa emissão de substâncias danosas à camada de ozônio ou que não contribuam para o aquecimento global	Uso de materiais locais	Fornecedores locais Uso de produtos ambientalmente preferíveis	Uso de materiais com baixa emissão de CFC e halons	Avaliação das contribuições para o efeito estufa	Características ambientais dos materiais	Energia incorporada nos materiais Uso de materiais com baixa emissão de compostos danosos à camada de ozônio Emissões de gases do efeito estufa incorporadas nos materiais
Potencial de reaproveitamento	Escolha de materiais e componentes com baixo impacto ambiental Uso de materiais com resíduos reciclados Reuso de materiais e componentes	Reúso de madeira Uso de materiais com baixo impacto ambiental	Reúso de materiais Uso de materiais e componentes com incorporação de materiais reciclados	Uso de produtos ambientalmente preferíveis	Uso de materiais reciclados Reúso de materiais		Características ambientais dos materiais	Reúso de materiais Conteúdo de materiais reciclados

Tabela 13 (continuação)

CRITÉRIOS	BREEAM	BRE EcoHomes	LEED®	LEED for homes	CASBEE	HQE	H&E	GBTTool
CRITÉRIOS AMBIENTAIS								
Qualidade do ambiente interno	Uso de materiais com baixa emissão de compostos orgânicos voláteis Escolha de materiais e componentes com baixo impacto ambiental		Uso de materiais com baixa emissão de compostos orgânicos voláteis	Uso de produtos ambientalmente preferíveis	Uso de materiais com baixa emissão de compostos orgânicos voláteis Uso de materiais com baixo risco à saúde	Avaliação dos impactos ambientais e sanitários dos materiais Avaliação das características sanitárias dos materiais	Características ambientais dos materiais	Uso de materiais com baixa emissão de fibras minerais e de compostos orgânicos voláteis
CRITÉRIOS SOCIAIS								
Extração de recursos e manufatura	Uso de materiais de fornecedores locais	Uso de material básico de fontes responsáveis Uso de madeira certificada	Uso de madeira certificada Uso de materiais locais	Fornecedores locais	Uso de madeira de fontes de exploração sustentável			Uso de materiais com uso de madeira certificada
CRITÉRIOS ECONÔMICOS								
Custos de ciclo de vida								

Tabela 13 (continuação)

5. Considerações finais

A seleção de materiais é uma parte dos sistemas de avaliação da sustentabilidade de edificações internacionais e sua participação varia consideravelmente de um sistema para outro, conforme as agendas ambientais dos países em que os sistemas são usados.

Alguns critérios podem ser apontados como os mais comuns nos sistemas de avaliação analisados, como: impactos na extração de recursos; energia incorporada; conteúdo de material reaproveitado; emissões de gases do efeito estufa e/ou destruidores da camada de ozônio; qualidade do ambiente interno. Entretanto, nem todos os sistemas adotam os critérios de forma específica e bem definida. Em alguns, há critérios de caráter geral incentivando o uso de materiais com baixo impacto ambiental, e a caracterização dos impactos, nestes casos, envolve aspectos variados de uso de recursos e emissões e resíduos.

Considerando a elaboração de sistema de avaliação de sustentabilidade de edificações válido no Brasil, pode-se concluir que alguns critérios ambientais podem ter reflexos na concepção de critérios sociais e econômicos. Por exemplo, critérios de incentivo ao uso de materiais locais ou de fontes responsáveis podem ter como consequência o fortalecimento de economias locais e melhorias nas condições de trabalho em alguns setores de produção de materiais de construção, como extração de madeira e produção de componentes para alvenaria. O critério de uso de materiais renováveis, associado ao critério de uso de materiais de fontes responsáveis, pode ajudar a disciplinar o setor de exploração de madeira no país, com reflexos positivos na área ambiental, social e econômica.

Com a análise ambiental dos materiais no ciclo de vida, é provável que o próprio edifício passe a ser considerado ao longo do processo que vai da concepção à demolição. Esta mudança de compreensão da edificação pode ser um fator auxiliar no convencimento dos agentes envolvidos na concepção e uso da edificação, para considerar os custos do ciclo de vida nas análises econômicas.

Estas sobreposições e sinergias são importantes para a inserção de aspectos sociais e econômicos em sistemas de avaliação brasileiros.

Uma das conclusões da análise das informações contidas neste documento é que a seleção de materiais ambientalmente preferíveis deverá ser inserida paulatinamente em sistemas de avaliação da sustentabilidade de edificações nacional. O motivo disso é que critérios importantes de sustentabilidade não poderão ser utilizados em curto prazo, por ausência de informações e de referencial teórico, ou por desorganização de frações importantes do setor de construção, como o de mineração e extração de madeira.

A análise dos sistemas, cujos resultados são mostrados neste documento, permitiu uma compreensão satisfatória dos critérios que podem compor um sistema de avaliação nacional e das fragilidades e problemas no uso de cada critério. Estas informações servirão de base para as próximas etapas do trabalho, de proposição de um sistema de avaliação brasileiro.

Referências bibliográficas

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.116**: agregados de resíduos sólidos da construção civil: utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural:- requisitos. Rio de Janeiro, 2004
- ABREA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS EXPOSTOS AO AMIANTO. **Informações sobre a luta pelo banimento do amianto e pela reparação aos crimes cometidos contra os trabalhadores expostos no local de trabalho**: informações atualizadas. Osasco: 2004. Disponível em: <http://www.abrea.com.br/01informacoes.htm>. Acesso em: 10 jan. 2005
- AMBIENTE BRASIL. **Consumo Industrial de Madeira no Brasil**. Curitiba, 2000. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=/florestal/index.html&conteudo=/florestal/consumo.html>. Acesso em: 25 set. 2004
- AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE. **Steel industry technology roadmap**. 2001. Disponível em: <http://www.steel.org>. Acesso em: 8 dez. 2005
- ANDERSSON, M.; OTTESEN, R.T; VOLDEN, T. Building materials as a source of PCB pollution in Bergen, Norway. **Science of the Total Environment**. 35(1-3), junho 2004, pp 139-144
- ANDRADE, A.; ERBE, M. Riscos ambientais associados ao co-processamento de materiais secundários em fornos de clinquerização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 5., 1996, São Paulo. **Anais...**São Paulo: ABCP, 1996
- ANGULO, S.C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005
- BARRETO, M.L. **Os atuais desafios no gerenciamento dos recursos não renováveis: instrumentos econômicos/legais**. Rio de Janeiro: CETEM/IMAAC, 2000. Disponível em: <http://200.20.105.7/imaac/reports.html> >. Acesso em: 16 nov. 2004
- BALDWIN, R.; YATES, A.; HOWARD, N.; RAO, S. **BREEAM 98 for offices**. An environmental assesment method for office buildings. BRE Report. Garston, CRC. 1998. 36pp
- BOLSA DE RESÍDUOS. **Resíduos disponíveis**. 2005. Disponível em: http://www.bolsaderesiduos.org.br/bolsa/u_rd_lista.php. Acesso em 9 dez. 2005
- BORGES, F.J. **Inventário do ciclo de vida do PVC produzido no Brasil**. 2004. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004
- BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Sumário Mineral 2005**: Apresentação. Brasília, 2005b. Disponível em: http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=536>. Acesso em: 8 dez. 2005
- BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. ELETROBRÁS. **Balço Energético Nacional (BEM)**. Brasília, 2003. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/sen/ben/ben.html>. Acesso em: 3 ago. 2004.

- BRE - BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. THE ENVIRONMENTAL ASSESSMENT CONSORTIUM. **Providing a full range of BREEAM consultancy services for new & existing buildings**. 2005a. Disponível em: <http://www.breeam.com>. Acesso em: 9 dez. 2005.
- _____. **ENVEST**. 2005b. Disponível em: <http://investv2.bre.co.uk>. Acesso em 9 dez. 2005.
- _____. **EcoHomes 2006**. The environmental rating system for homes. The guidance – 2006/issue1.2. BRE, Garston, 2006, Issue 1.2. 166pp
- _____. **EcoHomes 2005**. The environmental rating system for homes. The guidance – 2005/issue1.1. BRE, Garston, 2005, Issue 1.1. 116pp
- BRINGEZU, S.; SCHUTZ, H. **Total material requirement: the European Union**. 2001 (EEA Technical Report, n. 55). Disponível em: <http://reports.eea.eu.int>. Acesso em: jan. 2005.
- BRINGEZU, S.; SCHUTZ, H.; STEGER, S.; BAUDISCH, J.. International comparison of resource use and its relation to economic growth – The development of total material requirement, direct material inputs and hidden flows and the structure of TMR. **Ecological Economics**, v. 51, p. 97-124, 2004.
- BUHÉ et al. Integration of the recycling processes to the life cycle analysis of construction products. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 20, p. 227-243, 1997
- CAMARGOS, M.F.D.; BRANCO, L.A.M.N. Sustentabilidade e flexibilidade aplicadas ao retrofit. In: i CONGRESSO MATOGROSSENSE DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL. **Anais**. CEFETMT/UFMT. Cuiabá, 2005. p. 171-176
- CARVALHO, J. **Análise de Ciclo de Vida ambiental aplicada a construção civil**: estudo de caso: comparação entre cimentos Portland com adição de resíduos. 2002. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002
- CIB - INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION. **Agenda 21 on sustainable construction**. Rotterdam, 1999.
- _____. **Working with the Performance Approach in Building**. Rotterdam, 1982.
- CLEVELAND, C. J.; RUTH, M. **Indicators of Dematerialization and the Materials Intensity of Use**: A Critical Review with Suggestions for Future Research. Amsterdam: Center for Energy and Environmental Studies and Department of Geography; Boston University, 1998
- COLE, R. J.; LARSON, N. Green Building Challenge 2002. GBTool user manual. iiSBE (International Initiative for a Sustainable Building Environment), 2002. 75pp
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n.º 307. 2002**. Brasília, 05 jul 2002a. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>.
- _____. **Resolução n.º 313. 2002**. Brasília, 28 out. 2002b. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res31302.html>.
- CORTEZ-BARBOSA, J.; INO, A. Madeira, material de baixo impacto ambiental na construção: análise do ciclo de vida. In: ENCONTRO NACIONAL E ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2., 2001, Canela. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2001
- DORSTHORST, B. J. H.; KOWALCZYK, T. Re-use of apartment buildings: a case study. In: CHINI (ed.). **Deconstruction and Materials Reuse: Technology, Economic, and Policy**. CIB, Wellington, 2001

- ECONOMIA E ENERGIA (ONG). Emissões de gases de efeito estufa na produção e no uso do carvão vegetal. **Economia e Energia**, n. 20, mai./jun., 2000. Disponível em: <http://ecen.com/eee20/emiscarv.htm>. Acesso em: 26 set. 2004
- EDWARDS, S.; BARTLETT E.; DICKIE I. Whole life costing and life-cycle assessment for sustainable building design. **BRE digest**, n. 446, 2000
- EEA - EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Comparing Environmental Impact Data on Cleaner Technologies**: Technical Report no 1. Copenhagen, 1997. Disponível em: <http://reports.eea.eu.int/TEC01/en/4.html#4.2>. Acesso em: 02 ago. 2004
- EMMANUEL, R. Estimating the environmental suitability of wall materials: preliminary results from Sri Lanka. **Building and Environment**, v. 39, n. 10, p. 1253-1261, 2004
- ERLANDSSON, M; BORG, M. Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services—today practice and development needs. **Building and Environment**, v. 38, n. 7, p. 919-938, 2003
- ETHOS. **Indicadores ETHOS de Responsabilidade Social Empresarial**. 2005
- EUROPA. **Estratégia para a utilização sustentável dos recursos naturais**. 2005. Disponível em: <http://europa.eu.int/scadplus/leg/pt/lvb/l28150.htm>. Acesso em: 9 dez. 2005
- FERNÁNDEZ, L.; SOMARRIBA, P.; IRABIEN, A. Analysis of literature data from 3,000 cement/waste products. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE SCIENCE AND ENGINEERING OF RECYCLING FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION, 2000, Harrogate, England. **Proceedings...** Harrogate, 2000
- FILHO, A.C.C; CEA, A.A.; TORNEL, A.J.G. Sistemas construtivos: Aço x Concreto. Análises de seus impactos sobre o meio ambiente. In: IX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais**. ANTAC. Foz do Iguaçu, 2002. pp. 1815-1822
- FSC - CONSELHO BRASILEIRO DE MANEJO FLORESTAL. **Certificação** - Princípios e Critérios: Os 10 Princípios e Critérios. 2005. Disponível em: <http://www.fsc.org.br/index.cfm?fuseaction=conteudo&IDsecao=172>. Acesso em: 9 dez. 2005
- GIBBERD, J. **Integrating Sustainable Development into briefing and design processes of buildings in developing countries: an assessment tool**. 2003. Thesis (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Engenharia, ambiente construído e tecnologia de informação, Universidade de Pretória, Pretória, 2003
- GLUCH, P.; BAUMANN, H. The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making. **Building and Environment**, v. 39, n. 5, p. 571 – 580, 2004
- GRIGOLETTI, G.C. **Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha do estado do Rio Grande do Sul**. 2001. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001
- HALIM et al. Modelling the leaching of Pb, Cd, As, and Cr from cementitious waste using PHREEQC. **Journal of Hazardous Materials**, n. 125, p. 45-61, 2005
- HARTLÉN J. Environmental consequences of using residues. **Waste Management**, v. 16, n. 1-3, 1996

HEALTH CANADA. **Ottawa, Indoor Air Quality in Office Buildings: A Technical Guide.** Minister of National Health and Welfare, 1995

HERMAN, M. et al. **Integrated life cycle analysis.** Contribution to Building Research and Information. 1989

HAES, H.A.U.; JOLLIET, O.; FINNVEDEN, G.; HAUSCHILD, M.; KREWITT, W.; MÜLLER-WENK, R. Best Available Practice Regarding Impact Categories and Category Indicators in Life Cycle Impact Assessment: Background Document for the Second Working Group on Life Cycle Impact Assessment of SETAC-Europe (WIA-2). **International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 4, n. 2, p. 66-74, 1999

HORVATH, A. Construction Materials and the Environment. **Annual Review of Environment and Resources**, Palo Alto - US, v. 29, p. 181-204, 2004

HOWARD, N; EDWARDS, S; ANDERSON, J. **BRE methodology for environmental profiles of construction materials, components and buildings.** [S.l]: BRE, 1999

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVAVEIS. **Lista Oficial de Flora Ameaçada de Extinção.** (2004). Disponível em: <http://www2.ibama.gov.br/flora/extincao.htm>. Acesso em: 9 dez. 2005

IEA ANNEX 31. **Type of tools.** 2001a. Disponível em: < <http://annex31.wiwi.uni-karlsruhe.de/CONCEPTS.HTM>>. Acesso em 24 fev. 2004.

IEA ANNEX 31-ENERGY-RELATED ENVIRONMENTAL IMPACT OF BUILDINGS. **Directory of tools.** 2001b. Disponível em: < <http://annex31.wiwi.uni-karlsruhe.de/CONCEPTS.HTM>>. Acesso em 24 fev. 2004.

_____. **Environmental Framework.** 2001c. Disponível em: <<http://annex31.wiwi.uni-karlsruhe.de/CONCEPTS.HTM>>. Acesso em 24 fev. 2004.

iisBE- INTERNATIONAL INITIATIVE FOR A SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT **GB TOOL: Green Buildong Tool: GBT05 Demo.** Ottawa, 18 Aug. 2005. Disponível em: http://www.iisbe.org/down/gbc2005/GBtool_2k5_Demo_unlocked/. Acesso em 20: de jun. 2005

INTERNATIONAL PRIMARY ALUMINUM INSTITUTE. **Aluminium applications and society life cycle inventory of the worldwide aluminium industry with regard to energy consumption and emissions of greenhouse gases.** May., 2000

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Madeira: uso sustentável na Construção Civil.** São Paulo: IPT: SVMA: Sinduscon-SP, 2003. Disponível em: <http://www.sindusconsp.com.br/secao/secao.asp?area=Constru%E7%E3o+Sustent%E1vel&nu mpai=47&descpai=Meio+Ambiente>. Acesso em: 10 jan. 2005

ISAIA, G.C..A durabilidade do concreto de alto desempenho e o meio ambiente : um estudo sócio-econômico. Brasil - Salvador, BA. 1999.. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 41. **Anais.** Salva-dor, 1999

JIM, at al. Arsenic leachability and speciation in cement immobilized water treatment sludge. **Chemosphere**, v. 59, p. 1241-1247, 2005

JOHN, V.M. **On the sustainability of concrete.** UNEP Industry and Environment, Paris, v. 26, n. 2-3, p. 62-63, abr. 2003. Disponível em: <http://www.uneptie.org/media/review/archives.htm>. Aces-so em: 29 jun. 2004

- _____. **Reciclagem de resíduos na construção civil**: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 113 f. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000
- JOHN, V. M.; OLIVEIRA, D. P.; AGOPYAN, V. **Critérios de sustentabilidade para a seleção de materiais e componentes** – uma perspectiva para países em desenvolvimento. Departamento de engenharia Civil. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo (documento interno), 2006
- JONES, A. P. Indoor air quality and health. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 33, n. 28, p. 4535-4564, dez. 1999
- JSBC – JAPAN SUSTAINABILITY BUILDING CONSORTIUM. **Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency – CASBEE**. JSBC, Japão, 2002. 14pp
- KAMARA, J., ANUMBA, C., EVBOMWAN F. Establishing and processing client requirements: a key aspect of concurrent engineering in construction. **Engineering Construction and Architectural Management**, Bradford, v. 7, n. 1, p. 15-28, 2000
- KIBERT, C. J.; CHINI, A. R. **Overview of Deconstruction in Selected Countries**. CIB: Rotterdam, 2000
- KOTAJI, S.; SCHUURMANS, A.; EDWARDS, S. **Life-Cycle Assessment in Building and Construction**. Pensacola: SETACPRESS, 2003
- KRONKA, R.C. Arquitetura, sustentabilidade e meio ambiente. In: I ENCONTRO NACIONAL E I ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS. **Anais**. Canela, 2001, 6p
- KRÜGER, E.; LIMA, PR.; DUMKE, E.M.S. Análise do conteúdo energético de habitações implantadas na vila tecnológica de Curitiba. Brasil. Juiz de Fora, MG. In: IV Congresso de Engenharia Civil. 2000. **Anais**. v.2 p. 1221-1232
- LEBOW, B. et al. **Role of Construction Debris in Release of Copper, Chromium, and Arsenic From Treated Wood Structures**. Forest Products Laboratory, 2000
- LEEUW, B.. The World Behind the Product. **Journal of Industrial Ecology**, v. 9, n. 1-2, 2005
- LIMA, J. A. R.. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. 1999. Dissertação (mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 246p
- LIPPIATT, B. **BEES 3.0 – Building for environmental and economics sustainability**: technical manual and user guide. Gaithersborough: U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, 2002
- MACEDO et al. (2003). Environmental management in the Brazilian non-metallic small-scale mining sector. **Journal of Cleaner Production**, v. 11, p. 197-206, 2003
- MAGANHA, M.F.B.; KOMATSU, C.E. Pneus como alternativa energética. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 5., 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABCP, 1999
- MANFREDINI, C. **Impactos Ambientais Causados pelas Indústrias de Cerâmica Vermelha no Rio Grande do Sul**. 2003. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003
- MASCARÓ, J.L. **Consumo de energia e construção de edifícios**. Secovi, São Paulo, 1980

- MASTELLA, D.V. **Comparação entre os processos de produção de blocos cerâmicos e de concreto para alvenaria estrutural, através da análise do ciclo de vida**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002, 125p
- MOORS, E.H.M.; MULDER, K.F.; VERGRAGT, P.J. Towards cleaner production: barriers and strategies in the base metals producing industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 13, p. 657-668, 2005
- MORIGUCHI, Y. Recycling and waste management from the viewpoint of material flow accounting. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 1, p.2-9, 1999
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE. **Materials Count: the case for material flows analysis**. Washington, 2004. Disponível em: <http://www.nap.edu/books/0309089441/html/R1.html>. Acesso em: 10 dez. 2005
- NDIAYE, D.; BERNIER, M.; ZMEUREANU, R. Evaluation of the embodied energy in building materials and related carbon dioxide emissions in Senegal. In: WORLD SUSTAINABLE BUILDING CONFERENCE, 2005, Tokyo, **Proceedings**... Tokyo, 2005
- NGUYEN, T., MCKNIGHT, M. BYRD, W. **Development of a test method for leaching of lead from lead-based paints through encapsulants**. Department of Housing and Urban Development, Washington, NISTIR 5783, fevereiro, 1986, 39p.
- NIU, L.; BURNETT, J. Setting up the criteria and credit-awarding scheme for building interior material selection to achieve better indoor air quality. **Environment International**, New York, v. 26, n. 7-8, p. 573-580, jun. 2001
- OECD - ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Environmentally Sustainable Buildings: challenges and policies**. Paris: OECD, 2003. 196 p
- OERS, L. et al. **Dematerialisation for urban waste reduction: Effectiveness and side-effects**. Leiden: Centre of Environmental Science (CML), Leiden University, 2002
- OLESEN, B.W. International standards for the indoor environment. **Indoor Air**, v. 14, n. 7, p. 18-26, 2004
- OLIVEIRA, D.P. **Contribuições para a avaliação ambiental de subsistemas de cobertura em habitações de interesse social**. 2005. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005
- PETERSEN, A. K.; SOLBERG, B. Environmental and economic impacts of substitution between wood products and alternative materials: a review of micro-level analyses from Norway and Sweden. **Forest Policy and Economics**, v. 7, p. 249-259, 2005.
- PETERSEN, A. K.; SOLBERG, B. Greenhouse gas emissions, life-cycle inventory and cost-efficiency of using laminated wood instead of steel construction. Case: beams at Gardermoen airport. **Environmental Science & Policy**, v. 5, p. 169-182, 2002.
- PINTO, T.P. **Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. 1999. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999
- REICH, M.C. Economic assessment of municipal waste management systems—case studies using a combination of life cycle assessment (LCA) and life cycle costing (LCC). **Journal of Cleaner Production**, v. 13, n. xx, p. 253-263, 2005

- REIJNDERS, L.; ROEKEL, A. Comprehensiveness and adequacy of tools for the environmental improvement of buildings. **Journal of Cleaner Production**, v. 7, p. 221-225, 1999
- RODRIGUES, A.F.R.; MOREIRA, M.A.M. O Brasil mineral e o IDH-M: (PIB, CFEM, FPM). **Informe Mineral**, Brasília, v. 5, 2005. Disponível em:
<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=38>. Acesso em: 9 dez. 2005
- SANI, D.; MORICONI, G.; FAVA, G.; CORINALDESI, V. Leaching and mechanical behaviour of concrete manufactured with recycled aggregates. **Waste Management**, v. 25, p. 177-182, 2005
- SAVASTANO Jr., H. **Materiais à base de cimento reforçados com fibras vegetais: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo**. 2000. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- _____. Sistemas de cobertura para construções de baixo custo: uso de fibras vegetais e de outros resíduos agroindustriais. In: ROCHA, J. C.; JONH, V. M (Org.). **Utilização de Resíduos na Construção Habitacional**. Porto Alegre: ANTAC, 2003. p. 94-123.
- SBS – SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Estatísticas**: Setor Florestal Brasileiro. 2004. Disponível em: <http://www.sbs.org.br/estatisticas.htm>. Acesso em: 10 jan. 2005
- SATHAYE, J.; PRICE, L.; WORRELL, E.; RUTH, M.; SCHAEFFER, R.; COSTA, M. M.; WANG, Y.; ROY, J.; DAS, S.; WINKLER, H.; SPALDING-FECHER, R.; AFRANE-OKESE, Y.; DAVIDSON, O. **Multi-Project Baselines For Evaluation Of Industrial Energy-Efficiency And Electric Power Projects**. 2001. LBNL-48242. Disponível em: <http://ies.lbl.gov/iespubs/ieupubs.html>
- SCHAEFFER, R. COSTA, M.M. **The Impact of Multi-Project Baselines on CDM Projects in the Cement Industry in Brazil**. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2001. (LBNL-48242A)
- SHIMBO, L.Z.; SILVA, F.M.G. Projeto e construção de edificação em madeira certificada: a nova sede do Imaflora. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 3., 2003, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos: ANTAC, 2003. 16 p
- SILVA, M.A.C. **Metodologia de seleção tecnológica na produção de edificações com o emprego do conceito de custos ao longo da vida útil**. Tese (doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996. 355p.
- SILVA, V. G. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica**. 2003. 210 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003
- SOARES, S. R. CASTILHOS JÚNIOR, A. B. de; MARTINS, A.; BREITENBACH, F. E.; LUPA-TINI, G. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos (revestimento, blocos e telhas) do Setor Cerâmico da Indústria de Construção Civil**: Panorama do Setor. Florianópolis: HABITARE, 2002. Disponível em: <http://habitare.infohab.org.br/>. Acesso em: 10 jan. 2005
- SPERB, M. **Avaliação de tipologias habitacionais a partir da caracterização de impactos ambientais relacionados a materiais de construção**. 2000. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000
- SOUZA, U.E.L. de; PALIARI, J.C.; AGOPYAN, V.; ANDRADE, A.C. de. Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.4, n. 4, p. 33-46, out./dez. 2004

SUNDELL, J. On the history of indoor air quality and health. **Indoor Air**, v. 14, n. 7, p. 51–58, 2004

TODD, J. A.; CURRAN, M. A. **STREAMLINED Life-Cycle Assessment**: A Final Report from the SETAC North America Streamlined LCA Workgroup. Brussels: SETAC, 1999. Disponível em: www.setac.org/files/lca.pdf. Acesso em: 29 jun. 2004

TOGERO, A. **Leaching of hazardous substances from concrete constituents and painted wood panels**. Suécia, 2004. Tese (doutorado). Chalmers University of Technology, 101p.

TREZZA, M.A., SCIAN, A.N. Waste fuels: their effect on Portland cement clinker. **Cement and Concrete Research**, v. 35, p. 438-444, 2005

TRUSTY, W. B. Introducing an Assessment Tool Classification System. **Advanced Building Newsletter**, Ottawa, n.25, p. 18, jul. 2000. Disponível em: <http://www.athenasmi.ca/papers/papers.htm> . Acesso em: 23 jun. 2004

UEMOTO, K.; IKEMATSU, P.; AGOPYAN, V. As tintas imobiliárias e o impacto ambiental. Parte II. In: I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL/X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais**. São Paulo, 2004.

UNDESA. **Agenda 21**. New York, 1992. Disponível em: <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/english/agenda21toc.htm>.. Acesso em: 26 jan 2004

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. **Análise de parâmetros de implantação de conjuntos habitacionais de interesse social**: ênfase nos aspectos de sustentabilidade ambiental e qualidade de vida. Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo. Relatório de projeto de pesquisa Finep processo 2412/00. 129p.

USDOE - US DEPARTMENT OF ENERGY. **Building Technologies Program**: EnergyPlus Energy Simulation Software. Disponível em: <http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>. Acesso em 9 dez. 2005

USEPA - US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Metallurgical Industry - Iron and Steel Production - Final Section. In: _____. **AP-42**. 5th. Ed. 1996. v. 1, chapter 12. Disponível em: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/>. Acesso: em 9 dez. 2005.

_____. **Building Air Quality**: A Guide for Building Owners and Facility Managers. Washington, 1991. Disponível em: <http://www.epa.gov/iaq/largebldgs/baqtoc.html>. Acesso em: 3 ago. 2004.

_____. Natural Gas Processing. In: _____. **AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors**. Washington, 1995. v. 1., Chapter 5. Disponível em: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch05/final/c05s03.pdf> . 1995. Acesso em: 22 set. 2004.

USGBC - US GREEN BUILDING COUNCIL. **Leadership in Energy & Environmental Design**. Washington, 2004. Disponível em: http://www.usgbc.org/leed/leed_main.asp. Acesso em: 10 jan. 2005

_____. **LEED Green building rating system. Version 2.0**. USBC, Washington, EUA. 2000. 25pp

_____. **Rating system for pilot demonstration of LEED for homes program. Version 1.72**. USBC, Washington, EUA. 2005. 138pp

VAN DER SLOOT, H. A., KOSSON D. S. A unified approach for the judgement of environmental

properties of construction materials (cement-based, asphaltic, unbound aggregates, soil) in different stages of their life cycle. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE SCIENCE AND ENGINEERING OF RECYCLING FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION, 5., WAS-CON 2003, Donostia - San Sebastián. **Proceedings**... Donostia: WASCON, 2003

VAN DER VOET, E; OERS, L.; NIKOLIC, I. Dematerialization - Not Just a Matter of Weight. **Journal of Industrial Ecology**, v. 8, n. 4, p. 121-137, 2005

WALLACE, L.A.; PELLIZZARI, E.; LEADERER, B.; ZELON, H.; SHELDON, L. Emissions of volatile compounds from building materials and consumer products. **Atmospheric Environment** (1987), 21(2), 1987, pp 385-393

WEIDEMA, B. P. Increasing Credibility of LCA. **International Journal LCA**, v. 5, n. 2, p. 63-64, 2000

WWF. **Forests** - Problems: Illegal logging and forest crime. 2005. Disponível em: http://www.panda.org/about_wwf/what_we_do/forests/problems/illegal_logging/index.cfm. Acesso em: 9 dez. 2005

YU, C; CRUMP, D. A Review of the Emission of VOCs from Polymeric Materials used in Buildings. **Building and Environment**, v. 33, n. 6, p. 357-374, 1998

ZIVICA, V.; BAJZA, A. Acidic attack of cement-based materials.a review Part 2. Factors of rate of acidic attack and protective measures. **Construction and Building Materials**, v. 16, p. 215-222, 2002

ZURAIMI et al.. A comparative study of VOCs in Singapore and European office buildings. **Building and Environment**, v. 41, p. 316-329, 2006

ANEXO A

Análise do Fluxo de Materiais (AFM)

ANEXO A

Análise do Fluxo de Materiais (AFM)

Segundo *National Academy of Science* (2004) é importante diferenciar o termo contabilidade do fluxo de materiais de **Análise do Fluxo de Material** (*Material Flow Analysis*), uma vez que o primeiro constitui uma abordagem que agrega todo o fluxo de materiais dentro de um sistema, sem diferenciar as movimentações internas, enquanto o segundo, pode enfatizar o fluxo de um material específico dentro desse sistema, em um nível maior de desagregação e detalhe.

Bringezu et al. (2004) afirma que a Análise do Fluxo de Material é útil para definir indicadores de produtividade dos recursos. Niza e Ferrão (2005) afirmam a capacidade de desagregação e caracterização temporal das ferramentas de Análise do Fluxo de Materiais pode ser usada para a definição de políticas para a sustentabilidade do uso de recursos. Assim a contabilidade de fluxo de materiais pode ser entendida como uma ferramenta de apoio para a avaliação ambiental, gerando dados que permitem uma caracterização da disponibilidade e sustentabilidade do uso de recursos.

Um exemplo de aplicação de Análise do Fluxo de Materiais ilustrativo para o setor da construção é apresentado por Kelly (1998), tratando da substituição de agregados naturais por agregados reciclados. O fluxo delineado permitiu explicitar aspectos relevantes do fluxo de materiais, neste caso, as perspectivas e possibilidades de substituição do agregado virgem por reciclado, a identificação das quantidades disponíveis atualmente e de fluxos desconhecidos, e a explicitação de fluxos inesperados.

A caracterização da disponibilidade de recursos com base nas estimativas de reservas de materiais em uso permite uma avaliação mais coerente e sistêmica do que a baseada na caracterização dos materiais segundo sua disponibilidade na natureza. Pode, também, indicar a importância do reaproveitamento de recursos das reservas em uso ou mesmo dos recursos dispostos em aterros. Por exemplo, os dados fornecidos pelo USGS (2005) presentes na tabela abaixo indicam que a quantidade de alguns metais dispostos em aterros é uma fração significativa das reservas em uso, o que pode indicar a relevância da recuperação daqueles no caso de escassez e supervalorização dos recursos virgens. Neste caso, quanto maior a quantidade reciclada, menor a necessidade de introdução de recursos virgens no fluxo de entrada.

Distribuição de estoques de metais nos Estados Unidos em 2002 (USGS, 2005)

(1) Excluindo as quantidades dispostas em aterro.

Comodity	Estoques em uso cumulativos ⁽¹⁾	Estoques dispostos em aterros
Alumínio	142	61.1
Cobre	117	14.7
Aço	4.130	835

No entanto, no contexto brasileiro existem barreiras à introdução de tal abordagem, uma vez que não há dados necessários para a caracterização dos fluxos tal como definidos anteriormente. Tal fato fica evidenciado, por exemplo, no estudo de Bringezu et al. (2004) onde os dados brasileiros foram insuficientes para o delineamento de um panorama nacional. Mais ainda, estima-se que a relevância dos estoques dispostos em aterros só será suficiente para induzir a sua recuperação e reciclagem na medida em que o uso de recursos virgens for proibitivo em função do preço, restrito em função da

disponibilidade e os estoques dispostos forem suficientemente grandes para suprir uma demanda contínua.

O **Balço Mineral Brasileiro** 2001 (BRASIL, 2005) concentra-se na análise do setor extrativo da indústria mineral, e caracteriza as reservas em carente, suficiente e abundante, originalmente em função da produção industrial, incluindo uma consideração sobre a classificação das reservas em possíveis e provadas como forma de corrigir distorções devido a variáveis de ordem técnica econômica. Esta classificação oficial não permite a modelagem dos fluxos necessários para a determinação das reservas de materiais, mas pode ser considerada uma fonte de dados relevante para a elaboração da contabilidade dos fluxos. Outras fontes devem, ainda, ser investigadas para a complementação dos dados necessários.

Referências bibliográficas

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Sumário Mineral 2005**: Apresentação. Brasília, 2005. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=536>. Acesso em: 8 dez. 2005.

BRINGEZU, S.; SCHQTZ, H.; STEGER, S.; BAUDISCH, J.. International comparison of resource use and its relation to economic growth – The development of total material requirement, direct material inputs and hidden flows and the structure of TMR. **Ecological Economics**, v. 51, p. 97-124, 2004.

KELLY, T. **Crushed Cement Concrete Substitution for Construction Aggregates – A Materials Flow Analysis**. USGS, 1998. Disponível em: <http://pubs.usgs.gov/circ/1998/c1177/c1177.pdf>. Acesso em: 28 out. 2005.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE. **Materials Count**: the case for material flows analysis. Washington, 2004. Disponível em: <http://www.nap.edu/books/0309089441/html/R1.html>. Acesso em: 10 dez. 2005.

NIZA, S.; FERRÃO, P. Material Flow Accounting tools and its contribution for policy making. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF EUROPEAN SOCIETY FOR ECOLOGICAL ECONOMICS, 6., Lisboa. **Proceedings**... Lisboa, 2005.

US GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Metal Stocks in Use in the United States**. 2005. Disponível em: pubs.usgs.gov/fs/2005/3090/2005-3090.pdf. Acesso em: 9 dez. 2005