



Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  
Escola Politécnica

## **ESTUDO SOBRE O USO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO ALTERNATIVOS QUE OTIMIZAM A SUSTENTABILIDADE EM EDIFICAÇÕES**

Talita Yasmin Mesquita de Oliveira

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Jorge dos Santos

Rio de Janeiro  
Agosto de 2015

**ESTUDO SOBRE O USO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO ALTERNATIVOS QUE  
OTIMIZAM A SUSTENTABILIDADE EM EDIFICAÇÕES**

Talita Yasmin Mesquita de Oliveira

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinado por:

---

Prof. Jorge dos Santos, D. Sc., Orientador

---

Prof. Ana Catarina Evangelista, D. Sc.

---

Prof. Isabeth da Silva Mello, M. Sc.

---

Prof. Wilson Wanderley da Silva, Arq.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

AGOSTO de 2015

Oliveira, Talita Yasmin Mesquita

Estudo Sobre o Uso De Materiais de Construção Alternativos que Otimizam a Sustentabilidade em Edificações / Talita Yasmin Mesquita de Oliveira – Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2015.

XV, 99 p. : il. ; 29,7 cm.

Orientador: Jorge dos Santos

Projeto de Graduação – UFRJ / Escola Politécnica / Curso de Engenharia Civil, 2015.

Referências Bibliográficas: p. 89-99.

1. Introdução. 2. Sustentabilidade. 3. Materiais de construção aplicados em obras de edificações. 4. Fatores que impulsionam a sustentabilidade no uso de materiais de construção. 5. Materiais de construção sustentáveis. 6. Revisão bibliográfica de casos com aplicações de materiais sustentáveis. 7. Conclusões. I. Santos, Jorge. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil. III. Título.

## Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar aos meus pais, Maria de Fátima e Manoel de Jesus. Apesar de suas dificuldades vividas, nunca me deixaram faltar nada: meu caráter e educação são frutos de seus esforços incondicionais, saibam que sou extremamente grata. Mesmo não dizendo com a frequência que gostaria: amo vocês.

Aos meus irmãos, Alexa e Lucas, cujas brigas bobas, conversas antes de dormir, e as piadas mais sem graça que fazemos uns com os outros, são extremamente importantes pra mim. Vou sentir saudades de vocês nesta minha próxima etapa da vida. Luquinhas, se comporte!

Ao meu melhor amigo e namorado: Davidson Gomes. Obrigada por ser essa pessoa maravilhosa, que me entende mais do que ninguém. Por me apoiar, incentivar e motivar em todas as vezes que hesitei, e por nunca me amar menos ao longo desses quase oito anos.

Agradeço muito aos colegas que a UFRJ me deu, vocês tornaram tudo mais fácil e prazeroso. Em especial às amigas Érica e Jéssyca, que dividiram muitas decepções, alegrias e confidências durante todo o curso. Tenho muito carinho por vocês.

Às professoras Gabriella Rossi e Gisele Barbosa, que desde 2012 me acompanharam em pesquisas de iniciação científica. Agradeço pela amizade e por me mostrarem a importância do engenheiro civil como um agente que se preocupa com o meio ambiente e a sociedade. Graças à vocês, sempre levarei o que aprendi no Laburb para a minha vida pessoal e profissional.

Agradeço por fim ao Professor Jorge dos Santos, que apesar de suas muitas tarefas e compromissos, aceitou orientar este trabalho. Muito obrigada por se mostrar sempre solícito e compreensivo, e principalmente, por se mostrar um exemplo de professor orientador.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Estudo Sobre o Uso de Materiais de Construção Alternativos que Otimizam a Sustentabilidade em Edificações

Talita Yasmin Mesquita de Oliveira

Agosto/2015

Orientador: Jorge dos Santos

Curso: Engenharia Civil

O presente trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre o uso de materiais de construção alternativos cuja utilização ajuda a otimizar a sustentabilidade das edificações. Atualmente, é cada vez maior a preocupação com a sustentabilidade, pois passou-se a buscar o equilíbrio entre sociedade, economia e meio ambiente nas atividades humanas. Na construção civil não é diferente, tornando-se comum os lançamentos dos edifícios sustentáveis. Desta forma, a pesquisa tem como objetivo o foco em uma das soluções sustentáveis para a construção: a escolha de materiais mais corretos do ponto de vista do desenvolvimento sustentável. Para isso, são destacados parâmetros que os designam como sustentáveis e exemplificações de alguns desses materiais, com base nos estudos de diferentes autores e critérios avaliados em certificações ambientais. Também, seu uso é abordado através de revisão bibliográfica de cinco estudos de casos de edificações brasileiras.

*Palavras-chave:* Sustentabilidade, Edifícios Verdes, Materiais de Construção Sustentáveis.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

Study About the Use of Alternative Construction Materials that Optimize the Sustainability of Buildings

Talita Yasmin Mesquita de Oliveira

August/2015

Advisor: Jorge dos Santos

Course: Civil Engineering

This paper presents a bibliographic review about the use of alternative construction materials that the use helps optimize the sustainability of buildings. Nowadays, the concerning about sustainability is growing because it is been pursued the balance between society, economy and environment in human activities. In civil construction is no different, which it is common the releasing of sustainable buildings. Thus, the research aims to focus on one of the sustainable solutions for construction: the choice of more correct materials from the point of view of sustainable development. For this, the research highlights the parameters that designate materials as sustainable ones and the examples of some of these materials, based on studies of different authors and criteria evaluated in environmental certifications. In addition, it attempts its use through a bibliographic review of five case studies of Brazilian buildings.

*Keywords:* Sustainability, Green Buildings, Sustainable Building Materials.

## Sumário

1.	Introdução .....	1
1.1	Contextualização do tema e sua relevância .....	1
1.2	Objetivo .....	2
1.3	Justificativa.....	2
1.4	Metodologia .....	2
1.5	Estrutura da Monografia.....	3
2.	Sustentabilidade.....	4
2.1	Conceituando o desenvolvimento sustentável .....	4
2.2	História do pensamento sustentável.....	4
2.1.1	Primeira Fase .....	5
2.1.2	Segunda Fase .....	7
2.1.3	Terceira Fase .....	9
2.1.4	Quarta Fase.....	9
2.1.5	Quinta Fase .....	11
2.3	A sustentabilidade no período atual .....	12
2.3.1	Desafios ao desenvolvimento sustentável.....	14
2.4	Sustentabilidade em obras de edificações .....	15
2.4.1	Sustentabilidade na construção civil.....	15
2.4.2	Edifícios Sustentáveis .....	18
3.	Materiais de construção aplicados em obras de edificações .....	21
3.1	Levantamento geral dos principais materiais utilizados.....	21
3.1.1	Metais .....	23
3.1.2	Rochas como materiais de construção .....	24
3.1.3	Agregados .....	25
3.1.4	Materiais cerâmicos.....	27
3.1.5	Aglomerantes .....	27
3.2	Materiais de construção e o Meio Ambiente – Uma abordagem da edificação <i>do berço à cova</i> .....	29

<b>4. Fatores que impulsionam a sustentabilidade no uso de materiais de construção .....</b>	<b>33</b>
<b>4.1 Certificações de desempenho ambiental.....</b>	<b>33</b>
4.1.1 LEED.....	33
4.1.2 AQUA.....	37
4.1.3 Selo Caixa Azul .....	40
4.1.4 Qualiverde.....	41
4.1.5 BREEAM.....	43
4.1.6 Comparação entre as certificações quanto aos materiais.....	45
<b>4.2 Políticas Públicas.....</b>	<b>47</b>
4.2.1 CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável .....	47
4.2.2 Programa Construção Sustentável .....	47
4.2.3 Plano Diretor.....	49
<b>5. Materiais de construção sustentáveis.....</b>	<b>50</b>
<b>5.1 Parâmetros de escolha de materiais sustentáveis .....</b>	<b>50</b>
5.1.1 Critérios sociais .....	50
5.1.2 Critérios econômicos .....	51
5.1.3 Critérios ambientais.....	53
5.1.3.1 Utilização de recursos naturais .....	53
5.1.3.2 Grau poluente e toxicidade .....	54
5.1.3.3 Energia incorporada.....	55
5.1.3.4 Emissões de CO2 .....	57
5.1.3.5 Análise do Ciclo de Vida (ACV).....	58
5.1.3.7 Conteúdo reciclado .....	60
5.1.3.8 Reutilização e reciclagem.....	61
5.1.3.9 Durabilidade.....	62
<b>5.2 Exemplos de materiais de construção com princípios sustentáveis .....</b>	<b>62</b>
5.2.1 Cimentos Portland CPIII e CPIV .....	62
5.2.2 Tijolos cerâmicos com incorporação de resíduos .....	65



5.2.3	Concreto ecológico.....	66
5.2.3.1	Utilização de RCD.....	66
5.2.3.2	Utilização de fibras vegetais .....	67
5.2.3.3	Concreto auto curável.....	67
5.2.4	Solo como material de construção .....	68
5.2.4.1	Tijolo ecológico .....	68
5.2.5	Isolantes térmicos e acústicos .....	70
5.2.5.1	Lã de ovelha.....	70
5.2.5.2	Cânhamo .....	70
6.	Revisão bibliográfica de casos com aplicação de materiais sustentáveis ...	71
6.1.1	Porto Brasilis.....	71
6.1.2	Ventura Corporate Towers .....	73
6.1.3	Eldorado Business Tower .....	75
6.1.4	CENPES II .....	77
6.1.5	Shopping RioMar Recife.....	80
6.1.6	Resumo .....	83
6.1.7	Considerações finais sobre os estudos de casos .....	84
7.	Conclusões .....	87
	Referências bibliográficas .....	89

## Índice de tabelas

<b>Tabela 1:</b> Blocos da Agenda 21 para a construção civil brasileira. Fonte: Condeixa, 2013.....	16
<b>Tabela 2:</b> Impactos da construção civil. Fonte: Beltrame, 2013 .....	17
<b>Tabela 3:</b> Triple Bottom Line aplicado à edificações. Fonte: <a href="http://www.metodo.com.br">http://www.metodo.com.br</a> , s.d., adaptação própria.....	18
<b>Tabela 4:</b> Classificação dos materiais. Fonte: Callister, 2000. ....	21
<b>Tabela 5:</b> Principais aplicações de rochas como materiais de construção de edificações. Fonte: Hagemann (2011).....	24
<b>Tabela 6:</b> Níveis de certificação LEED NC. Fonte: Martins, 2010. ....	34
<b>Tabela 7:</b> Critérios de atendimento LEED. Fonte: <a href="http://www.gbcbrazil.org.br/">http://www.gbcbrazil.org.br/</a> , 2009 (grifo próprio). ....	34
<b>Tabela 8:</b> Pontuação relativa aos materiais e recursos – LEED. Fonte: Silva, 2013... 35	
<b>Tabela 9:</b> Categorias e famílias do AQUA. Fonte: <a href="http://vanzolini.org.br/">http://vanzolini.org.br/</a> , s.d. (grifo próprio). ....	37
<b>Tabela 10:</b> Níveis de desempenho AQUA. Fonte: <a href="http://vanzolini.org.br/">http://vanzolini.org.br/</a> , s.d.....	38
<b>Tabela 11:</b> Níveis de gradação do Selo Caixa Azul. Fonte: Caixa, 2010. ....	40
<b>Tabela 12:</b> Critérios relativos à conservação de recursos materiais- Selo Caixa Azul. Fonte: Caixa, 2010 .....	41
<b>Tabela 13:</b> Ações e pontuação relativos aos materiais no critério Projeto – Qualiverde. Fonte: <a href="http://www2.rio.rj.gov.br">www2.rio.rj.gov.br</a> , 2012.....	43
<b>Tabela 14:</b> Categorias e pontuação do selo BREEAM. Fonte: <a href="http://www.inovatech engenharia.com.br/">www.inovatech engenharia.com.br/</a> .....	44
<b>Tabela 15:</b> Critérios relativos a abordagem dos materiais de construção para cada certificação. Fonte: Dias et al, 2010 (modificações próprias). ....	46
<b>Tabela 16:</b> Categorias prioritárias para o Programa de Construção Sustentável. Fonte: CBIC, 2011. ....	48
<b>Tabela 17:</b> Ferramenta “Seleção 6 passos”. Fonte: Silva, 2012.....	51
<b>Tabela 18:</b> Avaliação quanto a disponibilidade de materiais de construção. Fonte: Sperb, 2000. ....	54
<b>Tabela 19:</b> Energia incorporada em materiais de construção. Fonte: Graf, 2011 e Tavares, 2006.....	57
<b>Tabela 20:</b> Tipos e especificações de cimentos Portland no Brasil. Fonte: Guerreiro, 2014.....	63
<b>Tabela 21:</b> Comparativo dos impactos ambientais entre cimentos da indústria brasileira. Fonte: Guerreiro, 2014.....	63

<b>Tabela 22:</b> Principais resultados das soluções sustentáveis do Porto Brasilis. Fonte: GBC Brasil, s.d. ....	72
<b>Tabela 23:</b> Uso de materiais sustentáveis no edifício Porto Brasilis. Fonte: GBC Brasil, s.d. ....	72
<b>Tabela 24:</b> Eficiência no atendimento à pontuação total de cada requisito do LEED – Porto Brasilis. Fonte: elaboração própria com base nos dados de USGBC, 2012. ....	73
<b>Tabela 25:</b> Principais resultados das soluções sustentáveis do Ventura Corporate Towers. Fonte: <a href="https://www.portalvgv.com.br">https://www.portalvgv.com.br</a> , 2009.....	74
<b>Tabela 26:</b> Uso de materiais sustentáveis no empreendimento Ventura Corporate Towers. Fonte: <a href="https://www.portalvgv.com.br">https://www.portalvgv.com.br</a> e Valente, 2009. ....	74
<b>Tabela 27:</b> Principais resultados das soluções sustentáveis do Eldorado Business Tower. Fonte: CBG Brasil, s.d. e Sindusconsp, 2007. ....	76
<b>Tabela 28:</b> Uso de materiais sustentáveis no empreendimento Eldorado Business Tower. Fonte: GBC Brasil, s.d. ....	76
<b>Tabela 29:</b> Uso de materiais sustentáveis no Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello. Fonte: Machado, 2010.....	79
<b>Tabela 30:</b> Principais resultados das soluções sustentáveis do RioMar Shopping Recife. Fonte: Matos, 2014 e Rocha, 2013. ....	82
<b>Tabela 31:</b> Síntese dos estudos de casos. Fonte: Elaboração própria, Oliveira, 2015. ....	83

## Índice de figuras

<b>Figura 1:</b> Esquema que representa os parâmetros para se alcançar o desenvolvimento sustentável. Fonte: MOTTA; AGUILAR, 2009 .....	10
<b>Figura 2:</b> Esquema que representa os parâmetros do Triple Bottom Line. Fonte: <a href="http://www.druckernetimpact.wordpress.com">http://www.druckernetimpact.wordpress.com</a> , s.d. ....	11
<b>Figura 3:</b> Síntese das propriedades dos materiais construtivos. Fonte: Hagemann, 2011.....	23
<b>Figura 4:</b> Esquema do processo de britagem. Fonte: Hagemann, 2011.....	26
<b>Figura 5:</b> Processo de produção do cimento. Fonte: Hagemann, 2011. ....	29
<b>Figura 6:</b> Cadeia da construção civil e seus impactos ambientais. Fonte: Roth e Garcias, 2009. ....	30
<b>Figura 7:</b> Diferente abordagem quanto aos materiais de construção entre o LEED V4 e LEED 2009 (vigente no Brasil). Fonte: <a href="http://sustentarqui.com.br/">http://sustentarqui.com.br/</a> , 2015.....	37
<b>Figura 8:</b> Síntese das exigências de pontuação por nível da categoria 2 – AQUA. Fonte: HQE, 2014.....	39
<b>Figura 9:</b> Etapas para análise da energia incorporada dos materiais de construção. Fonte: Neto, 2011.....	56
<b>Figura 10:</b> Avaliação das etapas da ACV. Fonte: Macedo, 2011.....	59
<b>Figura 11:</b> Bioconcreto em processo de “autocura”. Fonte: Goyal, 2015. ....	68
<b>Figura 12:</b> Edifício Porto Brasilis. Fonte: <a href="https://www.jllproperty.com.br">https://www.jllproperty.com.br</a> , s.d. ....	72
<b>Figura 13:</b> Ventura Corporate Towers. Fonte: <a href="https://www.skyscrapercity.com">https://www.skyscrapercity.com</a> , s.d. ..	74
<b>Figura 14:</b> Edifício Eldorado Business Tower. Fonte: <a href="https://www.puraruitetura.com">https://www.puraruitetura.com</a> , s.d.....	76
<b>Figura 15:</b> CENPES II. Fonte: <a href="https://www.consep.eng.br">https://www.consep.eng.br</a> , s.d. ....	78
<b>Figura 16:</b> Fechamento interno CENPES II. a) Material isolante térmico fabricado a partir de garrafas pet transparente aplicado entre os Drywalls. b) Material isolante térmico fabricado com garrafas pet verdes. Finte: Machado (2010). ....	80
<b>Figura 17:</b> RioMar Recife. Fonte: <a href="https://www.jconline.ne10.uol.com.br">https://www.jconline.ne10.uol.com.br</a> , 2012. ....	81

## Índice de gráficos

<b>Gráfico 1:</b> Relação Clínquer/Cimento dos cimentos avaliados. Fonte: Guerreiro, 2014. .....	64
<b>Gráfico 2:</b> Impactos por contribuição à mudanças climáticas. Fonte: Guerreiro, 2014. .....	64
<b>Gráfico 3:</b> Impactos por acidificação dos cimentos avaliados. Fonte: Guerreiro, 2014. .....	65
<b>Gráfico 4:</b> Impactos por eutrofização dos cimentos avaliados. Fonte: Guerreiro, 2014. .....	65
<b>Gráfico 5:</b> Depleção de recursos não renováveis. Fonte: Guerreiro, 2014. ....	65
<b>Gráfico 6:</b> Demanda de energia acumulada. Fonte: Guerreiro, 2014. ....	65
<b>Gráfico 7:</b> Eficiência no atendimento à pontuação total de cada requisito do LEED – Ventura Corporate Towers. Fonte: elaboração própria com base nos dados da USGBC, 2009. ....	75
<b>Gráfico 8:</b> Eficiência no atendimento à pontuação total de cada requisito do LEED – Eldorado Business Tower. Fonte: elaboração própria com base nos dados da USGBC, 2009. ....	77
<b>Gráfico 9:</b> Eficiência no atendimento níveis de cada categoria do AQUA – RioMar Recife. Fonte: elaboração própria com base nos dados de Rocha, 2013. ....	83

## Lista de siglas

<b>A3P</b>	Agenda Ambiental na Administração Pública
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ACV</b>	Análise do Ciclo de Vida
<b>ICV</b>	Inventário do Ciclo de Vida
<b>AMDA</b>	Associação Mineira de Defesa do Ambiente
<b>AQUA</b>	Alta Qualidade Ambiental
<b>BRE</b>	Building Research Establishment
<b>BREEAM</b>	Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology
<b>CMMA</b>	Conselho Municipal do Meio Ambiente
<b>CBCS</b>	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
<b>CBIC</b>	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
<b>CIB</b>	Conselho Internacional da Construção
<b>CIB2</b>	Agenda 21 on Sustainable Construction
<b>CMMAD</b>	Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
<b>COV</b>	Compostos Orgânicos Voláteis
<b>CP</b>	Cimento Portland
<b>DDT</b>	Diclorodifeniltricloroetano
<b>ENIC</b>	Encontro Nacional da Indústria da Construção
<b>FCS</b>	Forest Stewardship Council
<b>FEBRABAN</b>	Federação Brasileira de Bancos
<b>GBC</b>	Green Building Council
<b>GBCI</b>	Green Business Certification Inc.
<b>HQE</b>	Haute Qualité Enviromentale
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization

<b>LEED</b>	Leadership in Energy and Environmental Design
<b>MIT</b>	Instituto de Tecnologia de Massachusetts
<b>MMA</b>	Ministério do Meio Ambiente
<b>MME</b>	Ministério de Minas e Energia
<b>PBACV</b>	Programa Brasileiro de Avaliação de Ciclo de Vida
<b>PNUMA</b>	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
<b>QAE</b>	Qualidade Ambiental do Edifício
<b>RCD</b>	resíduos de construção e demolição
<b>ONU</b>	Organização das Nações Unidas
<b>COP</b>	Conferência do Clima (Ou Conferência das Partes)
<b>PNRS</b>	Política Nacional de Resíduos Sólidos
<b>PPCS</b>	Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis
<b>MPOG</b>	Ministério do Planejamento Orçamento e Gestão
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<b>SISNAMA</b>	Sistema Nacional do Meio Ambiente
<b>USGB</b>	United States Green Building Council

# 1. Introdução

## 1.1 Contextualização do tema e sua relevância

A indústria da construção é apontada pelo Conselho Internacional da Construção (CIB) como o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais. Há também inúmeros impactos além dos relacionados ao consumo de matéria e energia, como os associados à geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Tais aspectos ambientais, somados à qualidade de vida que o ambiente construído proporciona, sintetizam as relações entre construção e meio ambiente.

De acordo com Beltrame (2013), as edificações consomem 34% do fornecimento mundial de água, 66% de toda a madeira extraída, e sua operação consome mais de 40% de toda a energia produzida no mundo. Wines (2000) exemplifica o caso da Europa, onde aproximadamente 50% da energia consumida é usada para a construção e manutenção de edifícios e outros 25% são gastos em transporte. Esta energia é gerada na sua grande maioria por fontes de combustíveis fósseis não renováveis, gerando resíduos da conversão destes recursos em energia, que por sua vez acarretam em impactos ambientais como o efeito estufa.

No entanto, a corrente preocupação ambiental por parte dos governos, setor privado e população, tem levado à constante procura por práticas menos agressivas ao meio ambiente. Segundo pesquisa da revista Business Week, realizada em 2006, constata-se que as próximas gerações aumentarão a demanda por itens ligados a sustentabilidade, sendo que dos entrevistados, 89% afirmaram que escolhem marcas associadas a esse conceito (FEBRABAN, 2010).

Os esforços na redução do consumo desses recursos devem estar focados nos projetos, para torná-los mais eficientes. Edificações que utilizem menos recursos naturais, materiais e energia, e que sejam confortáveis e saudáveis para viver e trabalhar, são contribuições desejadas.

Sendo assim, a incorporação de práticas de sustentabilidade na construção é uma tendência crescente no mundo. Isso significa que as construções, para ganharem status de sustentáveis, devem ser concebidas e planejadas a partir de várias premissas. Dentre elas, a escolha de materiais que menos agredam o meio ambiente, de origem certificada e com baixas emissões de CO<sub>2</sub>; com menor geração de resíduos durante a fase de obra; que contribuam para o desempenho das edificações; que suprimam menores áreas de vegetação; que necessitem do menor volume possível de



energia e água, tanto na fase de construção como na de uso; e, ainda, que possam ser reaproveitadas ao fim de seu ciclo de vida.

## **1.2 Objetivo**

O trabalho em questão tem como objetivo principal apresentar critérios e parâmetros que possam auxiliar nas escolhas de materiais de construção de modo que tornem as edificações mais sustentáveis, assim como apresentar exemplificações de materiais e seu uso em casos práticos.

## **1.3 Justificativa**

Apesar da construção civil ser uma das atividades que mais impactam negativamente o meio ambiente, suas necessidades continuam em crescimento constante. Déficit habitacional, ampliações e reformas de escolas e hospitais, novas construções para atender o crescimento urbano, desenvolvimento econômico e aumento dos edifícios corporativos, entre outros, ilustram algumas demandas da atividade.

Uma das formas de se contribuir com o desenvolvimento sustentável do setor é com as escolhas e usos conscientes dos materiais de construção. Sua contribuição é justificada uma vez que representam os principais elementos da edificação que ditam seus impactos ao meio ambiente durante todo seu ciclo de vida.

A importância do tema pode ser vista ao se considerar um edifício como um grande conjunto de materiais diferentes, cujos impactos ocorrem em todas as etapas, desde a extração das matérias primas e fabricação dos materiais, às fases subsequentes, de construção, uso e demolição.

Deve-se lembrar que a Terra e a biosfera são sistemas fechados e o ritmo atual de consumo humano contínuo e acelerado não pode se sustentar indefinidamente. Em função disso, é preciso uma maior disseminação acerca das escolhas de materiais baseados nos princípios da sustentabilidade, de maneira a colaborar com a construção civil ambientalmente correta.

## **1.4 Metodologia**

A metodologia adotada para o desenvolvimento desta pesquisa se deu através de revisões bibliográficas, consultando diversos autores em produções científicas, como artigos, livros e dissertações, assim como revistas e materiais disponíveis em internet.

## **1.5 Estrutura da Monografia**

O Capítulo 1 é dedicado à introdução do tema e sua contextualização, ressaltando sua relevância, objetivo, justificativa e metodologia utilizada.

O Capítulo 2 é destinado a apresentar o conceito de desenvolvimento sustentável, mostrando o panorama histórico sobre o pensamento sustentável através de diferentes fases ao longo dos anos, bem como a situação atual.

O Capítulo 3 tem como foco a construção civil, abordando a sustentabilidade em edifícios.

O Capítulo 4 aborda alguns materiais de construção convencionais utilizados, bem como sua relação com o meio ambiente ao serem considerados parte do produto final foco nesta pesquisa: o edifício.

O Capítulo 5 se dispõe a apresentar fatores que impulsionam a sustentabilidade no uso de materiais de construção, sendo abordadas certificações ambientais e medidas de políticas públicas brasileiras.

O Capítulo 6 é voltado para os materiais sustentáveis, descrevendo parâmetros de seleção e alguns exemplos.

O Capítulo 7 é dedicado à revisão bibliográfica de estudos de casos de edificações que utilizaram materiais de construção sustentáveis.

Por fim, o Capítulo 8 é destinado às conclusões finais sobre o tema e desenvolvimento da pesquisa, bem como sugestões para trabalhos futuros.

## **2. Sustentabilidade**

### **2.1 Conceituando o desenvolvimento sustentável**

Uma definição pioneira gerada pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD, 1988), e que ainda está em uso, considera “desenvolvimento sustentável aquele que satisfaz as necessidades da geração presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades”.

Esta definição inicial foi base para todas as outras definições de sustentabilidade, que foram melhoradas a partir dela. Para Godoy (2009), não existe só um conceito de desenvolvimento sustentável. Enfatizou que o desenvolvimento sustentável é mais que um crescimento propriamente dito, pois exige uma mudança no teor desse crescimento, a fim de torná-lo menos intensivo em matérias primas e energia e mais equitativo em seu impacto.

A partir das censuras ao modelo adotado pelos países desenvolvidos e defesa de um novo tipo de desenvolvimento, capaz de manter o progresso em todo o planeta e a longo prazo partilhá-lo entre países em desenvolvimento e desenvolvidos, nasce o conceito de desenvolvimento sustentável ou sustentabilidade.

As dimensões apontadas pelo desenvolvimento sustentável contemplam aspectos que vão além das causas ambientais. As esferas econômicas e sociopolíticas somam-se aos aspectos biofísicos como base para tentar interferir no modelo predatório de recursos vigente. Jacobi (2003) defende como sendo uma estratégia que deve levar em conta tanto a viabilidade econômica como a ecológica, ao pensar em medidas que migrem do conceito para a ação.

Ou seja, uma das principais questões da sustentabilidade é como os desenvolvimentos social e econômico podem ser alcançados mundialmente sem colocar em perigo os ecossistemas do planeta. A conclusão do conceito também pode ser descrita como a capacidade de assegurar qualidade de vida às sociedades e criar as condições necessárias para seu bem estar.

### **2.2 História do pensamento sustentável**

As ideias que permeiam o conceito da sustentabilidade são datadas de períodos anteriores a idade moderna. Segundo Vosgueritchian (2005), as práticas da sustentabilidade existiram por todo período medieval, como nos mosteiros europeus, onde produziam seu próprio alimento, utilizavam materiais locais na

construção de edifícios, coletavam e reciclavam a água. No decorrer das eras, teorias foram sendo aperfeiçoadas e novos paradigmas foram sendo criados.

Porém, os avanços das trocas comerciais, o surgimento das grandes urbanizações, e principalmente, os marco da Revolução Industrial e mais tarde, da Segunda Revolução Tecnológica (pós Segunda Guerra Mundial), levaram o mundo a intensificar massivamente sua escala de produção e exploração dos recursos naturais. Não havia consideração pelas questões sociais e ecológicas como hoje, pois o mundo vivenciava um período de “otimismo tecnológico”.

O otimismo era traduzido no pensamento que não haveria problema que não pudesse ser resolvido pela ciência. “A natureza estava lá para ser explorada compreendida e catalogada, assim como para ser mais eficientemente utilizada para o benefício da humanidade” (RUANO, 2007). Esse pensamento foi aperfeiçoado com o passar do tempo, primeiro com o vapor, depois com os combustíveis fósseis e energia elétrica, e até 1950, com a energia nuclear.

Somente a partir da década de 1960 que passou-se a contestar a filosofia vigente. Os movimentos sociais, guerras decorrentes à Guerra Fria, e em 1972, com a crise do petróleo, foram fatores catalisadores para a mudança do pensamento mundial. Medeiros (2013) ressalta que muitos dos conceitos que hoje são agrupados no conceito geral de sustentabilidade, como ecologia, bioclimatismo e regionalismo, foram utilizados para mostrar a fragilidade do planeta. Também foi neste período que passaram a explorar as relações da arquitetura, do homem e do clima, que mais tarde culminariam na “arquitetura bioclimática”. Em meio ao otimismo científico e a necessidade de respostas para os problemas tecnológicos, eles analisaram dados climáticos regionais, avaliaram as sensações humanas, e deduziram formas de amenizar os efeitos do clima aplicando-os na arquitetura (BARBOSA, 2008).

Este período, entre final de 1960 e início de 1973, se caracterizou como o ápice da primeira fase de evolução do pensamento sustentável no mundo, segundo Elkington (2012). O autor divide tal evolução em cinco fases ao longo do tempo, separando em épocas de “ondas”, metáfora usada aos períodos em que o pensamento ecológico tem momentos ápices no globo, e “marés baixas”, como períodos de transição entre as “ondas” do pensamento ambiental. A evolução de tais períodos ajudaram a formar e consolidar o denominado pensamento sustentável.

### **2.1.1 Primeira Fase**

Também denominada “Primeira Onda”, surgiu através da publicação da autora americana Rachel Carson, em setembro de 1962, da obra “Primavera Silenciosa”. O livro é hoje amplamente creditado como tendo ajudado a lançar o movimento

ambientalista. Nele, surgiram as primeiras às críticas as indústrias químicas, acusando-as de utilizarem produtos nocivos indiscriminadamente, arriscando o meio ambiente e a saúde humana.

Não foi a primeira vez que Rachel Carson tentara publicar sobre os efeitos da degradação ambiental. Em 1945, seu artigo sobre os danos causados pelo DDT (pesticida utilizado em larga escala, após a Segunda Guerra Mundial) fora rejeitado. Também, em 1958, teve outro artigo sobre DDT não aprovado para publicação em uma revista. Deste modo, segundo Godoy (2009), a bióloga decide escrever um livro, surgindo assim o “Primavera Silenciosa”

Com as inúmeras discussões provenientes das acusações do livro, surgiu em 1968 o Clube de Roma. Composto por cientistas, industriais e políticos, tinha como objetivo discutir e analisar os limites do crescimento econômico levando em conta o uso crescente dos recursos naturais. Possuíam visões baseadas no ecocentrismo, defendendo que o grande problema estava na pressão da população sobre o meio ambiente.

O Clube de Roma se tornou conhecido em 1972 com a publicação intitulada “Os Limites do Crescimento”, elaborada pelo MIT sob pedido da organização. Tratava de problemas cruciais para o futuro desenvolvimento da humanidade tais como energia, poluição, saneamento, saúde, ambiente, tecnologia e crescimento populacional. Vendera milhões de cópias, tornando-se o livro sobre o meio ambiente mais vendido da história.

Ainda em 1972, foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, também conhecida como Conferência de Estocolmo. Seu intuito era a busca de elementos de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. Como resultado, esse evento proporcionou a criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, PNUMA, que atua como órgão da ONU em favor das questões ambientais. Também, resultou na Declaração de Estocolmo sobre o Meio Ambiente Humano, com uma lista de vinte e seis princípios que estipulava ações para que as nações estabelecessem planos que resolvessem os conflitos entre as óticas e práticas de preservação ambiental e do desenvolvimento.

A Conferência garantia, de toda maneira, a soberania das nações, ou seja, a liberdade de se desenvolverem explorando seus recursos naturais. Muitos destes princípios transformaram-se, ao longo das décadas seguintes, em elementos e metas de negociação. Discutiu-se o esgotamento dos recursos naturais e foi proposto um modelo de “crescimento zero” para os países em desenvolvimento, o qual não foi aprovado, pois condenaria a maioria dos países em questão à situações de permanente

subdesenvolvimento, sendo proposto ao final da conferência o oposto: seu desenvolvimento.

Os países desenvolvidos dariam assistência financeira e tecnológica aos menos desenvolvidos, desde que estes fizessem a sua parte e promovessem campanhas de controle de natalidade. Assim, os países ricos continuaram a produzir e a exportar sua produção para os mais pobres, que abriram suas portas para as indústrias poluidoras (...) (SERRÃO, ALMEIDA e CARESTIATO, 2012)

Nessa época de desenvolvimento, segundo Serrão, Almeida e Carestiato (2012) foi possível ver algumas políticas governamentais de vantagens para indústrias se instalarem em países como Brasil, Chile, México e Argentina. Também, grandes obras de infraestrutura, como a construção da rodovia Transamazônica, hidrelétrica de Itaipu e usina nuclear de Angra 1.

### **2.1.2 Segunda Fase**

Este período refere-se a chamada “Primeira Maré Baixa”, que ocorreu entre 1974 e 1987. A partir do temor originado na Conferência de Estocolmo, da possibilidade de se frear o desenvolvimento de países, e devido a segunda crise do petróleo, o medo de recessão econômica se espalhou pelo mundo. As questões ambientais deram lugar à política.

Timidamente, a agenda ambiental produzia conteúdo. Em 1974 foi feita a declaração de Cocoyok, que discutia sobre desenvolvimento e meio ambiente, destacando hipóteses que defendiam que o esgotamento dos recursos naturais tinha causa no desequilíbrio demográfico, que por sua vez era gerado pela pobreza (BRUZEKE, 1993). Já em 1975, surge o Relatório Dag-Hammarskjold como um aprofundamento da declaração de Cocoyok.

Somente na década de 1980 foi retomada a discussão ambiental pela ONU. Criou-se a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, cujo principal objetivo era propor meios para que o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental coexistissem. Teve um importante conteúdo produzido, o “Nosso Futuro Comum”, publicado em abril de 1987, que pela primeira vez trazia o conceito de desenvolvimento sustentável como discurso comum.

Este relatório, conhecido também como Relatório Brundtland, tem por base o princípio de que o ser humano devia gastar os recursos naturais de acordo com a sua capacidade de renovação, para evitar o seu esgotamento. Então, para uma utilização sustentável dos recursos, é fundamental que cada indivíduo seja um consumidor responsável (CHAVES, 2014). Entre as medidas apontadas pelo relatório, constam a diminuição do consumo de energia, o desenvolvimento de tecnologias para uso de

fontes energéticas renováveis e o aumento da produção industrial nos países não industrializados com base em tecnologias ecologicamente adaptadas.

Para o alcance do desenvolvimento sustentável das cidades, o relatório, segundo Oliveira (2009), dita algumas medidas:

- a) Uso de novos materiais na construção;
- b) Reestruturação da distribuição de zonas residenciais e industriais;
- c) Aproveitamento e consumo de fontes alternativas de energia, como a solar, a eólica e a geotérmica;
- d) Reciclagem de materiais reaproveitáveis;
- e) Consumo racional de água e de alimentos;
- f) Redução do uso de produtos químicos prejudiciais à saúde.

Em contrapartida, conceitos antigos, baseados na ideia da pobreza ser principal causa da degradação ambiental e no desenvolvimento econômico ser necessário ao desenvolvimento sustentável continuaram sendo defendidos. Segundo o relatório, “um mundo onde a pobreza é endêmica estará sempre sujeito a catástrofes, ecológicas ou de outra natureza”. Para atender às necessidades básicas de todos, o documento recomenda, então, “um crescimento potencial pleno, e o desenvolvimento sustentável exige claramente que haja um crescimento econômico em regiões onde tais necessidades não estão sendo atendidas”.

Segundo Montibeller (1993), a tese básica de “produzir mais com menos” presente no documento implica aceitar que o padrão de consumo vigente no mundo industrializado pode ser mantido, expandido e difundido globalmente; que o *status* do consumidor permanece sagrado; e que a tecnologia é capaz de produzir cada vez mais, utilizando cada vez menos recursos, em uma espécie de continuidade ao “otimismo tecnológico”. “Ao mesmo tempo em que a questão é assim colocada, o relatório expressa a preocupação com as consequências globais da atividade humana em relação à poluição, exaustão de recursos e aos perigos da degradação ambiental para as gerações futuras”, completa, salientando as contradições do texto.

Mesmo carregando incoerências, herança dos pensamentos anteriores da agenda ambiental, o relatório consistiu em um dos maiores marcos acerca da sustentabilidade. Novis (2014) afirma que juntamente com a publicação do mesmo, a descoberta do buraco na camada de ozônio, o acidente de Chernobyl, e o surgimento de novas lideranças políticas preocupadas com essas questões, como Ronald Reagan e Margareth Thatcher, o pensamento ambiental voltou à tona. Desta forma, 1987 se caracterizou como o período de transição entre esta e a próxima fase.

### **2.1.3 Terceira Fase**

Iniciou-se assim a curta terceira fase, denominada por Elkington de “Segunda Onda”, durando apenas dois anos, de 1988 à 1990. Nela, o principal acontecimento associado foi o desastre ecológico do navio petroleiro Exxon Valdez, no Alasca, em 1989.

O navio atravessava o Estreito Príncipe William, uma delgada faixa de mar ladeada por montanhas e povoada por uma rica fauna, quando naufragou e derramou, segundo a revista Times, 42 milhões de litros petróleo, causando uma das piores marés negras da história. Milhares de animais morreram no desastre, dos quais até hoje inúmeras espécies se recuperam.

O acidente impulsionou a causa ecológica, cuja opinião pública mundial partilhava da mesma comoção causada por Exxon Valdez. Devido ao ocorrido, o uso de termos como “auditoria ambiental”, “ecoqualificação”, “avaliação do ciclo de vida” e “projeto para o meio ambiente” passaram a tornar-se cada vez mais frequentes nos grandes centros empresariais (BARROS; BASTOS, 2015).

### **2.1.4 Quarta Fase**

A quarta fase iniciou-se em 1991, chamada de “Segunda Maré Baixa”. Caracterizou-se por um período de instabilidade internacional, ocasionado por guerras (como da Somália e do Golfo) e colapso de antigas estruturas políticas, perdurando até 1998. Entretanto, mesmo com o cenário da época, reuniões ocorrem produzindo materiais relevantes para a causa.

Em 1992 ocorreu a Cúpula da Terra, mais conhecida como Rio-92, na cidade do Rio de Janeiro. Nesse encontro de líderes mundiais foram discutidos, dentre outros tópicos, os meios de produção, as fontes de energia, o transporte público, e a escassez de água. O legado deixado pela conferência foi a produção de alguns documentos, dentre ele em destaque, a Agenda 21 e a Declaração do Rio. Segundo Martins (2010), ambos definiam o contorno de políticas essenciais para alcançar um modelo de desenvolvimento sustentável que pudesse atender os pobres ao mesmo tempo que reconhecesse os limites do desenvolvimento.

A Agenda 21 é um diagrama para a proteção do planeta nas bases ambiental, social e econômica, sendo assinada por 178 governos. Nela os governos delinearam um programa detalhado para direcionar as atividades mundiais para a proteção e renovação de recursos naturais, se comprometendo a refletir, tanto global quanto localmente, sobre como podem cooperar no estudo de soluções para um desenvolvimento sustentável. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (s.d.), é um instrumento de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis, ou seja,



ela não é apenas um conjunto de ideais, mas também apresenta meios de como executá-las, sendo assim um documento de grande importância para embasar diversas iniciativas. Desta forma, cada país desenvolveu sua própria Agenda 21, a qual aborda os principais problemas de forma única, e apresenta planos de ação para áreas em que há impactos ao meio ambiente causado pela ação antrópica (MOTTA; AGUILAR, 2009).

Já a declaração do Rio reafirma os princípios uma vez estabelecidos em Estocolmo em 1972. Reforça orientações importantes de outras negociações internacionais na área ambiental e o princípio das responsabilidades comuns, mas diferenciadas, dos Estados, das quais todos os países compartilham os mesmos objetivos comuns e metas para reduzir a degradação ambiental, mas apresentam diferentes capacidades e recursos para alcançá-los (ANA, s.d.).

A Rio-92 marcou um período crucial na história do pensamento ambiental, uma vez que introduziu como foco do desenvolvimento sustentável a concepção do equilíbrio do tripé economia, social e ambiental (MOTTA; AGUILAR, 2009), conforme mostrado na Figura 1.



**Figura 1:** Esquema que representa os parâmetros para se alcançar o desenvolvimento sustentável.

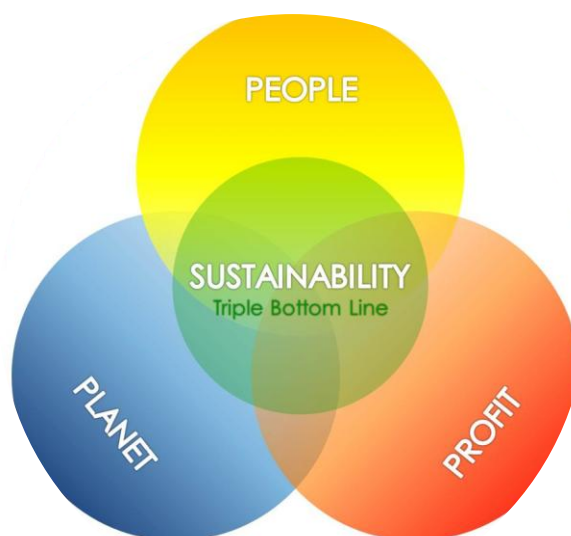
Fonte: MOTTA; AGUILAR, 2009

Como acontecimento final deste período, em 1997 foi aprovado na cidade de Kyoto, Japão, um acordo internacional que estabelece que os países desenvolvidos devem reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa. O Protocolo de Kyoto precisou que 55 dos países que juntos, produziam 55% das emissões mundiais o ratificassem.

O protocolo estabelece a redução de emissão de gases em pelo menos 5,2% em relação aos níveis apresentados em 1990. Tal meta deveria ser atingida entre 2008 e 2012, no entanto, segundo Tuffani (2015), o acordo fracassou, uma vez que as emissões mundiais cresceram 16,2% entre 2005 e 2012. Apesar de não ter sido eficiente em cumprir suas metas, o Protocolo de Kyoto proporcionou um legado às décadas seguintes: o incentivo massivo ao uso de fontes de energia renováveis.

### 2.1.5 Quinta Fase

A quinta fase citada por Elkington (2012) foi a “Terceira Onda”, ocorrendo entre 1999 e 2001, última fase citada pelo autor em seu livro. Tendo a globalização como palavra de ordem, tal período é sustentado por um novo tripé da sustentabilidade, nada mais que uma evolução do anterior. O conceito conhecido com *triple bottom line*, refere-se às pessoas, planeta e lucro (“*people – planet – profit*”). Corresponde aos resultados de uma organização medidos em termos sociais, ambientais e econômicos, esquematizado na Figura 2.



**Figura 2:** Esquema que representa os parâmetros do *Triple Bottom Line*. Fonte: <http://www.druckernetimpact.wordpress.com>, s.d.

Em recente artigo escrito por Elkington (2014), para a *Corporate Social Responsibility Newswire*, afirma que a “Terceira Onda” do movimento ambiental foi abalada pelo atentado terrorista de 11 de setembro em 2001, nos Estados Unidos. Segundo o mesmo, o mundo presenciou um período cujas questões sobre segurança foram muito mais relevantes do que a agenda ambiental.

Durante o período de transição entre a quarta fase e a atual, aconteceu a Rio +10, de Johannesburgo em 2002. A Rio +10, conhecida também como Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, não teve como intuito propor novos

compromissos às nações envolvidas, mas na verdade realizar um diagnóstico dos progressos obtidos assim como dos obstáculos encontrados desde que foram firmados os compromissos na Rio-92. Com isso, a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável objetivava encontrar as razões pelas quais os avanços ao tentar cumprir as metas anteriores foram tão discretos, e ainda, apontar medidas a serem tomadas de modo que sua realização fosse viabilizada. (ANA, s.d.)

Segundo Malheiros e Philippi (2012) “houve uma percepção de que pouco havia sido feito em relação às diretrizes anteriormente acordadas [na ECO-92]. Embora muitos dos países tenham construído suas Agendas 21 (...)” o mundo deveria ter progredido de 18 forma mais práticas na busca do desenvolvimento sustentável. Malheiros e Philippi fazem um paralelo dessa falta de avanço com o crescimento econômico e concorrência internacional que levavam a alguns países a priorizar políticas mais tradicionalmente concretas, como emprego e segurança pública (MEDEIROS, 2013).

## **2.3 A sustentabilidade no período atual**

Para Elkington (2014), o mundo vivencia o início de uma quarta onda ambiental, cuja palavra foco finalmente é a sustentabilidade. Uma série de acontecimentos se realizaram desde 2010, entre eles cinco Conferências do Clima, organizadas anualmente pela ONU nos últimos cinco anos, e a Rio +20, novamente na cidade do Rio de Janeiro.

As Conferências do Clima iniciaram-se com a Conferência do México (COP 16), em Cancun. Tinha como objetivo avançar nas negociações sobre a redução de emissão dos gases causadores do efeito estufa. Debateu-se sobre o Tratado de Kyoto e criou-se o Fundo Verde, que estabeleceu um apoio financeiro aos países pobres para combaterem o desmatamento criando-se meios de compartilhamento de tecnologia de geração de energia limpa (BACELLAR, 2014).

Cinco anos depois, a COP 20 de 2015 ainda “encoraja”, mas não “decide”. Pede aos países desenvolvidos que tomem iniciativas para conter sua poluição entre 2015 e 2020, porém sem medidas de controle. No ano que vem, em Paris, os países se reúnem novamente para fechar o acordo definitivo para 2020, do qual será obrigatório a todos os países e deverá impactar diversos setores econômicos (Câmara dos Deputados, 2014).

Sobre a Rio +20, de 2012, com a volta do “pensamento verde”, ocorreu novamente a conferência para reafirmar a participação dos países envolvidos com o desenvolvimento sustentável, fruto da ECO-92 e Rio +10. Os principais temas discutidos foram a avaliação do que foi feito desde a Cúpula da Terra em relação ao meio ambiente, a importância e os processos da “Economia Verde”, maneiras de

eliminar a pobreza, além de ações e governança internacional para garantir o desenvolvimento sustentável (BARROS; BASTOS, 2015).

Mesmo tendo o documento final elaborado pela Rio +20 – “O Futuro que Queremos” – deixado lacunas, Serrão, Almeida e Carestia (2012) afirmam que a erradicação da pobreza ganhou grande destaque, além de previsão de cumprimentos efetivos de acordos de proteção da biodiversidade. Do ponto de vista do desenvolvimento sustentável, foi criado um fórum com intuito de revisar padrões de produção e consumo, incentivando o desenvolvimento de novos modelos sustentáveis, incluídos em um plano de trabalho para os próximos dez anos. Do ponto de vista de 19 indicadores, foi proposta uma alternativa ao conhecido PIB, englobando aspectos sociais e ambientais.

No Brasil, paralelamente, viu-se um forte acompanhamento das questões sustentáveis. Como exemplo, em 2010 foi criada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010. Seu objetivo era permitir o avanço do país em relação ao enfrentamento dos problemas sociais, ambientais e econômicos decorrentes da gestão inadequada dos resíduos sólidos. A lei prevê a prevenção e a redução na geração de resíduos, tendo como instrumento a prática de hábitos de consumo sustentável, o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos e a destinação ambientalmente correta daquilo que não pode ser reciclado ou reutilizado (CASA CIVIL, 2010).

Também, pode-se citar outras formulações na legislação brasileira que se alinham à agenda ambiental e diretrizes da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938), de 1981. Destacam-se, de acordo com MMA (s.d.):

- a) Decreto nº 5.940/2006 – instituiu a separação dos resíduos recicláveis descartados pelos órgãos e entidades da administração pública federal direta e indireta, bem como sua destinação às associações e cooperativas dos catadores de materiais recicláveis;
- b) Lei nº 12.349/2010 – que altera o Art. 3º Lei nº 8.666/1993 com a inclusão da Promoção do Desenvolvimento Nacional Sustentável como objetivo das licitações;
- c) Lei 12.187/2009 – Política Nacional de Mudanças Climáticas;
- d) Instrução Normativa nº 1/2010 do MPOG – estabelece critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras na Administração Pública Federal;
- e) ISO 2600 – Diretrizes sobre responsabilidade social.
- f) Lei 12.462/2011 – Regime Diferenciado de Contratações Públicas;

- g) Recomendação CONAMA Nº 12/2011 – indica aos órgãos e entidades do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) a adoção de normas e padrões de sustentabilidade;
- h) Projeto Esplanada Sustentável em 2012 – composto pela A3P do MMA, PEG/MPOG, do PROCEL/MME e da Coleta Seletiva Solidária da Secretaria Geral da Presidência da República, com metas de redução nos gastos e consumos pela administração pública federal;
- i) Decreto nº 7.746/2012 – determina a adoção de iniciativas, dentre elas a A3P, referentes ao tema da sustentabilidade pelos órgãos e entidades federais bem como suas vinculadas;
- j) Instrução Normativa Nº 10/2012: MPOG – estabelece as regras para elaboração dos Planos de Gestão de Logística Sustentável pela administração pública federal bem como suas vinculadas.

Desta maneira, percebe-se em escala global o momento de maior preocupação em se atingir padrões sustentáveis. Isso se confirma pela frequência de fóruns, congressos e seminários, desde níveis globais à locais, da flexibilidades dos países a adequarem suas legislações, assim como a abordagem do tema em instituições de ensino, provocando uma vasta produção de publicações, de cartilhas à artigos e teses científicas.

### **2.3.1 Desafios ao desenvolvimento sustentável**

Conforme discutido, tornar o desenvolvimento sustentável realidade significa mudança de fatores complexos, como comportamentos pessoais e sociais, assim como transformações nos processos de produção e consumo. Para tanto, faz-se necessário o desencadeamento de um processo de discussão e comprometimento de toda a sociedade. Essas características tornam, ainda hoje, o desenvolvimento sustentável um processo a ser tornado acessível e continuamente implementado.

O principal desafio da sustentabilidade é expresso na crença equivocada de que o mundo é um sistema aberto, no qual há fonte contínua e inesgotável de matéria e energia. Braga *et al* (2005) afirmam que para esse pensamento ser coerente e não afetar a vida, algumas premissas deveriam ser verdadeiras, como: suprimento inesgotável de energia; suprimento inesgotável de matéria; capacidade infinita do meio de reciclar matéria e absorver resíduos. Pode-se admitir que a energia solar é inesgotável, uma vez que o Sol ainda poderá fornecer energia à Terra por eras à frente. Entretanto, as questões que dizem respeito à matéria não são válidas. Outro limitante do desenvolvimento sustentável expressa-se no conflito entre agir como se a

Terra proveesse recursos infinitamente, mesmo sabendo que não, e o crescimento populacional contínuo, que todos os anos eleva a demanda e exploração.

Os materiais necessários ao desenvolvimento possuem quantidade finita, e segundo, Nóbile (2003), conhecida. Também, quanto a capacidade de absorver e reciclar matéria ou resíduos, a humanidade tem observado a existência de limites no meio ambiente, e tem de conviver com níveis indesejáveis e preocupantes de poluição do ar, da água e do solo e com a conseqüente deterioração da qualidade de vida.

Braga *et al* (2005) recomendam que um modelo deve funcionar como um sistema fechado, tendo como base premissas como: dependência do suprimento externo contínuo de energia (Sol); uso racional da energia e da matéria com ênfase à conservação, em contraposição ao desperdício; promoção da reciclagem e do reuso dos materiais; controle da poluição, gerando menos resíduos para serem absorvidos pelo ambiente.

Existe ainda um limitante essencial a ser enfrentado, e este está centrado na possibilidade de que os sistemas de informações e as instituições sociais se tornem facilitadores de um processo que reforce os argumentos para a construção de uma sociedade sustentável. Para tanto é preciso que se criem todas as condições para facilitar o processo, suprindo dados, desenvolvendo e disseminando indicadores e tornando transparentes os procedimentos. Isso pode ser realizado por meio de práticas centradas na educação ambiental que garantam os meios de criar novos estilos de vida e promovam uma consciência ética que questione o atual modelo de desenvolvimento, marcado pelo caráter predatório e pelo reforço das desigualdades socioambientais.

## **2.4 Sustentabilidade em obras de edificações**

### **2.4.1 Sustentabilidade na construção civil**

A construção civil é uma das atividades mais antigas e importantes para o desenvolvimento econômico e social de uma região. Ao mesmo tempo, comporta-se como grande geradora de impactos ambientais, tanto pelo consumo e exploração de matérias primas, como na modificação de paisagens e geração de resíduos.

Os anos de 1990 representaram um marco quanto à inclusão dos impactos da construção civil no meio ambiente nas discussões ao redor do mundo, traduzidas pela Rio-92. A partir dela, a Agenda 21 propiciou interpretações relevantes do tema, como: a “Agenda Habitat II”, assinada na Conferência das Nações Unidas e realizada em Istambul em 1996; a CIB2 “*Agenda 21 on Sustainable Construction*”, uma agenda para o setor da construção civil, publicada em 1999; e a CIB/UNEP3 “*Agenda 21 for*

*Sustainable Construction in Developing Countries*” (SILVA, 2013). Segundo a Agenda 21 do CIB (*International Council for Research and Innovation in Building and Construction*), a indústria da construção e o ambiente construído são fundamentais para o desenvolvimento sustentável da sociedade.

Os pontos mais significativos da Agenda 21 no contexto da construção no Brasil são apresentados na Tabela 1:

**Tabela 1:** Blocos da Agenda 21 para a construção civil brasileira. Fonte: Condeixa, 2013.

Bloco	Aspectos
Gerenciamento e organizações de processos	Definição de padrões e melhoria da qualidade ambiental das construções: projeto (de forma multidisciplinar e integrada), processo (melhorando a gestão, aumentando a segurança no ambiente de trabalho, integrando disciplinas, incluindo novas tecnologias, qualificando a mão de obra, reciclando e reutilizando Resíduos de Construção Civil – RCC, normalização e conscientização pública), produto.
Qualidade ambiental de edifícios	Processos e produtos de construção segundo aspectos de qualidade do ar interior; Avaliação ambiental dos edifícios, e de produtos para a construção com base em seu ciclo de vida; Seleção de materiais ambientalmente saudáveis; Poluição em canteiros e indústrias.
Redução de consumo de recursos naturais	Redução de desperdício e gestão de resíduos; Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição - RCD e aumento do uso de reciclados como materiais de construção; Uso racional de água; Uso racional de energia e aumento da eficiência energética do setor; Aumento da durabilidade e planejamento da manutenção; Melhoria da qualidade da construção.

Outro ponto balizador da Rio-92 ao setor foi o incentivo ao desenvolvimento de primeiras metodologias de avaliação ambiental de edifícios, de modo que auxiliassem ao cumprimento das metas ambientais locais estabelecidas pela conferência. Para Arantes (2008), com a difusão dos conceitos de projeto ecológico e construções verdes, as avaliações ambientais se tornaram necessárias para quantificar e qualificar os investimentos e benefícios da construção sustentável.

No Rio de Janeiro, por exemplo, a Rio+20 em 2012 marcou a construção civil, uma vez que o setor teve participação expressiva e fórum próprio para construções sustentáveis. E mais ainda, a notícia de sediar grandes eventos esportivos: Copa do Mundo de 2014 e Olimpíadas de 2016. O GBC (*Green Building Council*) do Brasil firmou inclusive um protocolo com o Comitê Olímpico Brasileiro para que as obras que servirão aos jogos sejam todas certificadas. Segundo o comitê olímpico, parte das obras foram pensadas como infraestrutura desmontável para ser empregada em obras

distintas ao fim dos eventos, onde aproximadamente 80% do material das construções será reaproveitado (RIO2016, s.d.).

Porém, apesar ser evidente o crescimento de práticas sustentáveis na construção civil do Brasil e do mundo, ainda há muito o que ser percorrido. Hoje, a sua representatividade na economia pode ser notada pelo dado de cerca de 40% da economia mundial provêm da participação da indústria da construção civil (BELTRAME, 2013). Isso se explica principalmente pelos países que ainda não alcançaram seu desenvolvimento pleno, como é caso do Brasil, cujas demandas por infraestrutura e habitação são muito elevadas.

Dos impactos das atividades relativas à construção, Beltrame (2013) lista alguns deles, mostrados na Tabela 2.

**Tabela 2:** Impactos da construção civil. Fonte: Beltrame, 2013

<b>Alguns impactos da construção civil</b>
A operação dos edifícios consome mais de 40% de toda energia produzida no mundo;
Consome 50% da energia elétrica e 20% do total de energia produzida no Brasil;
A construção civil gera de 35% a 40% de todo resíduo produzido na atividade humana;
Na construção e reforma dos edifícios se produzem anualmente perto de 400 kg de entulho por habitante;
A produção de cimento gera 8% a 9% de todo o CO <sub>2</sub> emitido no Brasil, sendo 6% somente na descarbonatação do calcário;
Assim como o cimento, a maioria dos insumos usados pela construção civil é produzida com alto consumo de energia e grande liberação de CO <sub>2</sub> ;
Consumo de 66% de toda a madeira extraída;
34% do consumo mundial de água.

Tendo em vista o cenário atual de degradação ambiental, a promoção da sustentabilidade se tornou discurso corrente na construção civil. Medidas alternativas que visam à redução dos impactos antrópicos são cada vez mais utilizadas. Em cada obra devem ser adotadas soluções que sejam economicamente viáveis e que resultem em sistemas construtivos e materiais que sejam integrados com o meio ambiente, que promovam o bem-estar e a justiça social e que sejam aceitos culturalmente (CBIC, 2008), isto é, que sejam comprometidas com os pilares do desenvolvimento sustentável.



## 2.4.2 Edifícios Sustentáveis

Qualquer edifício para ser plenamente sustentável deve buscar atender o tripé da sustentabilidade (*triple bottom line*), visto no Capítulo 2. Isto é, devem reduzir seus impactos no meio ambiente, devem ser inseridos no contexto urbano a qual pertence, de modo a promover a sustentabilidade sociocultural, e ainda, ser viável do ponto de vista econômico.

Pensar em um edifício isolado não faz sentido quando se trata as questões ambientais como a sustentabilidade dos espaços construídos pelo homem. Por ser sistêmica, a construção, para ser sustentável, deve ser elaborada integrada ao seu contexto. O ambiente externo é tão importante quanto o que ocorre nas dependências internas. Por isso, a comparação é a melhor forma de avaliar uma construção sustentável, a obra nunca está sozinha. Quando um edifício cumpre todos os pré-requisitos técnicos, respeita todas as normas éticas ambientais, apenas usa materiais adequados e mesmo assim se fecha para dentro, não condizendo com as necessidades do entorno, não se relacionando com o lugar na qual está inserido, abstraindo as outras construções e pessoas que convivem próximo, não estará sendo plenamente sustentável (MOTTA; AGUILAR, 2009).

Um edifício sustentável é o resultado de uma concepção centrada no aumento da eficiência dos recursos naturais (água, energia e materiais) com medidas e procedimentos construtivos, não afetando a saúde das pessoas e o meio ambiente, e gerando possíveis economias.

Uma edificação vista em todo o seu ciclo de vida gera resíduos, consome energia, materiais e produtos, emite gás carbônico na atmosfera, emprega, gera renda e impostos, entre outros inúmeros impactos em diferentes esferas. Ao mesmo tempo, tem um grande potencial no que diz respeito a implementação efetiva do desenvolvimento sustentável. Construir sustentavelmente significa reduzir o impacto ambiental, diminuir o retrabalho e desperdício, garantir a qualidade do produto com conforto para o usuário final, favorecer a redução do consumo de energia e água, contratação de mão de obra e uso de materiais produzidos formalmente, reduzir, reciclar e reutilizar os materiais (LOTTI, 2015).

Aplicando o conceito do *triple bottom line* para edifícios, seus principais conceitos são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3:** *Triple Bottom Line* aplicado à edificações. Fonte: <http://www.metodo.com.br>, s.d., adaptação própria.

Lucro
Reduzir custos de operação;
Elevar o valor do ativo imobiliário e os lucros;

Aumentar a produtividade e a satisfação dos empregados;
Otimizar o desempenho econômico no ciclo de vida.
<b>Pessoas</b>
Melhorar as condições do ar, térmicas e acústicas dos ambientes;
Elevar os níveis de salubridade e de conforto para os ocupantes;
Contribuir com a saúde, vitalidade e estética para a comunidade local.
<b>Planeta</b>
Desenvolver e proteger habitat naturais;
Melhorar a qualidade do ar e água
Reduzir a produção de resíduos sólidos;
Preservar recursos naturais;
Diminuir a emissão de gases poluentes.

Desta forma, percebe-se que o alcance do conceito de Edificação Sustentável exige que uma vasta gama de práticas e técnicas sejam utilizadas. De medidas destinadas à redução até a eliminação dos impactos das construções sobre o ambiente e a saúde humana.

Para se construir sustentavelmente são necessários estudos e pesquisas de novas tecnologias, cujas diretrizes estão presentes nos seis passos propostos por Yudelso (2007).

A primeira delas, é o “Planejamento do Espaço Sustentável”. O escopo desta diretriz é estudar o local no qual a edificação será construído, com o intuito de tomar decisões baseadas na melhor integração da construção com o ambiente, favorecendo o ambiente do entorno assim como a própria edificação. São observadas condições ambientais e climáticas da região, características do solo e relevo, uso e ocupação, assim como a distribuição de fornecimento de materiais. Por exemplo, um edifício sustentável precisa de abastecimento de materiais que sejam fabricados em locais próximos, de modo à reduzir os impactos de transportes.

Tais estudos permitem que o passo “Qualidade Ambiental Interna” seja executado, pois o posicionamento e orientação do edifício serão executadas de modo a maximizar, por exemplo, ventilação e iluminação naturais.

Outros dois passos são “Energia e Eficiência Energética” e “Uso Racional da Água”. Neles, medidas de conservação e economia de energia; geração da própria energia consumida por fontes renováveis; controle de emissões eletromagnéticas; e controle do calor gerado no ambiente construído e no entorno são incentivadas. Assim como o controle do consumo de água fornecido pela concessionária ou obtido junto a

fontes naturais (poços, poços artesianos, nascentes etc.); aproveitamento das fontes disponíveis; e aproveitamento das águas pluviais.

Por fim, tem-se a “Conservação dos Materiais e Recursos” e “Gestão dos Resíduos na Edificação”, cujo primeiro possui maior importância entre todos os seis passos no contexto deste trabalho.

Para o gerenciamento de resíduos nas edificações devem-se criar áreas para sua disposição aos próprios moradores/usuários; reduzir sua geração; reduzir emissão de resíduos orgânicos para processamento pelo poder público ou concessionárias; e incentivar a reciclagem de resíduos.

Quanto ao passo que diz respeito aos materiais, como já mencionado, os desenvolvimentos econômico e demográfico elevam as necessidades de construções, impulsionando as atividades relativas à construção civil. Com isso, a procura e uso de materiais também cresce, que muitas vezes tem matéria-prima em fontes não renováveis. Esse passo indica que em todas as fases de construção deve-se procurar optar pela utilização de materiais verdes. Podem ser obtidos pelo reaproveitamento de materiais que de outra forma se perderiam, além de evitar o uso abusivo de matérias-primas não renováveis na construção civil.

Hoje há diferentes opções de materiais sustentáveis para obras em edifícios. Eles estão disponíveis para as paredes, pisos, telhados e até para o acabamento e decoração dos imóveis. A cada dia a indústria vem desenvolvendo mais esses tipos de materiais, principalmente devido à época atual de incentivo ao desenvolvimento sustentável.

Como a escolha dos materiais de construção afeta o impacto ambiental de uma edificação, deve-se buscar a seleção de materiais e componentes que estejam o mais perto possível de seus estados naturais, ou seja, aqueles que necessitam de menor número de acabamentos ou beneficiamentos. Outro fator a ser considerado é a energia incorporada a cada material, onde o transporte e a vida útil do produto influem. Quanto mais locais e menos processados forem os materiais, menor será o transporte, a energia de fabricação e a poluição, menor será o impacto negativo e melhor será para o mercado de trabalho local (ROAF, 2006).

Sintetizando, as escolhas devem recair para aqueles que tenham o mínimo de processamento, produtos não tóxicos, e encontrados na região. Devem, sobretudo, ser duráveis e adequados ao uso a que se destinam. Também, devem contribuir na redução do impacto ambiental, avaliando o seu potencial de reutilização se a edificação for demolida, evitando, ao máximo, o uso de materiais artificiais.

## 3. Materiais de construção aplicados em obras de edificações

### 3.1 Levantamento geral dos principais materiais utilizados

A história da humanidade foi sempre marcada pelos materiais descobertos e utilizados, como ainda hoje é influenciada pela vasta abrangência dos materiais ao seu redor. Sua importância é tão marcante que é notada inclusive nos nomes das eras da ascensão do homem, como a Idade da Pedra, Idade do Bronze e a Idade do Ferro.

Materiais são substâncias cujas propriedades podem ser utilizadas direta ou indiretamente para inúmeros fins. Metais, cerâmicas, polímeros, semicondutores, vidros, fibras, madeira, areia, pedra e vários outros compósitos podem ser citados. Sua produção e processamento visando a produção de produtos acabados absorvem alta porcentagem dos empregos e grande parcela do produto interno bruto de um país (CAIADO, 2014).

A ligação principal dos materiais com a evolução das sociedades se dá devido sua dependência a eles, em especial à sua disponibilidade, assim como seu desenvolvimento. Caiado (2014) afirma que a história dos materiais se confunde com a história das civilizações, uma vez que o avanço dos grupos ao longo das eras exigiu o aperfeiçoamento dos materiais já conhecidos, a busca por novos, e o contínuo desenvolvimento tecnológicos para obtê-los ou fabricá-los.

Observa-se então que os materiais são sem dúvida parte integrante do cotidiano das pessoas. Representam a substância de trabalho para os pilares das sociedades e possuem função determinante para o desenvolvimento natural da vida, avanço econômico dos países, assim como bem-estar e segurança das nações.

Segundo Callister (2000), a classificação dos materiais se dá, basicamente, em seis grupos. São eles representados na Tabela 4.

**Tabela 4:** Classificação dos materiais. Fonte: Callister, 2000.

<b>Classificação dos Materiais</b>
Metais: Excelentes condutores de eletricidade e calor, muito resistentes e deformáveis.
Cerâmicos: Isolantes, resistentes a altas temperaturas e muito quebradiços.

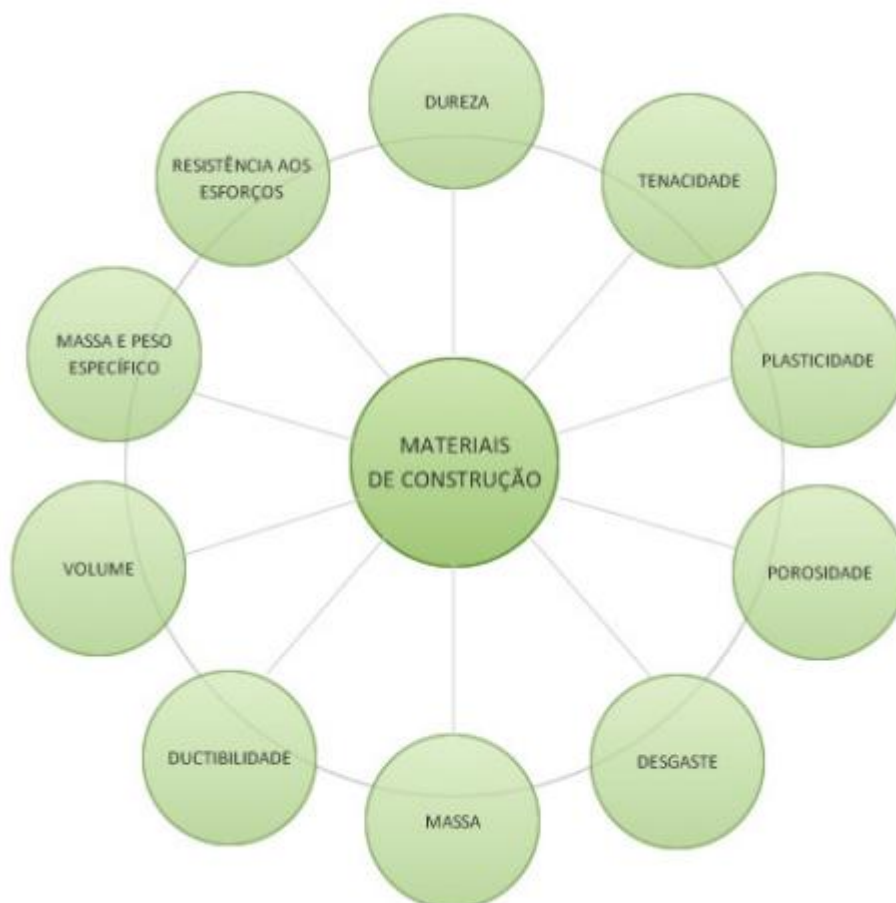
<p style="text-align: center;">Polímeros:</p> <p style="text-align: center;">Materiais de plástico e borracha, bastante flexíveis.</p>
<p style="text-align: center;">Compósitos:</p> <p>Mais de um tipo de material em sua constituição. Exemplo: fibra de vidro, que possui a resistência do vidro e flexibilidade do polímero.</p>
<p style="text-align: center;">Semicondutores:</p> <p style="text-align: center;">Muito presentes em componentes eletrônicos e computadores.</p>
<p style="text-align: center;">Biomateriais:</p> <p style="text-align: center;">Implantes de partes do corpo humano.</p>

Todas as transformações das matérias-primas até o produto final devem ser entendidas e preferencialmente, sempre estar associadas ao menor consumo de energia e ao respeito ao meio ambiente. Como quaisquer tecnologias de processamento, as fabricações dos produtos devem ter preocupações quanto ao esgotamento dos recursos naturais, preservação do meio ambiente e qualidade de vida.

Na construção, os materiais são definidos como todo e qualquer material utilizado na realização de qualquer produto da engenharia civil, desde relacionados à infraestrutura às edificações. Parte deles são utilizados há muitos anos praticamente da mesma forma, como o concreto, e outros que evoluem constantemente. E a evolução dos materiais de construção não é um processo recente, pois teve início desde os povos primitivos, que utilizavam os materiais assim como os encontravam na natureza, sem qualquer transformação.

Com a evolução do homem surgem necessidades que levam à transformação desses materiais de uma maneira simplificada, a fim de facilitar seu uso ou de criar novos materiais a partir deles. Assim, o homem começa a moldar a argila, a cortar a madeira e lapidar a pedra. Outro exemplo de evolução foi a descoberta do concreto que surgiu da necessidade do homem em um material resistente como a pedra, mas de moldagem mais fácil.

Os materiais construtivos podem ser simples ou compostos, obtidos diretamente da natureza ou resultado de trabalho industrial. Seu uso correto depende em grande parte da solidez, durabilidade, custo e acabamento das obras. A compreensão de suas propriedades possibilitam otimizar uma série de fatores de um empreendimento, que vão desde seu desempenho à sua viabilidade econômica. Algumas dessas propriedades são listadas na Figura 3.



**Figura 3:** Síntese das propriedades dos materiais construtivos. Fonte: Hagemann, 2011.

### 3.1.1 Metais

Os produtos siderúrgicos vêm ganhando cada vez mais espaço na construção de edifícios desde a revolução industrial. Sua matéria prima provém da mineração e suas características básicas são: brilho típico, opacidade, condutibilidade térmica e elétrica, dureza e forjabilidade (OLIVEIRA, 2009). Por estas características os metais são largamente utilizados em edificações principalmente como peças estruturais ou como fios e condutores elétricos.

Os metais são todos materiais de fonte não renovável, mas, em contrapartida, são altamente recicláveis e duráveis. Os mais comuns na construção de edifícios são listados e caracterizados:

O ferro é, indiscutivelmente, o metal de maior aplicação, podendo ser utilizado em estruturas, esquadrias, grades, condutores etc. O alumínio é outro metal bastante comum, provindo da mineração de bauxita. O Cobre e o Chumbo também têm sido utilizados em edificações como tubulações para água quente, condutores ou na fabricação de tintas.

O aço é outro material cujo uso vem crescendo nas edificações modernas, devido a seu elevado módulo de resistência, ele permite vencer grandes vãos com peças relativamente delgadas e leves. O aço é uma liga metálica composta principalmente do ferro e de carbono. Os elementos do material podem ser encontradas em: blocos (fundação); folhas ou placas (coberturas, lajes); barras – sólidas ou de partes delgadas; perfis dobrados - vigas, pilares. A forma mais comum de uso do aço nas edificações hoje é na armação do concreto armado (OLIVEIRA, 2009).

### 3.1.2 Rochas como materiais de construção

Para Hagemann (2011), como material de construção de edificações, as rochas podem originar elementos muito comuns na construção civil, como pedras brita, areia, componentes de misturas cerâmicas, pedras para revestimento e matérias primas da cal e do cimento.

As rochas mais utilizadas para a construção de edifícios, segundo Hagemann (2011), são: granitos, basaltos, dioritos, arenitos, calcários e dolomitos, ardósias, quartzitos, mármore e gnaisses. Suas principais aplicações são observadas na Tabela 5.

**Tabela 5:** Principais aplicações de rochas como materiais de construção de edificações. Fonte: Hagemann (2011).

<b>Principais aplicações de rochas em edificações</b>
<b>Granito</b>
Rocha ígnea, de formação plutônica.
Blocos de fundação; muros; calçamentos; agregado para o concreto; pisos; paredes; acabamentos.
<b>Basalto</b>
Rocha ígnea, de formação vulcânica.
Agregado para o concreto; calçamentos; alvenarias; pisos.
<b>Diorito</b>
Rocha ígnea, com características físico-mecânicas semelhantes aos granitos.
Agregado para o concreto; calçamentos; alvenarias; pisos.
<b>Arenito</b>
Rocha sedimentar, constituída basicamente de grãos de sílica ou quartzo.
Revestimentos de pisos e paredes.
<b>Calcários e dolomitos</b>
Rochas sedimentares carbonáticas.
Matéria prima para indústria cimenteira; de cal; vidreira; agregados.

<b>Ardósia</b>
Rocha metamórfica, originada a partir da rocha sedimentar siltito.
Telhas; pisos; calçamentos.
<b>Quartzitos</b>
Rochas metamórficas, originadas a partir dos arenitos.
Revestimentos; pisos; calçamentos.
<b>Mármore</b>
Rocha metamórfica, composição com mais de 50% de minerais carbonáticos.
Revestimento de ambientes internos; pisos; paredes; acabamentos.
<b>Gnaisses</b>
Rocha metamórfica, composta principalmente de quartzo e feldspato.
Ornamentação; agregados.

### 3.1.3 Agregados

Os agregados são o recurso natural mais consumido no mundo, e constituem em cerca de 85% a massa dos produtos cimentíceos. Seu consumo representa aproximadamente 20.000 milhões de toneladas/ano (ALMEIDA, 2014).

A NBR 9935 define agregado como o material granular pétreo, sem forma ou volume definidos, a maioria das vezes quimicamente inerte, obtido por fragmentação natural ou artificial, com dimensões e propriedades adequadas a serem empregados em obras de engenharia.

Quanto suas propriedades, podem ser classificados como leves, normais ou pesados, de acordo com sua massa específica aparente, ou conforme sua composição mineralógica, que pode ser proveniente da decomposição de rochas ígneas, metamórficas, ou sedimentares (SOUZA, 2012).

Também, são classificados de acordo com o tamanho dos grãos. Segundo a NBR 7211, tem-se:

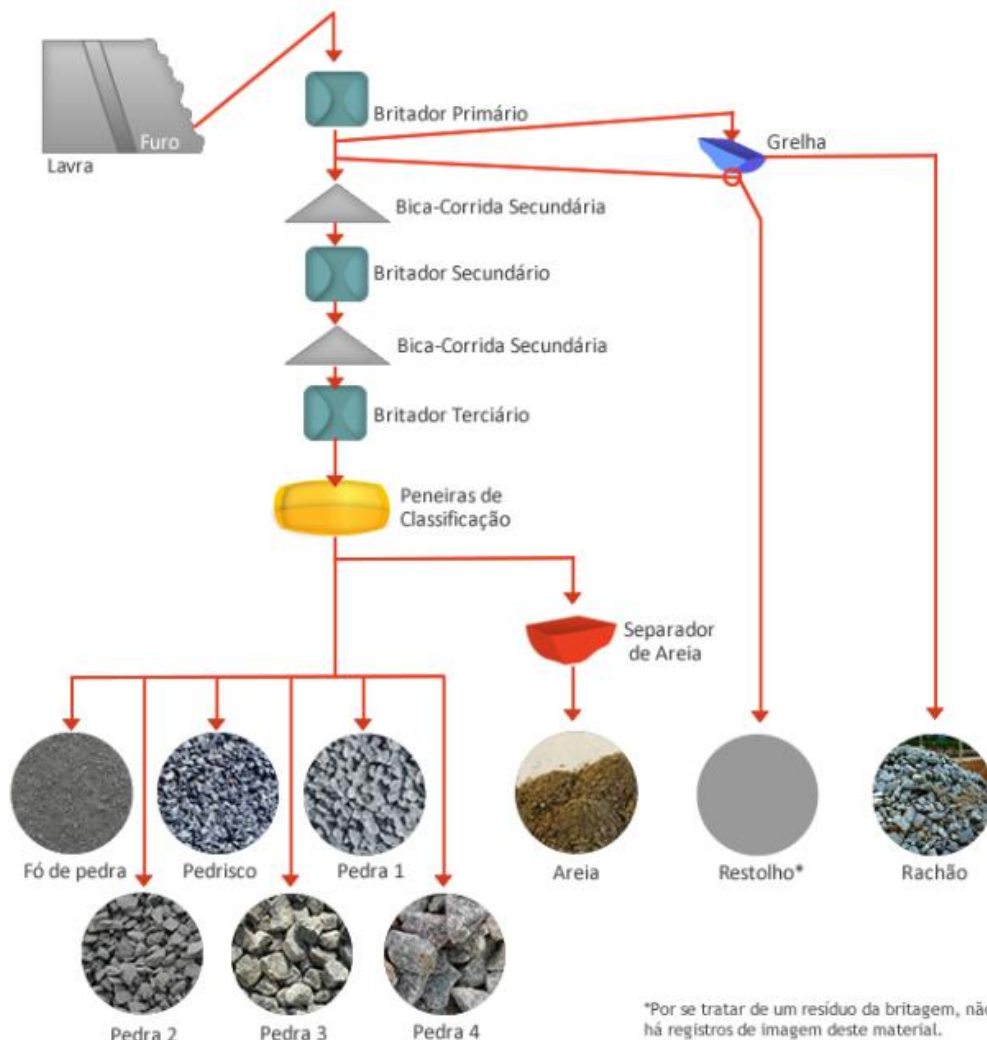
- a) Agregado miúdo: materiais cujos grãos, em sua maioria, passem pela peneira ABNT 4,75 mm e fiquem retidos na peneira 150 µm. Exemplo: areias.
- b) Agregado graúdo: materiais cujos grãos passam pela peneira de malha 75 mm e ficam retidos na peneira 4,75 mm. Exemplo: Cascalhos e britas.

Dentre os agregados, Hagemann (2011) define pedra brita como um agregado originado da britagem ou diminuição de tamanho de uma rocha maior, que pode ser do tipo basalto, granito, gnaiss, entre outras. O processo de britagem dá origem a diferentes tamanhos de pedra que são utilizadas nas mais diversas aplicações. De



acordo com a dimensão que a pedra adquire depois da britagem, recebe nomes diferentes.

Seu processo de fabricação começa com a extração dos blocos, que são fragmentados de rochas retiradas de jazidas. O esquema geral do processo de britagem é representado na Figura 4.



**Figura 4:** Esquema do processo de britagem. Fonte: Hagemann, 2011.

As principais aplicações dos produtos de britagem na construção de edificações são destacadas por Hagemann (2011) como no uso de argamassas e fabricação do concreto.

Já a areia é um agregado miúdo que pode ser originado de fontes naturais, como leitos de rios, ou de processos artificiais, como a britagem. Seu tamanho também produz uma classificação, a partir de faixas granulométricas. Pela NBR 7225, tem-se que:

- Areia fina: de 0,075 a 0,42 mm;
- Areia media: de 0,42 a 1,3 mm;
- Areia grossa: de 1,2 a 2,4 mm.

Hagemann (2011) também define alguns de seus usos na construção, tais como preparo de argamassas, concreto betuminosos, concreto de cimento Portland, entre outros.

Os cascalhos por sua vez tem sua denominação genética de seixos, originários de fragmentos de rochas preexistentes e se enquadram numa faixa granulométrica, variável de 2 a 2,56 mm de diâmetro, sendo chamados agregados graúdos. É definido como depósito, nível ou acumulação de fragmentos de rochas e/ou minerais mais grossos do que areia, principalmente com tamanho de seixos. É um agregado de origem natural e tamanho graúdo.

### **3.1.4 Materiais cerâmicos**

Os materiais cerâmicos são conhecidos desde os tempos mais remotos. Eles têm seu nome derivado da palavra grega “keramus”, que significa barro queimado, pois os utensílios feitos desse material, como painéis e vasilhames de água, eram obtidos à partir da argila moldada e submetida à queima. Atualmente, este termo se refere também a todo material inorgânico não metálico obtido após tratamento térmico a altas temperaturas, por exemplo: pisos, louças para banheiro, vidros, fibras óticas, utensílios culinários, combustível nuclear, implantes ósseos e dentários, entre outros. Esta classe de materiais apresenta propriedades específicas como alta estabilidade química, resistência à corrosão e ao calor, entre outras.

Os elementos mais comumente utilizados em edifícios são:

- a) Blocos e tijolos, que podem ser divididos basicamente em maciços ou vazados. Atualmente, sua maior aplicação em edificações é na confecção de paredes, alvenarias de vedação, ou com função estrutural;
- b) Telhas cerâmicas. Também são comuns na cobertura de edificações, seu processo de fabricação das telhas é semelhante ao dos tijolos;
- c) Revestimentos cerâmicos. Os materiais cerâmicos também são muito usados no acabamento das edificações, como é o caso de revestimento de pisos e paredes com placas cerâmicas.

### **3.1.5 Aglomerantes**

Aglomerantes são materiais definidos com produtos empregados na construção civil com finalidade de fixar ou aglomerar outros materiais. Os termos mais conhecidos para as misturas de um aglomerante com materiais específicos são: pasta, mistura de aglomerante e água; argamassa, mistura de aglomerante, agregado miúdo e água; e concreto, mistura de aglomerante, agregado miúdo, agregado graúdo, e água. O concreto por si só é um dos materiais mais importantes da construção civil.

O gesso é um aglomerante obtido a partir da eliminação parcial ou total da água de cristalização contida em uma rocha natural chamada gipsita, que ocorre na natureza em camadas estratificadas (HAGEMANN, 2011).

Sua obtenção ocorre por meio de três etapas: extração da rocha, a diminuição de tamanho da mesma por processos de trituração, e a queima do material. A última etapa também é conhecida como calcinação, consistindo em expor a rocha a temperaturas que podem variar de 100 à 300°C, obtendo o gesso com a liberação de vapor d'água. Essa variação de temperatura influencia no produto final obtido.

Seu uso principal é em acabamentos de interiores, para obtenção de superfícies lisas, podendo substituir a massa corrida e a massa fina. Atualmente, o gesso é empregado em larga escala no formato de placas, as chamadas paredes leves ou drywall. São placas utilizadas em forros, divisórias, acabamentos em paredes de alvenarias brutas, em retrofits, para melhorar vedações térmicas ou acústicas do ambiente, entre outras aplicações.

Outro aglomerante bastante utilizado é a cal. É obtida pela calcinação da rocha calcária, composta principalmente por óxidos de magnésio, sílica, óxidos de ferro e óxidos de alumínio (HAGEMANN, 2011). O processo de obtenção consiste resumidamente na extração da rocha e queima (calcinação), cujo produto de queima é denominado de cal viva ou virgem. Esse produto da calcinação, para ser utilizado como aglomerante, precisa ser transformado em hidróxido. Com a adição da água o produto resultante é a cal extinta. É principalmente usada, por exemplo, em argamassas de assentamento e revestimento, pinturas, fabricação de blocos sílico-calcários.

Por fim, dentre os aglomerantes mais comuns, tem-se o cimento. É um aglomerante hidráulico, produzido a partir de uma mistura de rocha calcária e argila. A calcinação dessa mistura dá origem ao clínquer: produto de natureza granulosa, cuja composição química é constituída essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com certa proporção de outras substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego (HAGEMANN, 2011). Dentro os constituintes principais do cimento, pode-se citar, de acordo com Oliveira (2008): cal, sílica, alumina, óxido de ferro, magnésia, impurezas.

O processo de fabricação do cimento passa pelas seguintes etapas resumidamente: extração da matéria prima, britagem e depósito das rochas, mistura das matérias-primas, homogeneização, queima, resfriamento, adições e moagem.

A Figura 5 representa o esquema com as principais etapas de fabricação do cimento.

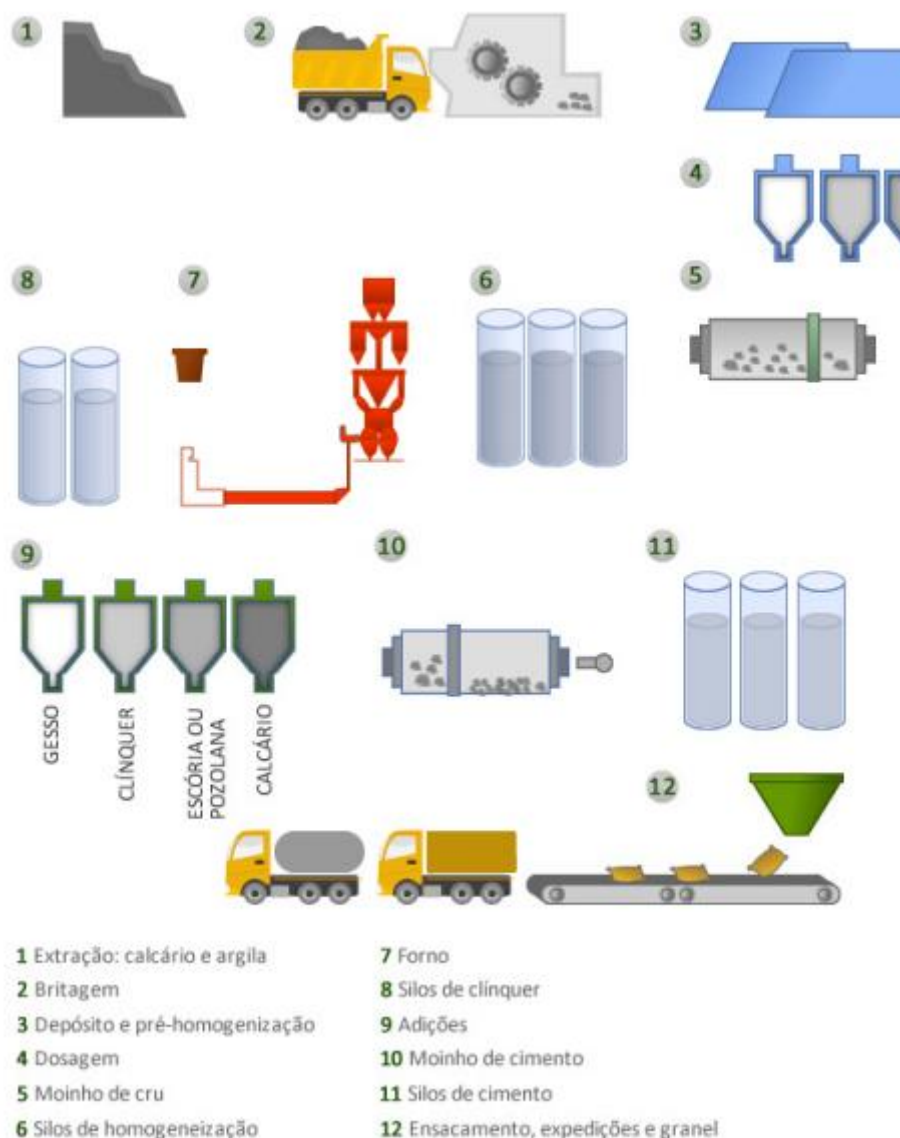


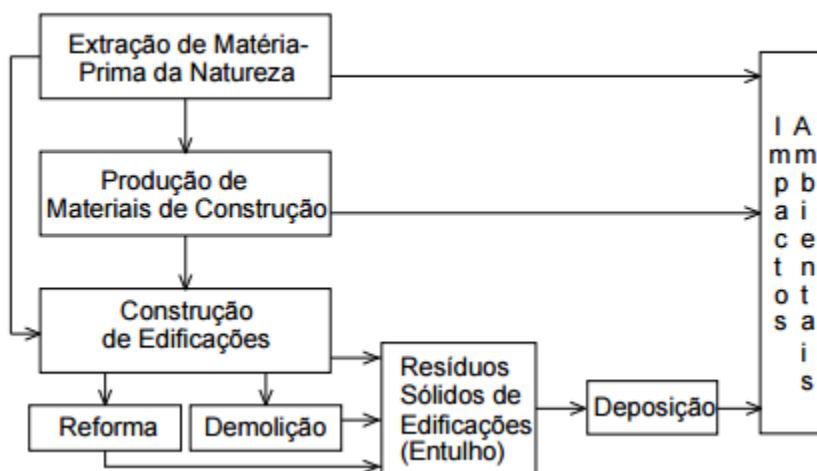
Figura 5: Processo de produção do cimento. Fonte: Hagemann, 2011.

### 3.2 Materiais de construção e o Meio Ambiente – Uma abordagem da edificação *do berço à cova*

Os materiais de construção são os principais elementos da edificação que ditam seus impactos ao meio ambiente durante todo seu ciclo de vida. Sendo assim, para um entendimento sistêmico das questões ambientais relativas ao uso de materiais construtivos, uma abordagem da edificação *do berço à cova* pode ser utilizada.

Considerando um edifício como um grande conjunto de materiais diferentes, cujas matérias primas são extraídas da natureza, produzidas em materiais de construção para serem usados na etapa de construção, consumindo novos materiais durante o uso se houver reformas, e por fim, ao final de seu uso, gerando resíduos

sólidos a partir de sua demolição, tem-se a sintetização da relação materiais, ciclo de vida da edificação, e a geração de impactos. A Figura 6 ilustra essa cadeia da construção civil.



**Figura 6:** Cadeia da construção civil e seus impactos ambientais. Fonte: Roth e Garcias, 2009.

Durante a fase de extração de materiais ou matérias-primas para a construção civil o volume das áreas degradadas depende do tipo de mineração, da quantidade de materiais retirados e dos rejeitos produzidos (Ambiente Brasil, 2007).

Desta forma, a formação de áreas degradadas tem início já na fase de extração de recursos naturais. A retirada de matéria-prima pode resultar em uma série de impactos, como a extinção e escassez de fontes e jazidas, alterações na flora e fauna do entorno destes locais de exploração, reconfiguração das superfícies topográficas, aceleração do processo erosivo, modificações de cursos d'água, interceptação do lençol freático, aumento da emissão de gases e partículas em suspensão no ar, aumento de ruídos e propagações de vibrações no solo, tudo isto resultando em áreas degradadas.

A mineração de materiais de uso imediato na construção, como areia, brita e argila, aliada à outras formas de uso e ocupação do solo, vem gerando uma diminuição das jazidas disponíveis para o atendimento das demandas das principais regiões do país, em especial no sul e sudeste do país. De acordo com Roth e Garcias (2009), em São Paulo, por exemplo, o esgotamento das reservas próximas da capital faz com que a areia natural já esteja sendo transportada de distâncias superiores a 100 km, resultando em significativo aumento no consumo de energia e geração de poluição.

Na fabricação de materiais de construção também há modificações ambientais. Por exemplo, o setor siderúrgico provoca grandes impactos de poluição atmosférica. Emite uma série de óxidos de enxofre, gás sulfídrico, óxidos de nitrogênio, monóxido

de carbono, dióxido de carbono, metano, etano, material particulado e diferentes hidrocarbonetos orgânicos, como o benzeno. Ressaltando que emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> contribuem para o aumento da quantidade de poluentes na atmosfera, resultando em possíveis mudanças climáticas (MILANEZ; PORTO, 2008).

Souza et al (2015) apontam que a cadeia produtiva de ferro gusa no Pará é uma das que mais agride o meio ambiente. Indicam que são desmatados todo ano até

cinco milhões de metros cúbicos de florestas nativas no estado para a produção de carvão vegetal. Sabendo que a produção de uma tonelada de ferro gusa requer cerca de 875 kg de carvão vegetal, são necessários 2,6 mil kg de madeira seca (que, em média tem uma densidade de 306kg/m<sup>3</sup> em matas nativas). Desta forma, tal matéria prima necessitaria de um desmatamento de uma área de pelo menos 600 metros quadrados.

Outro material comum que proporciona alterações no ambiente é o cimento. Na sua produção é gerada uma considerável quantidade de CO<sub>2</sub>, que é liberada na atmosfera, causando prejuízos ao meio ambiente e à saúde humana. Souza et al (2015) salientam que o principal material para construção e segundo produto mais vendido no mundo, ao mesmo tempo que sua indústria é responsável por 7% de emissão de gás carbônico na atmosfera, só no Brasil são lançados 22,8 milhões de toneladas por ano.

De acordo com AMDA (2011), nas fases extração de matéria prima e produção de cimento, pode-se destacar a extração do calcário, que gera alterações no relevo natural; possíveis erosões; perda de patrimônio arqueológico e espeleológico; danos à flora, fauna e recursos hídricos; gasto de combustíveis fósseis; produção de resíduos; emissão de gases causadores do efeito estufa. Na industrialização, há os gastos de recursos naturais diversos e de quantidade exorbitante de energia elétrica; geração de efluentes líquidos e gasosos e geração de resíduos sólidos; gasto de combustíveis fósseis e alta emissão de gases poluidores.

Complementando, as empresas de fabricação de cimento estão entre as maiores fontes de emissão de poluentes atmosféricos perigosos, dentre os quais destacam-se: dioxinas e furanos; os metais tóxicos como mercúrio, chumbo, cádmio, arsênio, antimônio e cromo; os produtos de combustão incompleta e os ácidos halogenados (SOUZA *et al*, 2015).

Já durante a obra e ao término da mesma há outro problema relacionado aos materiais: a questão dos resíduos gerados e sua destinação. E estes resíduos, quando dispostos de maneira inadequada em lixões, áreas próximas a rios e córregos, em vias públicas e até mesmo em aterros controlados, trazem problemas à saúde e ao meio

ambiente, provocando o surgimento de vários pontos de áreas degradadas espalhadas pelos centros urbanos.

Como exemplo, há impactos gerados pelos resíduos de gesso. Constituído de sulfato de cálcio di-hidratado, em contato com o oxigênio da água oxida-se e torna-se tóxico para o meio ambiente: a solubilização do material provoca a sulfurização dos solos e a contaminação dos lençóis freáticos. Sua disposição inadequada ou em aterros sanitários comuns pode provocar a dissolução dos componentes e torná-lo inflamável. O ambiente úmido, associado às condições aeróbicas e à presença de bactérias redutoras de sulfato, permite a dissociação dos componentes do resíduo em dióxido de carbono, água e gás sulfídrico, que possui odor característico de ovo podre. A incineração do gesso também pode produzir o dióxido de enxofre, um gás tóxico. As possibilidades de minimizar o impacto ambiental, portanto, são a redução da geração do resíduo, a reutilização e a reciclagem, desde que não haja contaminação no gesso (HENDGES, 2013).

## 4. Fatores que impulsionam a sustentabilidade no uso de materiais de construção

### 4.1 Certificações de desempenho ambiental

Um dos maiores fatores atuais que estimulam o uso de materiais de construção mais sustentáveis em edificações são as certificações ambientais para construções. Explica-se pelo contexto de preocupação ambiental compartilhado na construção civil, e principalmente, devido ao status que uma edificação certificada ganha a partir do aumento de seu valor agregado e da boa recepção pela população.

O interesse do mercado brasileiro da construção civil por certificações ambientais tem crescido cada vez mais. Tomando a procura pelo selo LEED como exemplo, segundo uma pesquisa realizada pelo GBCI, em 2014 o Brasil passou a ocupar a terceira posição no *ranking* dos países com o maior número de edifícios em processo da certificação, atrás apenas dos Estados Unidos e China (MATOS, 2014).

Os dois sistemas mais utilizados no Brasil são os LEED e AQUA, segundo a autora. Porém, outras certificações que abrangem a gestão e escolha de materiais estão disponíveis no mercado brasileiro, como o Qualiverde (cidade do Rio de Janeiro), o Selo Caixa Azul, assim como os recentes no país BREEAM e DGBE.

#### 4.1.1 LEED

A certificação LEED foi desenvolvida pela USGB (*U.S. Green Building Council*), instituição americana que busca promover edifícios sustentáveis e de ambiente agradável para os usuários. Consiste em um sistema internacional de certificação e orientação ambiental de construções, presente em mais de 130 países.

No país é representada pelo GBC-Brasil (Conselho de Construção Sustentável do Brasil), lançada em 2007, disponibilizando oito tipos diferentes de selos LEED. São eles: LEED NC, para novas construções ou grandes projetos de renovação; LEED ND, para projetos de desenvolvimento de bairro; LEED CS, para projetos na envoltória e parte central do edifício; LEED *Retail* NC e CI, para lojas de varejo; LEED *Healthcare*, para unidades de saúde; LEED EB-OM, para projetos de manutenção de edifícios já existentes; LEED *Schools* para escolas e LEED CI, para projetos de interior ou edifícios comerciais (LOTTI, 2015).

No Brasil, as categorias que tem maior aderência são o LEED CS e o LEED NC.

Além disso, em 2011 a GBG Brasil constatou que o Rio de Janeiro era o segundo maior detentor de certificações LEED (12%), sendo superado apenas por São Paulo



(66%). A grande adesão do setor da construção civil ao selo é explicada pelo fato de existir uma gama de empresas multinacionais no Brasil, que introduzem a cultura das edificações sustentáveis e o reconhecimento internacional da certificação LEED.

É possível obter quatro níveis diferentes da certificação, no qual para cada nível o empreendimento deve estar em uma faixa específica de pontuação, como mostra a Tabela 6 para a última versão traduzida do LEED: a terceira versão, de 2009.

**Tabela 6:** Níveis de certificação LEED NC. Fonte: Martins, 2010.

Selo	Pontuação
Certificado	40 - 49 pontos
Prata	50 – 59 pontos
Ouro	60 – 79 pontos
Platina	A partir de 80 pontos

A pontuação é dada a partir de sete categorias globais que o sistema considera. Todas elas possuem pré-requisitos (práticas obrigatórias) e créditos, recomendações que quando atendidas garantem pontos a edificação. O nível da certificação é definido conforme a quantidade de pontos adquiridos, podendo variar na versão de 2009 de 40 pontos, nível certificado, à 110 pontos, nível platina. As categorias avaliadas são apresentadas na Tabela 7.

**Tabela 7:** Critérios de atendimento LEED. Fonte: <http://www.gbcbrazil.org.br/>, 2009 (grifo próprio).

Critérios globais
Espaço sustentável (SS)
Eficiência do uso da água (WE)
Energia e Atmosfera (EA)
Materiais e Recursos (MR)
Qualidade ambiental interna (EQ)
Inovação e Processos (IN)
Créditos Regionais (CR)

Esse tipo de avaliação possui a característica de permitir ao edifício uma boa classificação final, se este obtiver bom desempenho em determinada categoria, mesmo apesar de possuir o mínimo de cumprimentos admitido em outra, o que resulta na classificação apenas do desempenho geral do edifício.

No quesito materiais e recursos, item de maior importância nesta pesquisa, os requisitos são:

- a) Reutilização de edifício: taxa de paredes, pesos e telhados preservados;
- b) Gestão de RCD: taxa de resíduos não enviados para aterros;

- c) Reutilização de recursos: fração de materiais de construção que são reutilizados com o objetivo de reduzir a demanda de recursos virgens;
- d) Materiais com conteúdo reciclado: conteúdo de resíduos pós-consumo e resíduos industriais;
- e) Materiais regionais e locais: fração de componentes que são montados ou totalmente fabricados dentro de um raio de 800 quilômetros;
- f) Materiais rapidamente renováveis: materiais de longo ciclo de renovação substituídos por outros plantados ou colhidos dentro de um ciclo de 10 anos;
- g) Uso de madeira certificada: madeira certificada “rate” de certificação de Madeira pela FSC, e produtos baseados em madeira;
- h) Materiais de baixa emissões: adesivos e selantes, tintas, compósitos de madeira e carpete.

A porcentagem máxima de pontos que poderá ser alcançada por esta categoria é de 19%, representando até 13 pontos, o que faz com que esta seja a quarta categoria com maior peso em relação às práticas exigidas. Como obrigatoriedade da categoria, são determinados a coleta e o armazenamento de material reciclável produzido pelos usuários do edifício (SILVA, 2013). Sua distribuição de pontos pode ser vista Tabela 8.

**Tabela 8:** Pontuação relativa aos materiais e recursos – LEED. Fonte: Silva, 2013.

<b>Materiais e recursos (19%) até 13 pts</b>	
<b>1.Reutilização de edifício</b>	<b>Até 3</b>
<b>2.Gestão de RCD</b>	<b>Até 2</b>
<b>3.Reutilização de recursos</b>	<b>Até 2</b>
<b>4.Materiais com conteúdo reciclado</b>	<b>Até 2</b>
<b>5.Materiais regionais/locais</b>	<b>Até 2</b>
<b>6.Materiais rapidamente renováveis</b>	<b>1</b>
<b>7.Uso de madeira certificada</b>	<b>1</b>

No entanto, uma nova versão da certificação, chamada LEED versão 4, está em processo de implementação no Brasil. Devido à pouca informação oficial disponível acerca da nova versão, optou-se por descrever a versão 3, como visto no presente item, e a seguir listar algumas mudanças coletadas que ocorrerão na certificação quanto a abordagem dos materiais.

Na versão vigente, de 2009, a pontuação é obtida por exemplo, com a utilização de materiais regionais (provenientes de um raio de até 800km do local de obra), com conteúdo reciclável (pós ou pré-consumidor) ou facilmente renováveis (que são repostos pela natureza em no máximo 10 anos). Com a nova versão, segundo Boni (2015), seria necessário demonstrar uma prova mais convincente: a certificação de terceiros sobre seus ingredientes, demonstrar sua origem, a forma de extração e

como ocorre o descarte no final do processo, conforme o cumprimento de diversas normas ISO.

Boni (2015) aponta que o novo sistema de créditos apresenta três novas formas de abordar os materiais para obtenção de pontos. São elas:

- a) Divulgação e otimização de produtos da construção - declaração de produtos ambientais;

A intenção é encorajar a seleção de produtos cujos fabricantes tenham prova de melhores ciclos de vida ambientais. Aqui entram certificações ambientais como a ISO 14044, 14025, 14044, 15804 ou ISO 21930 e as declarações de produtos ecológicos ou programas aprovados pelo GBC, segundo o autor.

Existem dois pontos que podem ser adquiridos de duas formas diferentes. Primeiro por meio de “Declaração de Produtos Ambientais (EPD)”, no qual consiste em um meio padronizado de comunicação dos impactos ambientais, assim como o potencial de aquecimento global e a utilização de recursos energéticos de um produto ou sistema. Ou, por meio de “Otimização de Múltiplos Atributos”. Onde a proposta seria avaliar produtos a partir de seu potencial de aquecimento global (gases de efeito estufa); esgotamento da camada de ozônio; acidificação de terra e fontes d’água; eutrofização; e esgotamento de recursos de energia não renováveis.

- b) Otimização e divulgação de produtos da construção (origem de matérias primas).

A proposta é encorajar a seleção de produtos extraídos e armazenados de maneira responsável. Também existem dois pontos neste requisito, podendo ser adquiridos de três maneiras.

Primeiro, a partir de apresentação de “Relatório de Ingredientes Materiais”, no qual exige a utilização de produtos que tenham um inventário químico disponível. Como segunda opção para a pontuação, há o item “Otimização da cadeia de produto do fabricante”, que dita a utilização de produtos que documentem a otimização dos ingredientes utilizados no projeto. Como terceira alternativa, tem-se a “Otimização da cadeia de produto do fabricante”, exigindo a utilização de produtos que se originem de fabricantes que participam de programas validados de segurança, saúde, dano ou risco com uma documentação mínima de pelo menos 99% (do peso) desses ingredientes utilizados para criar o material construtivo.

A Figura 7 mostra um esquema sobre as principais diferenças entre as últimas versões do LEED, no âmbito dos materiais de construção.



**Figura 7:** Diferente abordagem quanto aos materiais de construção entre o LEED V4 e LEED 2009 (vigente no Brasil). Fonte: <http://sustentarqui.com.br/>, 2015.

#### 4.1.2 AQUA

O sistema AQUA (Alta Qualidade Ambiental) é uma certificação brasileira, adaptada do *Haute Qualité Enviromentale* (HQE), originado da França. Seu processo de certificação é totalmente independente dos órgãos franceses, passando por auditorias presenciais, que transcorrem exclusivamente no Brasil.

O referencial técnico dessa certificação é composto por quatro famílias principais: ecoconstrução; gestão; conforto; e saúde. Cada família possui uma série de categorias chaves, somando 14 no total (Tabela 9). Todas as categorias são avaliadas isoladamente, tendo seu desempenho medido em “Base”, “Boas Práticas” e “Melhores Práticas”.

Destas categorias relacionam-se mais 38 subcategorias, que se desdobram em cerca de 160 preocupações, das quais mais de 40% são obrigatórias para se atingir o conceito mínimo (“Bom”) em cada categoria.

Para obter a certificação, devem ser satisfeitas as exigências do referencial de modo que pelo menos 3 das categorias atinjam o nível ‘Excelente’ e no máximo 7 estejam no nível ‘Bom’. Os níveis de desempenho geral do edifício avaliado são apresentados na Tabela 10 (FUNDAÇÃO VANZOLINI, s.d.).

**Tabela 9:** Categorias e famílias do AQUA. Fonte: <http://vanzolini.org.br/>, s.d. (grifo próprio).

Categorias		Famílias
1	Relação do edifício com o seu entorno	Ecoconstrução
2	Escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos	
3	Canteiro de obras com baixo impacto ambiental	

4	Gestão da energia – fontes energéticas	Gestão
5	Gestão da água	
6	Gestão dos resíduos de uso e operação do edifício	
7	Manutenção – Permanência do desempenho ambiental	
8	Conforto higrotérmico	Conforto
9	Conforto acústico	
10	Conforto visual	
11	Conforto olfativo	
12	Qualidade sanitária dos ambientes	Saúde
13	Qualidade do ar (dentro do edifício)	
14	Qualidade da água (dentro do edifício)	

**Tabela 10:** Níveis de desempenho AQUA. Fonte: <http://vanzolini.org.br/>, s.d.

Nível de desempenho geral da edificação	Descrição
Bom	Desempenho mínimo aceito para uma iniciativa de Alta Qualidade Ambiental;
Superior	Satisfatório para o nível das boas práticas;
Excelente	Sua qualificação é feita quando verificados desempenhos máximos em empreendimentos de Alta Qualidade Ambiental, através da certificação do alcance das metas pretendidas.

No contexto dos materiais de construção, o grifo na Tabela 9 mostra que a escolha de materiais sustentáveis não é uma preocupação isolada, mas na verdade é analisada em conjunto com os sistemas e processos escolhidos, sendo esse conjunto correspondente à categoria 2 da certificação.

Segundo a HQE (2014), em seu referencial para edifícios não residenciais, a exigência da pontuação dessa categoria funciona da seguinte forma: no nível “Base”, práticas e escolhas referentes aos produtos, sistemas e processos construtivos são consideradas essenciais para a mínima sustentabilidade do empreendimento, não tendo nenhum ponto aplicável. No nível “Boas Práticas”, exige-se 35% ou mais de pontos aplicáveis nesta categoria mais as práticas “básicas”, enquanto para “Melhores Práticas”, exige-se 60% ou mais dos pontos aplicáveis mais as práticas básicas (Figura 8).

CATEGORIA 2	AVALIAÇÃO
BASE	Respeito ao nível <b>BASE</b>
BOAS PRÁTICAS	Respeito ao nível <b>BASE</b> E ≥ 35% dos pontos <b>APLICÁVEIS</b>
MELHORES PRÁTICAS	Respeito ao nível <b>BASE</b> E ≥ 60% dos pontos <b>APLICÁVEIS</b> dos quais 5 pontos para a preocupação 2.3

**Figura 8:** Síntese das exigências de pontuação por nível da categoria 2 – AQUA. Fonte: HQE, 2014.

Para a categoria 2 “Escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos”, a primeira subcategoria avaliada é “Escolhas que garantam a durabilidade e a adaptabilidade da edificação”, possuindo 19 pontos aplicáveis. Nela, os critérios considerados são:

- a) Escolher produtos, sistemas ou processos cujas características são verificadas e compatíveis com seus usos: os produtos escolhidos devem ser compatíveis com o uso do edifício e de cada área ou ambiente.
- b) Refletir e garantir a adaptabilidade da construção ao longo do tempo em função da vida útil desejada e de sua utilização.
- c) Assegurar a desmontabilidade/separabilidade dos produtos e processos construtivos tendo em vista a gestão ambiental otimizada de seu fim de vida.

A segunda subcategoria é “Escolhas que facilitem a conservação da edificação”, tendo 5 pontos aplicáveis. Seu critério é:

- a) Escolher produtos, sistemas e processos construtivos de fácil conservação e que limitem os impactos ambientais da atividade de conservação.

A terceira subcategoria avaliada corresponde à “Escolha de produtos visando a limitar os impactos socioambientais da edificação”, somando 18 pontos disponíveis. Ao todo, são cinco critérios avaliados:

- a) Conhecer os impactos ambientais dos produtos de construção;
- b) Escolher os produtos de construção de modo a limitar sua contribuição aos impactos ambientais do empreendimento;
- c) Utilizar materiais e produtos que permitam um abastecimento do canteiro de obras menos poluente em CO<sub>2</sub>;
- d) Utilizar materiais e produtos que permitam neutralizar o CO<sub>2</sub>;

- e) Escolher fabricantes de produtos e fornecedores de serviços que não pratiquem a informalidade na cadeia produtiva;

Por fim, a última subcategoria refere-se à “Escolha de produtos visando a limitar os impactos da edificação na saúde humana”, tendo ao todo 14 pontos aplicáveis dentro dos seguintes critérios:

- a) Conhecer o impacto sanitário dos produtos de construção na qualidade do ar interno;
- b) Escolher os produtos de construção de modo a limitar os impactos sanitários da construção.

### 4.1.3 Selo Caixa Azul

O Selo Casa Azul Caixa foi o primeiro sistema de classificação da sustentabilidade de projetos ofertado no Brasil. Consiste em um instrumento de classificação socioambiental de projetos de empreendimentos habitacionais, que busca reconhecer os empreendimentos que adotam soluções mais eficientes aplicadas à construção, ao uso, à ocupação e à manutenção das edificações, objetivando incentivar o uso racional de recursos naturais e a melhoria da qualidade da habitação e de seu entorno (CAIXA, 2010).

O método utilizado pela Caixa para a concessão do selo consiste em verificar, durante a análise de viabilidade técnica do empreendimento, o atendimento aos critérios estabelecidos pelo instrumento. Os critérios são especificados por categorias, sendo alguns com atendimento obrigatório e outros livres, obedecendo a cada categoria um número mínimo de critérios atendidos por nível de certificação. Os níveis de gradação do selo são apresentados na Tabela 11.

**Tabela 11:** Níveis de gradação do Selo Caixa Azul. Fonte: Caixa, 2010.

<b>Gradação</b>	<b>Atendimento mínimo</b>
Bronze	19 critérios obrigatórios
Prata	Critérios obrigatórios e mais 6 critérios de livre escolha
Ouro	Critérios obrigatórios e mais 12 critérios de livre escolha

Ao todo são 6 categorias gerais, somando 53 critérios. São elas:

- a) Qualidade urbana;
- b) Projeto e conforto;
- c) Eficiência energética;

- d) Conservação de recursos materiais;
- e) Gestão da água;
- f) Práticas sociais.

No que diz aos materiais de construção que contribuem para a sustentabilidade do empreendimento, a categoria que os engloba indiretamente é “Conservação de recursos materiais”. Nela, o selo lista 10 critérios de boas práticas, sendo ao todo 3 mandatórios. A Tabela 12 mostra o detalhamento desta categoria.

**Tabela 12:** Critérios relativos à conservação de recursos materiais- Selo Caixa Azul. Fonte: Caixa, 2010

<b>Conservação de recursos materiais</b>	<b>Obrigatoriedade</b>
Coordenação Modular	
Qualidade de Materiais e Componentes	X
Componentes Industrializados ou Pré-fabricados	
Formas e Escoras Reutilizáveis	X
Gestão de Resíduos de Construção e Demolição (RCD)	X
Concreto com Dosagem Otimizada	
Cimento de Alto-Forno (CPIII) e Pozolânico (CP IV)	
Pavimentação com RCD	
Facilidade de Manutenção da Fachada	
Madeira Plantada ou Certificada	

Segundo a Caixa (2010), a escolha dos critérios obrigatórios tem como objetivo evitar o uso de produtos de baixa qualidade, melhorando o desempenho e reduzindo o desperdício de recursos naturais e financeiros em reparos desnecessários, além de melhorar as condições de competitividade dos fabricantes que operam em conformidade com a normalização, a partir do cumprimento do requisito “Qualidade de materiais e componentes; reduzir o emprego de madeira em aplicações de baixa durabilidade, que constituem desperdício, e incentivar o uso de materiais reutilizáveis, com a utilização de formas e escoras reutilizáveis; e por fim, reduzir a quantidade de resíduos de construção e demolição e seus impactos no meio ambiente urbano e nas finanças municipais.

#### **4.1.4 Qualiverde**

O selo Qualiverde veio como mais um fator de incentivo inserido no contexto da cidade do Rio de Janeiro. Atuando como sede de grandes eventos, não só a Rio+20 de 2012, mas também a Copa do Mundo, realizada em 2014, e os Jogos Olímpicos e Paralímpicos, que acontecerão em 2016, ambos no Rio de Janeiro, a cidade é foco da mira internacional, devendo assim adotar medidas que demonstrem a preocupação do



município com as questões ambientais e que promovam a imagem positiva do mesmo. Muitos dos projetos desenvolvidos para receber esses eventos, assim como as exigências dos comitês e organizações internacionais, envolvem práticas sustentáveis (BARROS; BASTOS, 2015).

Apesar do desenvolvimento do selo ter iniciado em 2010, esses acontecimentos serviram como reafirmação da necessidade de uma certificação que avaliasse os impactos da construção civil levando em consideração as características locais do Rio de Janeiro.

Ainda de acordo com Barros e Bastos (2015), a elaboração do Qualiverde contou com discussões junto a desenvolvedores e utilizadores das certificações mais conhecidas, com o GBC Brasil, responsável pelo LEED, a Fundação Vanzolini, desenvolvedora do AQUA, com os desenvolvedores do BREEAM, e com arquitetos que possuem experiência em elaborar projetos sustentáveis. Essa iniciativa da Prefeitura foi desenvolvida para atuar conjuntamente às normas e leis já existentes e vigentes no município e que tratam de práticas sustentáveis, assim, por um lado, trabalha-se com ações de caráter legal e mandatário e por outro, são incentivadas medidas voluntárias por meio de benefícios.

Esta certificação é de caráter voluntário, e aplicável a projetos tanto de novas edificações quanto de já existentes, de uso residencial, comercial, misto ou institucional. As exigências estipuladas pelo decreto que oficializa o selo são variadas e abrangem praticamente todo o ciclo de vida da edificação, desde as fases de planejamento e execução da obra até a operação do empreendimento após a conclusão da mesma. Como funciona por um sistema de pontos, a certificação dá ao projetista a possibilidade de escolher quais ações de sustentabilidade serão adotadas.

O Qualiverde funciona a partir de um sistema de pontuação das ações e práticas de sustentabilidade, baseado principalmente no LEED. Os critérios se encontram anexados ao decreto somando uma pontuação máxima de 100 pontos, considerando as bonificações que podem ser recebidas. Dependendo da pontuação alcançada pelo empreendimento, recebe-se então uma das duas classificações possíveis. Caso o empreendimento consiga alcançar um mínimo de 70 pontos, será classificado como Qualiverde e caso atinja 100 pontos, será qualificado como Qualiverde Total.

Enquanto no LEED há a separação explícita de materiais e recursos como critério de pontuação, no Qualiverde estes estão mais inseridos no critério “Projeto”. A Tabela 13 apresenta o critério “Projeto” com sua descrição de ações e componentes, bem como a pontuação correspondente das exigências relativas aos materiais.

**Tabela 13:** Ações e pontuação relativos aos materiais no critério Projeto – Qualiverde. Fonte: [www2.rio.rj.gov.br](http://www2.rio.rj.gov.br), 2012.

Projeto		
Uso de materiais sustentáveis	Uso de adesivos, selantes e tintas com baixa emissão de compostos orgânicos voláteis; e uso de madeiras certificadas ou de espécies exóticas plantadas	3 pontos
Reaproveitamento de resíduos no canteiro de obras	Apresentação de plano da utilização de resíduos sólidos oriundos de demolição local no próprio terreno da obra e utilização de material terroso (quando não contaminado), no próprio terreno da obra	3 pontos
Estruturas metálicas	Utilização de estruturas metálicas em substituição ao concreto convencional	8 pontos

#### 4.1.5 BREEAM

BREEAM significa Método de Avaliação Ambiental do *Building Research Establishment* (BRE), instituição inglesa responsável pela criação do selo. Muito popular no Reino Unido e nos países europeus, o BREEAM chegou ao Brasil recentemente sob o esquema de certificação internacional Bespoke: um sistema personalizado e adaptado que incorpora as normas e regulamentos locais. O Bespoke foi desenvolvido para projetos internacionais e cobre diversos programas: residenciais, comerciais, escritórios, industriais, entre outros.

O BREEAM utiliza medidas de avaliação de desempenho reconhecidas internacionalmente, aplicadas a partir de uma ampla gama de categorias e critérios relacionados à energia, água, ambiente interno (saúde e bem-estar), poluição, transporte, materiais, resíduos, ecologia e processos de gestão. Possui alto nível de exigência, e sua introdução no cenário brasileiro ainda é recente e pouco desenvolvida.

O referencial desenvolvido para aplicação em países fora da Europa, o BREEAM International Bespoke, é dividido em 10 categorias: gerenciamento; energia; água; transporte; materiais; poluição; saúde e bem-estar; uso da terra e ecologia; resíduos; inovação.

Seguindo o padrão das outras certificações, cada categoria possui diversos critérios, denominados créditos, sendo cada um pontuado. Pelo fato do BREEAM não possuir um certificado para cada país, e sim apenas um para todos fora da Europa, nem todos os créditos existentes no Bespoke serão requeridos para a certificação de

dado empreendimento. A avaliação dos créditos aplicáveis é feita pelo BRE a partir da análise do projeto do empreendimento.

A pontuação mínima para garantir o primeiro nível de certificação, que concede apenas o título de empreendimento certificado, equivale 30 pontos. A partir daí, pode-se obter as seguintes classificações, de acordo com a Tabela 14:

**Tabela 14:** Categorias e pontuação do selo BREEAM. Fonte: [www.inovatech engenharia.com.br/](http://www.inovatech engenharia.com.br/)

<b>Categorias</b>	<b>Pontuação</b>
<i>Pass</i>	30
<i>Good</i>	45
<i>Very good</i>	55
<i>Excellent</i>	70
<i>Outstanding</i>	85

O processo de certificação BREEAM no Brasil, por ainda não ser familiar ao mercado e aos profissionais da área, pode tornar-se mais extenso e dificultoso do que o habitual. As evidências para atendimento de determinados critérios, como a análise do ciclo de vida, por exemplo, ainda são pouco disponíveis no Brasil, o que pode tornar a popularização desse certificado mais vagarosa.

No BREEAM, a abordagem aos materiais de construção tem grande importância, sendo um dos diferenciais do certificado inglês aos brasileiros. Dentro das dez categorias, a relativa aos materiais construtivos é a terceira em maior peso na pontuação geral. Segundo o manual BREA International (2014), os critérios principais da categoria “Materiais” são:

- a) Impactos do ciclo de vida;

Objetivo: Reconhecer e incentivar o uso de ferramentas de avaliação do ciclo de vida adequados e, conseqüentemente, a especificação de materiais de construção de baixo impacto ambiental (incluindo a abordagem de carbono incorporada) ao longo do ciclo de vida total do edifício.

No processo de certificação BREEAM, a utilização da ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) é obrigatória para avaliação dos elementos construtivos.

- b) Fonte responsável de materiais;

Objetivo: Reconhecer e incentivar a especificação dos materiais considerando sua fonte, para os elementos chaves da construção.

Para esse critério, são requeridos, por exemplo, documentos que comprovem a utilização de materiais reciclados, assim como comprovação de que toda a madeira utilizada na obra seja extraída legalmente.

- c) Isolação;

Objetivo: Reconhecer e encorajar o uso de materiais que permitam bom desempenho de isolamento térmica.

d) Projetar para a robustez.

Objetivo: Reconhecer e encorajar a adequada proteção dos elementos expostos do edifício, ao mesmo tempo minimizar a frequência de substituição e maximizar a otimização dos materiais.

Otimização de materiais significa adotar uma abordagem eficiente dos recursos para a concepção do edifício, o que resulta em menos material usado, e/ou menos resíduos produzidos no processo de construção, sem comprometer as premissas de projeto. Enquanto esta questão da avaliação é focada na especificação de medidas de durabilidade adequadas, a equipe do projeto deve considerar soluções que otimizam o uso de materiais e, portanto, minimizar os resíduos de construção (BREAAAM, 2014 – tradução própria).

A avaliação quando relacionada a casos gerais é embasada em um conjunto básico de critérios de desempenho do edifício, formado por dez categorias. Neste sistema, as categorias dos critérios de desempenho: Transporte, Poluição e Inovação são as quais englobam, principalmente, todo o ciclo de vida dos materiais (LUCAS, 2011).

Segundo Cunha (2011) um fator ainda pouco disponível na América Latina, incluindo o Brasil, e empregado na certificação da ferramenta BREEAM são as informações sobre os impactos ambientais dos materiais de construção, imprescindíveis para a pontuação dos edifícios, devido à pouca informação sobre a composição dos produtos e bancos de dados que utilizem a Análise de Ciclo de Vida, quer seja pelo elevado custo, quer seja pela omissão de informação pelos fabricantes e/ou empresas.

Outro ponto relevante deste selo quanto ao tema da pesquisa, é a clara separação entre as categorias “Materiais” e “Resíduos”, diferentes das certificações abordadas anteriormente. Nelas, por essas duas questões virem na mesma categoria de avaliação, os resultados obtidos quanto à sustentabilidade dos materiais empregados poderia ser mascarado, a partir do momento que se desse maior foco na gestão de resíduos da obra.

#### **4.1.6 Comparação entre as certificações quanto aos materiais**

Sintetizando a questões referentes às escolhas e usos de materiais de construção abordadas nas certificações apresentadas, a Tabela 15 lista as ocorrências

explícitas de uma série de práticas, tendo como fonte os referenciais e manuais das certificações.

Os critérios foram escolhidos tomando como base o quadro de Dias *et al* (2010), porém com ajustes nos resultados, seleção dos critérios mais adequados à pesquisa, assim como acréscimo de certificações não contempladas, tais como Selo Caixa Azul e Qualiverde.

**Tabela 15:** Critérios relativos a abordagem dos materiais de construção para cada certificação. Fonte: Dias *et al*, 2010 (modificações próprias).

Lista de critérios relativos à seleção de materiais	Selo Caixa Azul	Qualiverde	AQUA	LEED	BREEAM	Ocorrência
Reuso de materiais	X	X		X		3
Uso de materiais de rápida renovação				X		1
Uso de materiais com conteúdo reciclado	X			X	X	3
Uso de materiais produzidos na região				X		2
Uso de materiais com alta durabilidade	X				X	2
Facilidade de manutenção dos materiais empregados	X		X		X	3
Uso de materiais que favoreçam as condições de segurança						0
Uso de materiais que auxiliem a permeabilidade do solo no entorno do edifício			X	X	X	3
Uso de materiais que facilitem a adaptabilidade			X			2
Uso de madeira certificada	X	X		X		3
Uso de materiais que limitem os impactos ambientais do canteiro de obras	X	X	X		X	4
Uso de materiais que minimizem o efeito ilha de calor				X		1
Uso de materiais ajustados ao projeto modular e padronizado	X			X		2
Redução do uso de materiais emissores de gases que agredem a camada de ozônio	X					1
Uso de materiais que não emitam compostos orgânicos voláteis		X			X	2
Redução do uso de materiais com alta energia embutida (aço, PVC, por ex.)						0
Uso de materiais produzidos por uma cadeia produtiva formal	X		X			2
Uso de concreto com adições de resíduos	X					1
Uso de materiais que favoreçam melhor conforto térmico		X	X	X	X	4
Uso de materiais que favoreçam melhor conforto acústico		X	X			3
Uso de materiais que contribuam para melhor conforto visual			X			1
Uso de materiais que não prejudiquem a qualidade do ar interno dos edifícios			X	X		2
Uso de materiais que minimizem o desperdício	X					1
Uso de materiais que favoreçam boas			X			1

Com isso, verifica-se que dentre os selos estudados, os critérios que foram mais comuns às certificações foram: uso de materiais que minimizem os impactos do canteiro de obras; materiais que favoreçam o conforto térmico; reuso; materiais com conteúdo reciclado; facilidade de manutenção; que favoreçam a permeabilidade; uso obrigatório de madeira certificada; e materiais que favoreçam o conforto acústico.

## **4.2 Políticas Públicas**

### **4.2.1 CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável**

Ações em prol de construções mais sustentáveis e metodologias de avaliação da sustentabilidade de edificações brasileiras vem avançando nos últimos anos. Em agosto de 2007 foi lançado publicamente o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável - CBCS, que conta com a participação de diversos membros representantes da academia e do setor produtivo da indústria da construção. O CBCS é uma associação civil sem fins lucrativos que tem por objetivo social contribuir para a promoção do desenvolvimento sustentável por meio da geração e disseminação de conhecimento, orientação técnica, capacitação, realização de eventos, articulação e formação de redes mobilizando a cadeia produtiva da construção civil, seus clientes e consumidores (CBCS, 2007).

Um dos posicionamentos do CBCS é ter como objetivo o uso sustentável dos materiais de construção civil, visando redução dos seus impactos ao meio ambiente através do incentivo à compra de produtos mais adequados em cada projeto, considerando produtos locais, forma de transporte, qualidade e desempenho, ciclo de vida, durabilidade e vida útil (CBCS, 2009).

### **4.2.2 Programa Construção Sustentável**

A Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) lançou o Programa de Construção Sustentável durante o 83º Encontro Nacional da Indústria da Construção (ENIC), realizado em 2011.

A publicação trata de sete temas prioritários: água, desenvolvimento humano, energia, materiais e sistemas, meio ambiente, infraestrutura e desenvolvimento urbano, mudanças climáticas e resíduos. O programa traz de forma detalhada quais ações deverão ser realizadas referentes a esses temas para que a construção civil evolua de forma sustentável.

Segundo o CBIC (2011), os principais objetivos do programa é definir diretrizes, prioridades e práticas que façam da construção sustentável uma realidade no Brasil; estabelecer comunicação aberta e transparente com a sociedade em geral, ONG's e governo para superar os desafios da sustentabilidade do setor da construção; e subsidiar os governos com informações e ou elementos capazes de induzir a elaboração de políticas públicas. Seus temas estratégicos prioritários são vistos na Tabela 16, na qual engloba as preocupações quanto aos materiais (grifo).

**Tabela 16:** Categorias prioritárias para o Programa de Construção Sustentável. Fonte: CBIC, 2011.

<b>Temas estratégicos</b>
Mudanças Climáticas
Energia
Água
<b>Materiais e sistemas</b>
Resíduos
Meio ambiente, infraestrutura e desenvolvimento urbano
Desenvolvimento humano

Ainda de acordo com o CBIC (2011), em seu guia sobre o programa, algumas ações do mesmo que incentivam a utilização de materiais sustentáveis são:

- a) Atuar no âmbito do Ministério de Meio Ambiente, por meio do Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis (PPCS), para que as contratações públicas e privadas privilegiem a compra de produtos e sistemas com melhor desempenho ambiental. Para esse fim, será necessário definir e implementar critérios de desempenho ambiental, que contemplem a logística e o transporte de produtos e materiais, além de ferramentas de mensuração, nas licitações públicas. Nesse sentido, o estímulo ao uso de informações e ferramentas de simulação de desempenho ambiental e avaliação de ciclo de vida para materiais e sistemas, ao longo da cadeia produtiva da construção, vai permitir identificar aqueles fornecedores que apresentem produtos mais ecoeficientes e que incluam durabilidade e/ou apresentem maior conteúdo de matéria prima residual;
- b) Contribuir para a formação de banco de dados públicos com informações técnicas e declarações ambientais dos sistemas, produtos e matérias primas brasileiras utilizados na cadeia produtiva da construção. As informações seriam fornecidas por cada setor da indústria de materiais;
- c) Fomentar a pesquisa, o desenvolvimento e a inovação de novos materiais, componentes e sistemas construtivos com menor impacto ambiental. Este

- estímulo deve combinar o financiamento a pesquisa e inovação, a formação de recursos humanos e também a empreendimentos públicos e privados que adotem estas novas tecnologias. Essas políticas públicas devem promover ainda a formação de profissionais, ao longo da cadeia produtiva da construção, capazes de desenvolver tecnologias de materiais e de sistemas sustentáveis;
- d) Reforçar no programa a obrigatoriedade da compra de produtos em conformidade com as Normas ABNT, visando garantir padrões mínimos de qualidade e isonomia competitiva;
  - e) Contribuir com o aperfeiçoamento e a implementação efetiva do Programa Brasileiro de Avaliação de Ciclo de Vida (PBACV), no âmbito do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior/ Inmetro.

### **4.2.3 Plano Diretor**

Exigido pela Constituição para municípios de mais de 20 mil habitantes, o Plano Diretor é o instrumento da política de desenvolvimento urbana. Seu principal objetivo é oferecer condições para desenvolvimento local, ao possibilitar uma compreensão dos fatores políticos, econômicos e territoriais relativos ao município. Os princípios que norteiam o Plano Diretor estão contidos no Estatuto da Cidade, documento no qual o plano está definido como instrumento básico para orientação da política de desenvolvimento e de ordenamento da expansão urbana do município (CIDADES SUSTENTÁVEIS, s.d.)

Na cidade do Rio de Janeiro, após o Plano Diretor ser revogado depois de quase 20 anos, pelo prefeito Eduardo Paes, a cidade ganhou o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Sustentável do Município do Rio de Janeiro, sob a forma da Lei Complementar nº 111 de 01/02/2011, onde ficam estabelecidas regras, instrumentos e diretrizes para o planejamento (BARROS, BASTOS, 2015).

Ineditamente, a questão dos materiais de construção sustentáveis foi inserida como diretriz para construção de edificações no Plano Diretor. No capítulo IV – Dos Instrumentos de Gestão Ambiental e Cultural, artigos 184 e 185, que discorrem acerca de ações estruturantes relativas às práticas sustentáveis, são citadas medidas de responsabilidade do Município como incentivar e fomentar o uso materiais de construções oriundos de reciclagem, uso de madeira e materiais de construção de origem mineral com comprovação de origem legalizada, incentivos a projetos arquitetônicos que permitam melhor circulação do ar e menor retenção de calor. Essas diretrizes devem ser observadas na licitação, execução de obras públicas e implantação do COE do Município (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2011).



## **5. Materiais de construção sustentáveis**

### **5.1 Parâmetros de escolha de materiais sustentáveis**

A preocupação com a escolha de materiais construtivos, como fator que agrega à sustentabilidade, é algo muito recente e pouco consolidado em muitos países, inclusive no Brasil. Tendo em vista as dificuldades encontradas, tais como a pouca experiência dos atores quanto ao tema, baixa difusão de importantes ferramentas como Análise do Ciclo de Vida, falta de uma listagem completa de categorias de impacto, assim como um banco nacional de análise dos impactos dos materiais na construção civil, neste item são listadas algumas diretrizes para a escolha sustentável de materiais, com base em revisões bibliográficas.

É importante ressaltar que não existe material de construção totalmente sustentável para qualquer uso, pois a sua sustentabilidade está diretamente relacionada à situação em que se insere, ou seja: função que deve cumprir (revestimento, vedação, estrutura, etc.), local que será aplicado (piso, parede, teto, cobertura, etc.), uso que será dado a esse material (comercial, residencial, industrial, etc.), modo de produção (artesanal, industrial), região em que se localiza a obra, zona bioclimática, hábitos e costumes do usuário, etc (FLORES, 2011).

No projeto e na gestão de recursos e materiais, deve-se levar em consideração a situação de cada um dos recursos. Vale lembrar que o consumo contínuo acelerado não pode se sustentar indefinidamente. Os depósitos minerais disponíveis, incluindo os combustíveis e metais, formaram-se ao longo de um tempo de dimensão geológica, porém estão sendo consumidos em um ritmo muito mais rápido do que necessitariam para se regenerar (YEANG, 2001).

#### **5.1.1 Critérios sociais**

Integrar e balancear as dimensões ambiental e social é uma questão essencial para a seleção de materiais mais sustentáveis, porém não muito utilizada. O setor construtivo mostra-se que não atende o pilar da sustentabilidade com pesos iguais, uma vez que a sustentabilidades econômica e ambiental são mais buscadas.

Segundo John, Oliveira e Agopyan (2006), um tópico fundamental para a sustentabilidade do setor da construção como um todo, amplamente presente no contexto Brasileiro e por isso destacado, é a informalidade nas atividades do setor. Esta informalidade pode ocorrer na extração de recursos, produção, comercialização, e fim do ciclo de vida de materiais, podendo causar, por exemplo, evasão fiscal; desrespeito à legislação ambiental; desrespeito aos direitos dos trabalhadores; e comprometimento da qualidade dos produtos com o objetivo de maximizar o lucro.

Assim, ferramentas para a identificação e restrição à informalidade devem ser buscadas com o objetivo de promover a sustentabilidade social na seleção de materiais.

Para os autores, tal informalidade é forte no processo de extração mineral para fabricação dos materiais. Macedo (2011) afirma que o setor utiliza mão de obra de forma intensiva, mas que a maioria dos empregados nas atividades de extração de areia, argila, pedrisco e pedras ornamentais trabalham de maneira informal. Assim, a informalidade tem uma consequência social relacionada às condições de trabalho precárias.

Portanto, um dos parâmetros de escolha de um material de construção por outro, deveria ser a avaliação das empresas fabricantes, de acordo com sua responsabilidade social. No Brasil, o CBCS lançou uma ferramenta de auxílio à seleção dos fornecedores que engloba preocupações sociais, denominada “6 passos para a seleção de insumos e fornecedores com critérios de sustentabilidade. Suas diretrizes podem ser vistas na Tabela 17:

**Tabela 17:** Ferramenta “Seleção 6 passos”. Fonte: Silva, 2012.

<b>Ferramenta “Seleção em 6 Passos” do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) para seleção de fornecedores</b>	
<b>Passos</b>	<b>Descrição</b>
<b>1</b>	Verificação da formalidade da empresa fabricante e fornecedora, que deve ser devidamente registrada (ter CNPJ) e estar em situação regular com o Fisco;
<b>2</b>	Verificação da licença ambiental, que é obrigatória para todos os produtores;
<b>3</b>	Verificação das questões sociais, como a eventual existência de trabalho infantil, trabalho escravo, jornadas excessivas de trabalho, bem como a verificação da situação da higiene no trabalho;
<b>4</b>	Verificação de qualidade e observação de normas técnicas do produto, observando se a fornecedora participa dos Programas Setoriais do PBPQ-h, e, caso o tipo de produto ainda não esteja inserido nesse programa, se tem certificação ou avaliação;
<b>5</b>	Consulta sobre o perfil de responsabilidade socioambiental da empresa, o seu relacionamento com os funcionários e fornecedores, com o meio ambiente, a comunidade e sociedade, e sobre sua transparência e governança;
<b>6</b>	Identificação da existência de propaganda enganosa, analisando a consistência e a relevância das afirmações.

### **5.1.2 Critérios econômicos**

John, Oliveira e Agopyan (2006) afirmam que a inclusão de aspectos econômicos durante a seleção de materiais de construção é obrigatória visto que as edificações são, muitas vezes, os bens de consumos mais caros comercializados pelo homem.

Em países em desenvolvimento, a escassez de recursos financeiros coloca, potencialmente, os custos como prioridade no desenvolvimento de projetos e

construções. Este fato tende a forjar uma cultura de curto prazo que prioriza o valor dos custos iniciais, negligenciando as implicações futuras, ao longo do ciclo de vida dos materiais, ou seja, nas etapas de aquisição, construção, uso, manutenção, e disposição final. Estas implicações devem ser abordadas por ferramentas de avaliação para auxílio à seleção de materiais.

Desta forma, os autores apontam que 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. Assim, uma das maneiras de se medir avaliar a sustentabilidade econômica da seleção de materiais e componentes de edificações é considerando os custos no ciclo de vida dos produtos.

O conceito de custos do ciclo de vida, que inclui custos de construção, operação, manutenção, e demolição, são considerados, sendo todos os custos futuros convertidos em valores atuais. (GLUCH, 2003).

Nessa abordagem, o custo relativo aos impactos ambientais devem ser levados em consideração. Estes são definidos como os custos dos recursos aplicados para preservação, controle e recuperação ambiental, ou todo esforço aplicado direta ou indiretamente em bens, serviços ou taxas que direta ou indiretamente visam a preservação, recuperação ou controle do meio ambiente (JOHN, OLIVEIRA e AGOPYAN, 2006)

Assim, a avaliação dos custos do ciclo de vida de produtos é necessária para a promoção da sustentabilidade econômica na seleção de materiais e componentes. Este procedimento pode ajudar a superar a cultura de curto prazo e a fornecer referências monetárias para as soluções ambientalmente mais favoráveis, explicitando relações de custos *versus* benefícios ambientais que de outra forma seriam possivelmente distorcidas. Isto porque, se associa, muitas vezes, as soluções ambientalmente mais sustentáveis aos maiores custos, quando a situação contrária é factível.

Integrar critérios ambientais e econômicos em uma avaliação de sustentabilidade direcionada à seleção de materiais, embora relevante e promissor, ainda é um procedimento a ser melhor desenvolvido. Deve-se focar na harmonização de conceitos e procedimentos de cálculo, bem como a redução da subjetividade e incerteza derivada da estimativa de valores decenários futuros. Mais ainda, assim como em avaliações ambientais, a experiência individual e preferências subjetivas de cada indivíduo deverão ser consideradas no sentido de isentar o processo de decisões ineficientes ou equivocadas. Apesar das limitações apontadas, critérios econômicos constituem uma fator essencial para uma avaliação abrangente de sustentabilidade.

## 5.1.3 Critérios ambientais

### 5.1.3.1 Utilização de recursos naturais

Para este princípio, o fator de escolha envolve os materiais que utilizam menores índices de consumo de matéria prima natural, energia, e água, em todas as etapas de seu ciclo de vida. Segundo Manzini e Vezzoli (2008), esses recursos tem elevado custo econômico, cuja redução de seu consumo resultaria em fonte de economia. Ainda, colabora-se ambientalmente para utilização consciente de recursos esgotáveis.

De acordo com Yeang (2001), os recursos naturais podem se subdividir de acordo com a sua disponibilidade e seu potencial de regeneração, como indicado abaixo:

#### a) Recursos inesgotáveis

Yeang (2001) cita como exemplos os casos do ar, água e energia solar. Apesar da quantidade disponível total desses recursos seja virtualmente ilimitada, a forma com que cada um deles se apresenta está sujeita a mudanças em razão da ação humana. Essa intervenção está diretamente relacionada à capacidade desses recursos em sustentar a vida. Dessa forma, qualquer degradação permanente de sua qualidade deve ser um motivo de preocupação.

#### b) Recursos substituíveis e renováveis

Yeang (2001) exemplifica como flora e fauna, ou seja, são recursos cuja produção depende primordialmente do meio ambiente. Em condições ambientais normais, tais recursos se produziram indefinidamente. Contudo, qualquer agressão ao meio ambiente gera um efeito adverso sobre a produção desse tipo de recurso: sua utilização deve obedecer à velocidade de renovação, uma vez que a contínua degradação da biosfera reduz sua habilidade de produzir recursos essenciais, da mesma maneira que afeta sua habilidade de regeneração.

#### c) Recursos insubstituíveis ou não renováveis

Exemplos deste tipo de recurso são os minerais, o solo, os combustíveis fósseis, o território e a paisagem em seu estado original. Todos têm em comum a característica de serem insubstituíveis e sua disponibilidade está relacionada com a intensidade e o tipo de exploração por parte do ser humano. Para esse tipo de recurso devem-se ter maiores restrições quanto ao seu uso, principalmente no caso de reservas pequenas, como chumbo, zinco e cobre, além de procurar prolongar ao máximo a vida útil dos produtos por meio da reciclagem e reutilização (FLORES, 2011).

Sendo assim, Sperb (2000) listou alguns materiais de construção com sua correspondente matéria prima básica e sua avaliação, quanto a disponibilidade na biosfera. As informações são apresentadas na Tabela 18.

**Tabela 18:** Avaliação quanto a disponibilidade de materiais de construção. Fonte: Sperb, 2000.

<b>Material de Construção</b>	<b>Matérias-primas básicas</b>	<b>Avaliação</b>
Areia	Sílica	Abundante
Brita	Aluminossilicatos, silicato de magnésio e ferro, carbonatos e sulfatos	Abundante
Cal virgem ou hidratada	Calcário	Abundante
Cimento Portland	Calcário, argila, gipsita	Abundante
Concreto	Sílica, aluminossilicatos, silicato de magnésio e ferro, carbonatos, sulfatos, calcário, argila, gipsita	Abundante
Cerâmica	Argila com óxido de ferro	Abundante
Azulejo	Argila com quartzo e feldspato, chumbo, estanho e óxidos	Não abundante
Louça	Argila com quartzo e feldspato	Abundante
Gesso	Gipsita	Abundante
Vidro Plano	Sílica, calcário, dolomita, feldspato	Abundante
Alumínio	Bauxita	Não abundante*
Aço galvanizado	Minério de Ferro, carbono, óxido de zinco	Não abundante
Aço	Minério de Ferro, carbono	Não abundante
Poliestireno (OS)	Estireno (petróleo)	Não abundante
Polietileno (PE)	Etileno (petróleo)	Não abundante
Polipropileno (PP)	Polipileno (petróleo)	Não abundante
Policroloeto de vinila (PVC)	Eteno (petróleo), cloreto de sódio	Não abundante

\* Nesse caso a autora considerou a bauxita como não abundante, porém esse recurso é menos escasso que cobre, petróleo, chumbo, zinco e estanho.

### 5.1.3.2 Grau poluente e toxidade

Os materiais a serem utilizados nos edifícios devem ser devidamente analisados, com o objetivo de determinar a existência de compostos químicos que apresentem algum nível de toxicidade, pois os materiais tóxicos podem originar elevados danos quer nos ecossistemas quer na saúde dos seres humanos.

Ou seja, materiais com alto grau de toxicidade tem seu uso desencorajado. Já os materiais reciclados, por exemplo, com baixa emissão de poluentes ao longo de sua vida útil são indicados.

Esse critério aplicado a fase de uso da edificação é de extrema importância. A qualidade do ar interior dos edifícios pode ser preocupante e significativamente fraca pela emissão gasosa e de partículas sólidas por parte de materiais, produtos e componentes. Em consequência da elevada permanência das pessoas em espaços interiores (atualmente estimado em mais de 80% do seu tempo), expostas a estes poluentes, e de deficientes níveis de ventilação dos espaços, surgem diversos e sérios

riscos para a saúde dos ocupantes, mesmo que a longo prazo (MATEUS; BRAGANÇA, 2006; MARTINS, 2003).

Neste sentido, é importante dar destaque ao estudo da influência dos COV's (compostos orgânicos voláteis), pois estão presentes no ambiente interior em concentrações superiores ao exterior. Por outro lado, o desconforto experimentado pelos utilizadores é também causado pela sensibilidade a certos odores existentes, mesmo a níveis de concentração muito baixos. Segundo alguns estudos científicos alguns materiais que são utilizados na construção, como por exemplo materiais de revestimento e estruturais, são grandes fontes de poluição do ar interior, devido às suas grandes superfícies e permanente exposição (MARTINS, 2003).

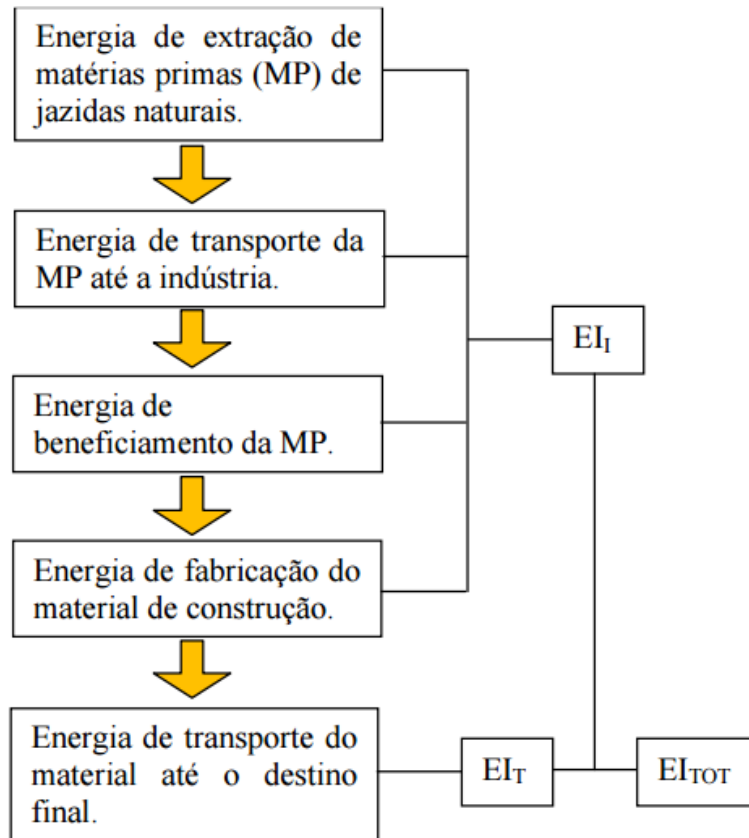
### **5.1.3.3 Energia incorporada**

A energia incorporada é uma forma amplamente utilizada para mensurar o impacto ambiental das construções. É um fator importante para a tomada de decisões quanto à escolha de materiais, sendo um aspecto de grande relevância para atingir eficiência energética. Essa energia é considerada como toda aquela usada para a fabricação dos materiais usados na construção de um espaço, o que inclui desde a extração até seu destino final no sítio da obra. Inclui a energia usada para extrair a matéria prima, para o processo de fabricação; para o transporte da matéria prima para a fábrica; e para a obtenção do produto final para o consumidor (GRAF, 2011).

Graf (2011) define dois tipos de energia: a energia pode ser mensurada como energia fornecida ou primária. A fornecida se refere à quantidade que realmente foi utilizada (como a registrada em uma conta de energia elétrica). A primária é a energia usada para produzir a energia fornecida, como a combustão do gás usado para produzir eletricidade em uma usina de energia elétrica.

Para um cálculo preciso, todos os estágios devem ser considerados, incluindo a extração de materiais brutos, transporte, processamento, energia usada na fabricação, transporte ao sítio e energia usada in loco para instalação. Quanto maior o número de processos pelos quais um material ou componente passar, maior sua energia incorporada e resíduos associados, sendo preferível a escolha por materiais que estejam mais perto de seu estado natural, como uma janela de madeira à uma janela de alumínio, como ceras e tintas orgânicas ou a base d'água à tintas sintéticas. O transporte, a distância percorrida, é um fator que influencia nos cálculos, pois quanto mais longe a viagem do material, mais energia de transporte será incorporada. Um granito, mesmo que natural, pode ter percorrido países, mas essas informações nem sempre estão disponíveis.

A Figura 9 apresenta as principais etapas de análise na quantificação da energia incorporada dos materiais construtivos. “Eli” representa a energia incorporada da extração à fabricação, “Elt” a energia referente ao transporte dos materiais, e “Eltot”, a energia incorporada total.



**Figura 9:** Etapas para análise da energia incorporada dos materiais de construção. Fonte: Neto, 2011.

Tavares (2006) faz uma relação de diversos materiais comuns na indústria brasileira e sua energia incorporada, como mostra a Tabela 19, a partir de pesquisa própria e comparação de revisões bibliográficas. Nota-se que “EE” é sigla para energia embutida, tendo o mesmo sentido de energia incorporada.

**Tabela 19:** Energia incorporada em materiais de construção. Fonte: Graf, 2011 e Tavares, 2006.

Materiais	EE (MJ/kg)	EE (MJ/m <sup>3</sup> )	Materiais	EE(MJ/kg)	EE (MJ/m <sup>3</sup> )
Aço - laminado CA 50A *	30.00	235500.00	Granito - aparelhada	2.00	5400.00
Alumínio lingote *	98.20	265140.00	Lã mineral	19.00	2090.00
Alumínio anodizado	210.00	567000.00	Latão	80.00	682400.00
Alumínio reciclado - extrudado	17.30	46710.00	Madeira - aparelhada seca forno	3.50	2100.00
Areia	0.05	80.00	Madeira - aparelhada seca ar livre	0.50	300.00
Argamassa - mistura	2.10	3906.00	Madeira - laminada colada	7.50	4875.00
Borracha natural - latex	69.00	63480.00	Madeira - MDF	9.00	5850.00
Borracha sintética	135.00	160650.00	Mármore	1.00	2550.00
Brita	0.15	247.50	Placa de gesso	4.50	4500.00
Cal virgem	3.00	4500.00	Poliamida - nylon	125.00	143750.00
Cerâmica - bloco de 8 furos *	2.90	4060.00	Poliestireno expandido	112.00	4480.00
Cerâmica - branca	25.00	52075.00	Poliétileno de alta densidade	95.00	90250.00
Cerâmica – revest, monoqueima *	5.10	10456.66	Polipropileno	83.80	92180.00
Cerâmica porcelanato	13.00	27300.00	Poliuretano	74.00	44400.00
Cerâmica - telha	5.40	10260.00	Solo-cimento - bloco	0.60	1020.00
Cimento Portland *	4.20	8190.00	Solvente - tolueno	67.90	74690.00
Cobre	75.00	669975.00	Telha de vidro	23.13	55512.00
Concreto - bloco de vedação	1.00	2300.00	Tinta acrílica	61.00	79300.00
Concreto simples	1.20	2760.00	Tinta óleo	98.10	127530.00
Fibra de vidro	24.00	768.00	Tinta PVA latex	65.00	84500.00
Fibrocimento - telha	6.00	9600.00	Tubo - PVC	80.00	104000.00
Fio termoplástico	83.00	201690.00	Vermiculita	1.37	167.14
Gesso	4.00	5720.00	Vidro plano	18.50	46250.00

É importante dizer que esse critério não deve ser utilizado isoladamente como fator de escolha de um determinado material. John, Oliveira e Agopyan, (2006) defendem que, apesar de ser largamente usado como parâmetro único, é insuficiente porque não discrimina os impactos ambientais e assim como não separa fontes energéticas “limpas” da energia de combustível fóssil. Mais ainda, pode induzir o projetista a realizar uma escolha ambientalmente ineficiente, por negligenciar o desempenho específico de cada material em termos de massa aplicada para obter-se uma função desejada.

### 5.1.3.4 Emissões de CO2

Esse critério tem relação direta com o parâmetro do subitem 6.1.1.2, “Grau poluente”, uma vez que a emissão de gás carbônico corresponde a um impacto ambiental de poluição do ar, agressão da camada de ozônio e colaboradores ao efeito estufa. Também, parte do mesmo princípio do parâmetro “Energia incorporada”, já que segundo o indicador, um material é melhor se, durante todo seu ciclo de vida, tiver baixa emissão de CO2 (seja na produção, transporte ou no seu descarte).

O potencial de emissão desse gás é um dos principais critérios de escolha de materiais de construção visando a sustentabilidade. Inclusive, inúmeras certificações ambientais possuem itens específicos que pontuam materiais cuja emissão de CO2 é reduzida ao longo de seu ciclo de vida, como mostrado no capítulo 5. O foco no CO2



aos outros gases poluentes se dá, de acordo com Oliveira (2009) pelo fato de que sua emissão contribui em cerca de 55% do aquecimento global.

Para Oliveira (2009), o reuso e conteúdo reciclado são bastante encorajados na seleção, também são muito consideradas as questões da facilidade de desmonte e de recuperação de estruturas existentes no local de inserção do edifício. Tais indicações entram nesta categoria já que o material de construção “pulcaria” ou mitigaria os impactos ambientais relativos às etapas de seu ciclo de vida.

Se por um lado se assemelha à abordagem de energia incorporada, sua diferenciação ocorre principalmente por ser mais abrangente: trata de uma variedade um pouco maior de aspectos, inclusive do uso de derivados de petróleo como combustível ou como própria matéria prima.

#### **5.1.3.5 Análise do Ciclo de Vida (ACV)**

A Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta abrangente para a avaliação quantitativa de uma grande quantidade de impactos no ciclo de vida de materiais. A base de uma ACV é o Inventário do Ciclo de Vida (ICV), uma aferição quantitativa de todas as cargas ambientais ao longo do ciclo de vida (berço ao túmulo ou berço ao berço) de um produto. A ACV é normalizada pela série ISO 14040-14042 e é amplamente documentada (JOHN, OLIVEIRA e AGOPYAN, 2006).

Para os autores, trata-se de uma ferramenta mais completa de avaliação de impactos de materiais, comparada a adoção de um critério único, pois pode levar em consideração um amplo leque de questões ambientais, desde o consumo de recursos até a geração de resíduos. Por outro lado, demanda grande quantidade e variedade de dados, dificilmente reunidas de forma consistente.

Entende-se por ciclo de vida os estágios sucessivos e encadeados de um produto. A cada estágio contabilizam-se as entradas e saídas de materiais, energia, produtos, emissões para atmosfera, para a água e para o solo (*inputs e outputs*). A Figura 10 esquematiza a avaliação feita em cada etapa do ciclo de vida e especifica os *inputs e outputs* avaliados (MACEDO, 2011).



**Figura 10:** Avaliação das etapas da ACV. Fonte: Macedo, 2011.

Sendo assim, executar uma avaliação de ciclo de vida de um material de construção significa identificar, analisar e comparar os impactos ambientais ao longo de sua vida útil. Ao se realizar esta operação, o produto é desmembrado, e então faz-se a ACV dos componentes. Cada componente possui um ciclo de produção que passa pelo uso e vai até o descarte do material. A série ABNT NBR ISO 14040 recomenda, segundo Oliveira (2009), que sejam considerados os seguintes estágios do ciclo de vida:

- a) Extração de matéria-prima;
- b) Transporte até a fábrica;
- c) Transformação da matéria-prima
- d) Transporte ao centro de consumo
- e) Utilização do componente;
- f) Manutenção;
- g) Reuso/ reciclagem/ descarte.

A avaliação dos estágios do ciclo de vida devem seguir as etapas gerais propostas pela ferramenta. Oliveira (2009) descreve as etapas como:

- a) Definição de objetivos;  
Finalidade, dados a serem levantados.
- b) Inventário;

Formação de um banco de dados com informações quantitativas de energia, matérias-primas usadas/necessárias, emissões e poluentes gerados, lançamentos no ambiente durante o ciclo de vida do produto, processo ou atividade.

- c) Análise de impacto;

Avalia os efeitos das cargas ambientais identificadas no inventário. Considera os efeitos sobre a saúde humana e meio ambiente.

- d) Análise de melhoria;

Avalia as necessidades e oportunidades para reduzir a carga ambiental associada à energia e matéria-prima utilizadas e às emissões de resíduos em todo ciclo de vida de um produto ou serviço.

e) Interpretação de resultados e tomada de decisões

Os resultados são avaliados e medidas corretivas são propostas, de forma a melhorar o desempenho sustentável de todo o processo.

Das etapas acima, a que representa maior entrave para a propagação da metodologia é a relativa aos inventários. O Inventário do Ciclo de Vida (ICV) é a construção de um fluxograma que representa o ciclo de vida do material e onde são contabilizadas entradas e saídas de matérias primas, energia, água, resíduos e emissões. Os objetivos do inventário são: criar uma base de informações ampla, identificar pontos de melhoria dentro do sistema, comparar entradas e saídas de produtos alternativos e servir de guia no desenvolvimento de novos produtos. O escopo pode ser redefinido se for necessário para garantir a confiabilidade da avaliação. Diferente da etapa anterior, no inventário é necessário realizar uma quantificação e apresentar esses valores no fluxograma (OLIVEIRA, 2009).

Por isso, apesar de ser uma ferramenta em ascensão em diversos países desenvolvidos, inclusive sendo obrigatória para obtenção de diversos selos verdes para edificações (como o exemplo citado: BREEAM), em outros que carecem da disponibilidade de informações necessárias encontra dificuldade de adoção.

No Brasil, os estudos da ACV para o ambiente construído ainda dá os primeiros passos pois não há um banco de dados completo que possa ser utilizado na prática. Muitos profissionais recorrem a bancos de dados internacionais, porém estes não refletem corretamente os mesmos quadros de produção, utilização e descarte dos materiais que ocorrem no país. Oliveira (2009) afirma que a utilização destes bancos de dados internacionais para o Brasil pode acarretar em erros grosseiros, pois os processos de fabricação são distintos. As diferenças existem em termos das tecnologias, geologia, clima, densidade de população, biomas, tipos de produtos, transportes, etc: a ACV é uma metodologia dependente das características regionais onde ela será aplicada.

#### **5.1.3.7 Conteúdo reciclado**

Uma das maneiras de otimizar o processo da indústria da construção civil é através da incorporação do resíduo de outras indústrias ou proveniente do próprio consumidor, em insumo para compor os materiais de construção. O resíduo que estava no final da cadeia do ACV (Análise do Ciclo de Vida), pronto para o descarte, volta para o início do processo. É uma forma de diminuir a demanda sobre os recursos

naturais virgens. Dessa forma, a utilização de materiais com conteúdo reciclado reduz: o consumo de matéria-prima virgem; os impactos decorrentes da extração, tais como assoreamento de rios, erosão do solo e perda de biodiversidade e a quantidade de resíduos dispostos no meio ambiente (FLORES, 2011).

A autora explica que através da reciclagem de materiais, a energia incorporada do material é preservada. A energia utilizada no processo de reciclagem para a maioria dos materiais é muito menor do que a energia necessária para a produção original. Exemplifica o caso do alumínio reciclado que utiliza somente de 10 a 20% da energia necessária para transformar o minério bruto em produto final.

Muitos materiais de construção possuem potencial de reciclagem como o vidro, plásticos, metais, concreto, tijolo e madeira. Estes geralmente formam a grande parte dos materiais que compõem um edifício. O processo de fabricação destes materiais pode facilmente incorporar resíduos. Vidro, plástico e metal podem ser transformados por meio de calor. Concreto ou tijolos podem ser triturados e usados como agregado em alvenaria nova. A madeira pode ser serrada e utilizada como painéis prensados. Entretanto, ressalta-se novamente a importância de uma avaliação de sustentabilidade multicritérios, pois a utilização desse tipo de insumo para a fabricação de um novo produto não deve comprometer a sua qualidade e durabilidade. O CBCS (2009), Conselho Brasileiro de Construções Sustentáveis, levanta algumas questões a serem consideradas a respeito dos problemas da reciclagem e do uso de conteúdo reciclado:

- a) O processo de reciclagem pode ter elevado impacto ambiental;
- b) A vida útil do produto reciclado pode ser reduzida em comparação a do original;
- c) O produto com conteúdo reciclado pode apresentar risco ambiental por contemplar resíduo perigoso.

Além disso, se o conteúdo reciclado não contribui com as suas propriedades para o desempenho do produto final, não é possível afirmar que o produto é sustentável, pois está evitando somente o descarte antecipado.

#### **5.1.3.8 Reutilização e reciclagem**

Diferente do critério anterior que classifica como potencialidade à sustentabilidade a incorporação de reciclados no material de construção final, aqui verifica-se seu próprio potencial à reciclagem e/ou reutilização no fim de seu uso no elemento de origem. Ou seja, qual seu potencial de possuir um ciclo de vida “do berço ao berço”.

O objetivo com esse princípio é reduzir o impacto sobre o entorno natural através da diminuição da carga de resíduos que é liberada no meio ambiente. Para

que seja possível consegui-lo, a seleção dos materiais deve priorizar seu potencial de reutilização, antes que o da reciclagem, já que a reutilização consome menos energia e esforço (YEANG, 2001).

Também, para esse critério, é necessário que se verifique se a reciclagem ou reutilização do material irão respeitar o desempenho esperado, assim como um análise dos impactos ambientais referentes aos processos de reciclagem.

#### **5.1.3.9 Durabilidade**

Flores (2011) afirma que para um edifício tenha boa durabilidade, é necessário ter em conta a durabilidade dos próprios materiais aplicados na sua construção. Quanto maior for a durabilidade desses materiais, maior será a vida útil do edifício, pois os materiais com baixa durabilidade implicam frequentes e complicadas operações de manutenção, ou reabilitação, ou até mesmo de substituição integral, o que envolve um maior consumo de materiais e energia e aumentam os impactos ambientais negativos associados.

A repetida substituição e manutenção obriga à utilização de novos materiais e leva ao aumento da produção de resíduos. Ao contrário, a utilização de materiais com elevada durabilidade contribui para uma redução dos custos associados com a manutenção do edifício.

## **5.2 Exemplos de materiais de construção com princípios sustentáveis**

Ao longo deste item são apresentados exemplos de materiais considerados sustentáveis. A lista possui desde materiais ecoeficientes aos materiais comuns que analisados sozinhos não seriam enquadrados como sustentáveis, mas comparando às alternativas mais adotadas contribuem para melhor desempenho sustentável da edificação.

Os exemplos foram levantados com base em pesquisas de diversos autores. Porém, devido à pouca documentação sobre o tema em publicações brasileiras, muitos dos materiais construtivos abordados foram obtidos a partir de trabalhos estrangeiros.

### **5.2.1 Cimentos Portland CPIII e CPIV**

O cimento, como abordado no item 4.1.6 sobre os aglomerantes, é um material construtivo que gera elevados impactos ao meio ambiente, principalmente devido sua parcela de emissão de CO<sub>2</sub>. No entanto, por ser o insumo da construção civil mais consumido, técnicas foram e ainda estão sendo desenvolvidas para torná-lo mais

eficiente do ponto de vista ambiental ao mitigarem os impactos gerados por sua indústria.

A inserção de adições minerais na composição do cimento Portland, como escória de alto forno e pozolanas, se difundiu com o propósito de reduzir custos. No entanto, devido aos benefícios provenientes dessas adições, a produção de cimentos Portland compostos e com adições superou a produção do cimento comum no Brasil (GUERREIRO, 2014).

A composição dos cimentos CPIII e CPIV no Brasil é apresentada na Tabela 20, juntamente com os outros tipos para fins de comparação:

**Tabela 20:** Tipos e especificações de cimentos Portland no Brasil. Fonte: Guerreiro, 2014.

Componentes (% em massa)					
Sigla	Classe de resistência	Clinker + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático
<b>NBR 5732 - Cimento Portland comum</b>					
CP I	25	100		0	
	32				
	40				
CP I-S	25	99-95		1 - 5	
	32				
	40				
<b>NBR 11578 - Cimento Portland composto</b>					
CP II-E	25	94 - 56	6 - 34	-	0 - 10
	32				
	40				
CP II-Z	25	94 - 76	-	6 - 14	0 - 10
	32				
	40				
CP II-F	25	94 - 90	-	-	6 - 10
	32				
	40				
<b>NBR 5735 - Cimento Portland de alto-forno</b>					
CP III	25	65-25	35-70	-	0 - 5
	32				
	40				
<b>NBR 5736 - Cimento Portland pozolânico</b>					
CP IV	25	85 - 45	-	15 - 50	0 - 5
	32				
<b>NBR 5733 - Cimento Portland de alta resistência inicial</b>					
CP V-ARI	> 34	100-95		0 - 5	

Percebe-se que os cimentos Portland CPIII e CPIV são os que possuem menor porcentagem de clínquer em sua composição: substância que gera elevados impactos na produção do cimento.

A fim de afirmar a sustentabilidade desses tipos de cimento quando comparados aos outros tipos, utilizou-se como base a pesquisa da autora, que disponibiliza um comparativo de alguns impactos ambientais entre os cimentos da indústria brasileira. Tal levantamento pode ser visto na Tabela 21.

**Tabela 21:** Comparativo dos impactos ambientais entre cimentos da indústria brasileira. Fonte: Guerreiro, 2014.

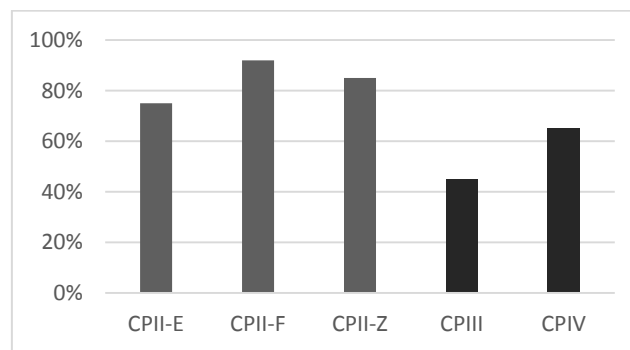
Cimento Portland	Clínquer/ Cimento	Mudanças climáticas	Acidificação	Eutrofização	Depleção de recursos não renováveis	Energia incorporada
	%	kg CO <sub>2</sub> -eq (100 anos)	kg SO <sub>2</sub> -eq	kg PO <sub>4</sub> -eq	kg Sb -eq	MJ -eq

Indústria brasileira						
CPII-E	75%	705	1,386	0,22	2,141	3,609
CPII-F	92%	871	1,702	0,268	2,634	7,039
CPII-Z	85%	807	1,57	0,248	2,436	3,613
CPIII	45%	457	0,996	0,156	1,466	3,465
CPIV	65%	634	1,135	0,206	1,975	1,386

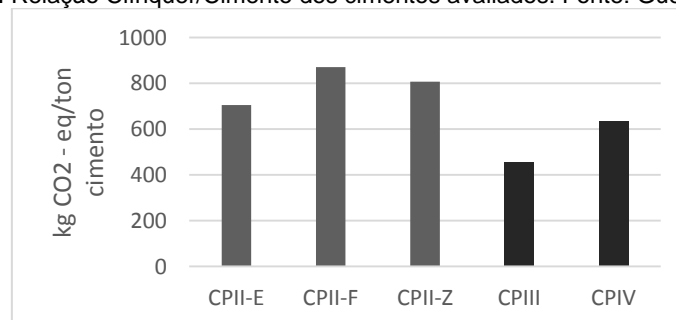
Dos impactos citados na Tabela 21 que não foram explicados até este ponto no trabalho, o *Building Research Establishment* (2013) define como:

- Mudanças climáticas: determina os potenciais de impactos a partir de quantitativos de gases do efeito estufa, como CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e aerossóis.
- Acidificação: está relacionado à emissão de óxidos de nitrogênio e enxofre à atmosfera.
- Eutrofização: representa os potenciais de impactos referentes às emissões de nutrientes ao solo e aos corpos d'água, principalmente, de nitratos e óxidos de fósforo.
- Depleção de recursos naturais: representa a utilização de recursos naturais.

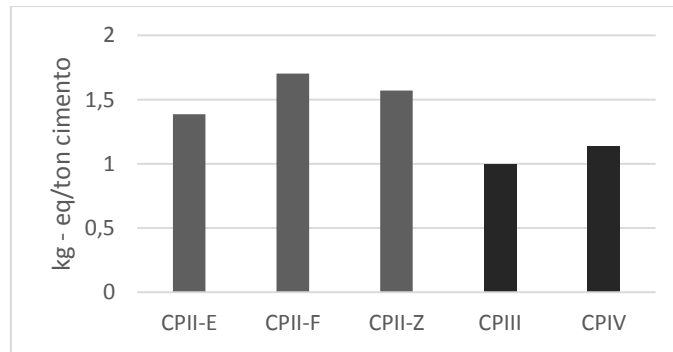
Os resultados grifados correspondem à performance dos cimentos com menores relações clínquer/cimento, os Portland CPIII e CPIV, mostrando que em todos os impactos avaliados por Guerreiro (2014) obtiveram melhores resultados. Os gráficos 1 à 6 ilustram a comparação.



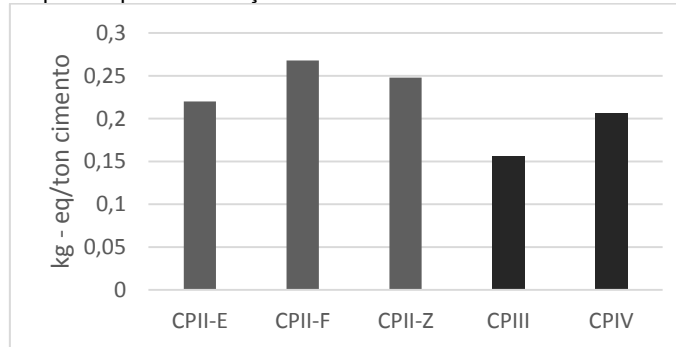
**Gráfico 1:** Relação Clínquer/Cimento dos cimentos avaliados. Fonte: Guerreiro, 2014.



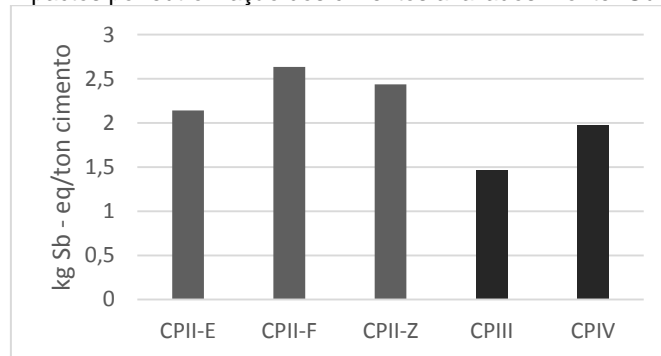
**Gráfico 2:** Impactos por contribuição à mudanças climáticas. Fonte: Guerreiro, 2014.



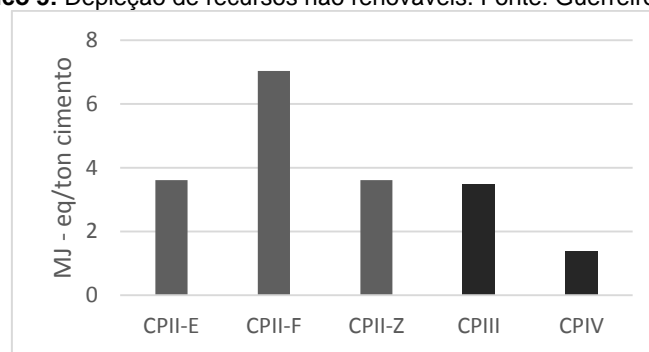
**Gráfico 3:** Impactos por acidificação dos cimentos avaliados. Fonte: Guerreiro, 2014.



**Gráfico 4:** Impactos por eutrofização dos cimentos avaliados. Fonte: Guerreiro, 2014.



**Gráfico 5:** Depleção de recursos não renováveis. Fonte: Guerreiro, 2014.



**Gráfico 6:** Demanda de energia acumulada. Fonte: Guerreiro, 2014.

### 5.2.2 Tijolos cerâmicos com incorporação de resíduos

A produção de tijolos cerâmicos com incorporação de resíduos de outras indústrias constitui uma boa forma da indústria cerâmica contribuir para uma construção mais sustentável. Por um lado porque há redução da extração de argilas e por outro porque se evita a deposição em aterro dos referidos resíduos.



Torgal e Jalali (2010) afirmam que estudaram a possibilidade de substituição de elevadas quantidades de argilas por cinzas volantes. Os tijolos com incorporação de cinzas volantes necessitam ser cozidos a aproximadamente 1050°C, o que representa um acréscimo de 50°C a 100°C. Comparativamente aos tijolos sem cinzas volantes, apresentam uma elevada resistência mecânica, uma baixa absorção de água e boa resistência ao gelo-degelo.

Os autores constataram que embora o aumento da adição de cinzas se traduza numa redução da resistência à compressão dos tijolos cerâmicos ainda assim a utilização de elevados volumes de cinzas permite a obtenção de tijolos com resistências mecânicas bastante elevadas.

Mais recentemente, mais recentemente, segundo os mesmos, foi estudado por Demir e Topçu (2007) a viabilidade da utilização de vários resíduos orgânicos (serradura, resíduos de tabaco, resíduos vegetais) como potenciadores da formação de micro poros em tijolos cerâmicos. Estes autores atestam que a utilização dos referidos resíduos, em substituição de argilas não gera problemas de moldagem até uma percentagem de 10% (em massa). Percentagens superiores necessitam de uma maior quantidade de água além de que dificultam o processo de extrusão.

## **5.2.3 Concreto ecológico**

### **5.2.3.1 Utilização de RCD**

Devido à grande quantidade de estudos que comprovavam os danos causados pela utilização desordenada de matéria prima, depósitos incorretos de rejeitos e poluição do meio ambiente, surgiram novas técnicas que revolucionaram a construção civil ao mesmo tempo colaboram com a ideia de uma indústria mais ecologicamente correta. Dentre elas cita-se a utilização do pó de mármore e do RCD (rejeito da construção civil), como agregado (BARBOSA *et al*, 2011)

Barbosa *et al* (2011), por meio de ensaios em laboratório, afirmam que o concreto com agregado alternativo (rejeito) alcançou melhor desempenho que o convencional (fabricado com areia de rio e agregado britado), sendo portanto uma solução viável o emprego desses rejeitos em conjunto. No que se refere às propriedades mecânicas, constatou-se que houve um ganho no resultado final do concreto fabricado com os rejeitos. Outra vantagem verificada foi a substituição aos materiais tradicionais (areia de rio e brita) para a produção de concreto que possibilita além da proteção do meio ambiente a redução do custo do material de construção. Porém, também apresentou menor fluidez, afetando sua trabalhabilidade e redução do módulo de elasticidade, produzindo maior tendência à formação de microfissuras.

### **5.2.3.2 Utilização de fibras vegetais**

Segundo Torgal e Jalali (2010), a utilização de fibras vegetais no fabricação de compósitos cimentícios em substituição das fibras minerais de amianto ou até mesmo de fibras sintéticas pode contribuir para uma maior sustentabilidade da indústria da construção. Há no entanto várias questões relacionadas com esses materiais reforçados com fibras vegetais que necessitam ainda ser mais estudadas, uma vez que a literatura possui poucos e recentes estudos sobre o assunto.

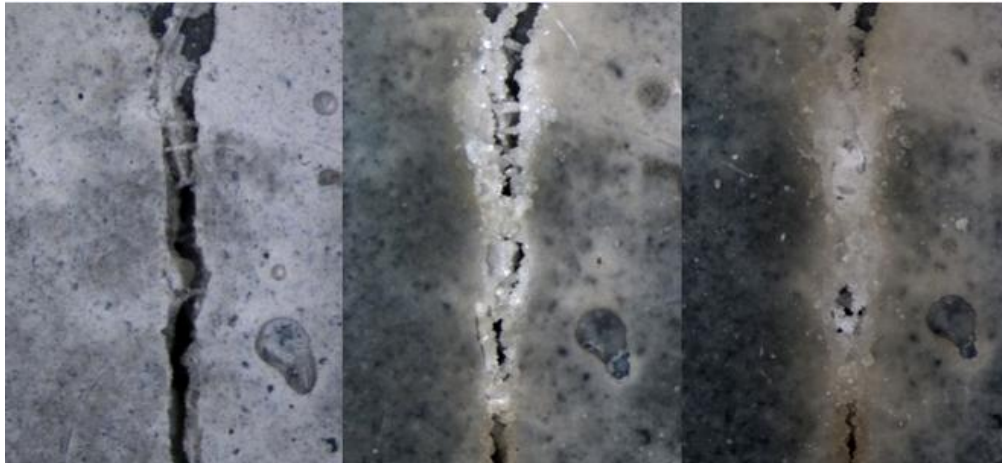
Por exemplo, como a principal causa da degradação das fibras vegetais, de acordo com os autores, decorre de sua baixa resistência em meios alcalinos, sendo preciso investigar mais profundamente as interações entre a pasta de cimento e as fibras. São necessários novos estudos para se saber quais os tratamentos que podem contribuir para o aumento da compatibilidade entre as fibras vegetais e o cimento. São também necessárias novas investigações sobre os métodos de controle de qualidade para que possam minimizar a dispersão das propriedades das fibras. Essas necessidades estendem-se também à questão da durabilidade dos concretos com fibras vegetais.

Exemplos de fibras vegetais levantadas sendo estudadas, aplicadas em concretos, são: fibras de sisal, fibra de coco, casca de arroz, fibras de cânhamo.

### **5.2.3.3 Concreto auto curável**

De acordo com a Universidade de Delft, Holanda, foi desenvolvido um tipo de bactéria que promove o processo de “autocura” do concreto. A partir do paralelo de como o corpo pode curar os ossos através da mineralização, os pesquisadores holandeses utilizaram um método similar para o concreto. Misturando-o com bactérias produtoras de calcário, descobriu-se que as rachaduras foram se “remendando”. O produto é chamado de bioconcreto ou concreto auto curável.

A fim de manter as bactérias dormentes até que seja necessário, elas são colocadas em cápsulas pequenas, biodegradáveis, contendo cálcio. Quando as fendas se abrem e a água entra em contato com as cápsulas, as bactérias passam a se alimentar do cálcio, que reage com o carbono produzindo calcário, fechando as fissuras. O processo tem se mostrado eficaz, e podendo até mesmo ser adicionado a um líquido a ser pulverizado sobre edifícios existentes. O problema, no entanto, são os altos custos. Atualmente é duas vezes o custo do concreto tradicional (BOELEN *et al*, 2012)



**Figura 11:** Bioconcreto em processo de “autocura”. Fonte: Goyal, 2015.

## **5.2.4 Solo como material de construção**

A construção em terra já é usada há mais de 9000 anos pelo homem em todo o mundo. Nela fazem parte várias técnicas de construção, como a construção em taipa, em adobe ou em bloco de terra compactado (MATOS, 2012).

Se for assumido que o edifício será executado utilizando o solo localizado na sua proximidade, não há sequer poluição causada pelo transporte deste material. Já a utilização de alvenarias de tijolos cerâmicos ou de concreto, cuja produção é muitas vezes localizada distante das zonas de construção, implicam sempre elevadas distâncias de transporte com os consequentes impactos em termos de emissões de poluentes gasosos.

Torgal e Jalali (2010) afirmam que uma outra vantagem da construção em terra são os resultados relativos à qualidade do ar no interior das habitações. Segundo os autores, o fato tem a ver com a sua capacidade em controlar o nível de umidade relativa.

### **5.2.4.1 Tijolo ecológico**

Uma alternativa muito difundida como material ecoeficiente que utiliza a terra em sua composição é o tijolo solo-cimento, conhecido como tijolo ecológico.

Sala (2006) o define como:

O tijolo ecológico ou de solo-cimento é feito de uma mistura de solo e cimento, que depois são prensados; seu processo de fabricação não exige queima, o que evita desmatamentos e não polui o ar, pois não lança resíduos tóxicos no meio ambiente. Para o assentamento, no lugar de argamassa comum é utilizada uma cola especial (SALA, 2006).

Além do benefício ambiental por não ter o processo de queima, o tijolo ecológico é autotravado, ou seja, dispensa a argamassa, necessitando apenas de cola, reduzindo em até 50% o tempo de execução. Sua aparência lisa permite que o

tijolo seja aplicado sem reboco, reduzindo ainda mais o uso de material. Além disso, possui resistência à compressão semelhante à do tijolo tradicional, porém a qualidade final é superior com dimensões regulares e faces planas (MOTA *et al*, 2010; CARDOSO, DETRO, JÚNIOR, 2011).

Motta *et al* (2010) listam outras vantagens além das citadas, como o comportamento térmico e durabilidade equivalentes às construídas com tijolos ou blocos cerâmicos. Também, os tijolos de solo-cimento podem ser utilizados em alvenaria de vedação ou estrutural, desde que atendam às resistências estabelecidas nos critérios de projetos, que devem ser os mesmos aplicados aos materiais de alvenaria convencional, bem como devem seguir as indicações de cuidados e manutenção do material.

Além da unidade comum, Cardoso, Detro e Júnior (2011) também listam alguns resíduos que podem ser adicionados aos tijolos cimentos a partir de dados da literatura. Como exemplo:

- a) Tijolo de solo-cimento com pó de mármore: os resíduos provenientes da serragem de rochas ornamentais também podem ser utilizados para confecção de tijolos ecológicos de solo-cimento. A utilização de pó de mármore nos tijolos reduz o custo, pois o seu uso diminui o consumo de cimento ou de areia, além de minimizar os impactos ambientais já que estes materiais são extraídos da natureza;
- b) Tijolo de solo-cimento com calça: a inserção destes resíduos tem o objetivo de melhorar as características do tijolo solo-cimento, além de prover um destino aos resíduos da construção civil. Estudos a respeito das características deste tipo de tijolo mostram que as características dos solos são melhoradas devido à inserção dos resíduos, assim como as propriedades mecânicas do tijolo.

Além destes, Souza, Segantini e Pereira (2007) apresentaram a possibilidade de utilizar resíduos de concreto nos tijolos ecológicos, que a partir de ensaios laboratoriais, concluíram que o solo-cimento é uma excelente matriz para o aproveitamento dos resíduos de concreto, possibilitando a adição de 60% de resíduos em relação à massa de solo, sem prejuízos para as características do solo-cimento. Nos ensaios foram constatados que todos os traços com adição de resíduos atenderam plenamente às especificações das normas brasileiras, mostrando haver possibilidade de se utilizar dosagens com menos de 6% de cimento na confecção dos tijolos.

Como desvantagem do produto, tem-se o perigo do próprio uso de solo, pois quando usado indiscriminadamente pode favorecer processos erosivos ao meio

ambiente. Outro ponto é o erro de dosagem, o qual pode favorecer o surgimento de patologias na construção.

## **5.2.5 Isolantes térmicos e acústicos**

### **5.2.5.1 Lã de ovelha**

A lã animal pode ser utilizada em isolamentos térmicos e acústicos. Apresenta inúmeras vantagens, como: controla as condensações, absorvendo e libertando umidade sem que haja perda das suas características térmicas; aquece até 7 °C quando absorve umidade, reduzindo o risco de condensações; absorve até 30% do seu peso em água, evitando recorrer a uma proteção contra o vapor; absorve gases perigosos, como CO<sub>2</sub>, retendo-os permanentemente; tem grande durabilidade, pois em contato com umidade não se degrada; provém de fontes renováveis; é biodegradável após o seu fim de vida útil; pode ser reutilizado se estiver em boas condições; é reciclável; e não provoca problemas respiratórios ou de pele durante a sua aplicação (MATEUS e BRAGANÇA, 2006)

### **5.2.5.2 Cânhamo**

Segundo Santos (2013), as fibras exteriores resultantes do caule do cânhamo podem ser utilizadas como isolamento térmico e acústico nas construções. Da aglomeração das fibras de cânhamo, ligeiramente comprimidas, resultam as placas flexíveis, sem necessitar de ligantes e estando somente sujeitas a um tratamento anti-fogo. Estas podem ser usadas em paredes, pisos e coberturas

A utilização do cânhamo é mais benéfico em termos ambientais e de saúde humana, tendo uma baixa demanda na produção. Pode ser reciclado, tem efeitos positivos sobre o ar interno e tem uma menor energia incorporada em relação, por exemplo, a lã de rocha (Kymalainen e Sjoberg, 2008). No entanto, uma das razões que tem dificultado a utilização deste material é o seu preço.

## **6. Revisão bibliográfica de casos com aplicação de materiais sustentáveis**

Neste capítulo são exemplificados casos reais de edificações brasileiras, certificadas ambientalmente, que fizeram uso de materiais de construção sustentáveis. Para tal, foi realizado um levantamento bibliográfico, chegando ao detalhamento de cinco estudos de casos: as edificações Porto Brasilis, Ventura Corporate Towers, Eldorado Business Tower, Cenpes II, e Shopping Riomar Recife.

A finalidade desta metodologia utilizada na pesquisa é obter uma amostra da experiência e cenário brasileiros quanto às práticas e critérios adotados nas escolhas de materiais em construções declaradas sustentáveis. A análise comparativa dos casos também permitirá verificar quais tipos de materiais são mais priorizados, se há presença de inovação nas escolhas, e ainda, analisar qual importância dada ao quesito materiais comparado a todas as soluções adotadas para tornar os edifícios sustentáveis.

### **6.1.1 Porto Brasilis**

O Porto Brasilis (Figura 12) é um empreendimento corporativo que faz parte da Operação Urbana Porto Maravilha, sendo o primeiro da operação a ficar pronto. Consiste numa torre de arquitetura em escultura com formas assimétricas, tendo 21 pavimentos. O prédio, localizado na esquina da Rua São Bento com a Avenida Rio Branco, no centro do Rio de Janeiro, foi construído sobre um terreno de 1.635 m<sup>2</sup>, com cerca 19.000 m<sup>2</sup> de área locável.



**Figura 12:** Edifício Porto Brasilis. Fonte: <https://www.jllproperty.com.br>, s.d.

O edifício, construído pela empresa Gafisa e incorporado pela Fibra Experts ganhou o nível mais alto da certificação LEED: o selo Ouro, com 39 pontos no total. A pontuação foi obtida na segunda versão da certificação, cujas gradações diferem da terceira versão: nela, a pontuação máxima é de 62 pontos. Algumas das soluções sustentáveis adotadas são: aproveitamento da água da chuva, o uso de geradores de energia para 100% das cargas e a utilização de louças e metais sanitários economizadores de água, além de vagas de estacionamento preferenciais para veículos com baixa emissão de poluentes. Alguns dos principais resultados obtidos, segundo a GBC Brasil, são apresentados na Tabela 22.

**Tabela 22:** Principais resultados das soluções sustentáveis do Porto Brasilis. Fonte: GBC Brasil, s.d.

Porto Brasilis		Taxa
Economia de energia		15%
Economia de água potável	Em dispositivos	31%
	No paisagismo	100%
Resíduos desviados de aterro		82,7%

### **Materiais**

Os dados obtidos sobre o uso de materiais sustentáveis encontram-se na Tabela 23.

**Tabela 23:** Uso de materiais sustentáveis no edifício Porto Brasilis. Fonte: GBC Brasil, s.d.

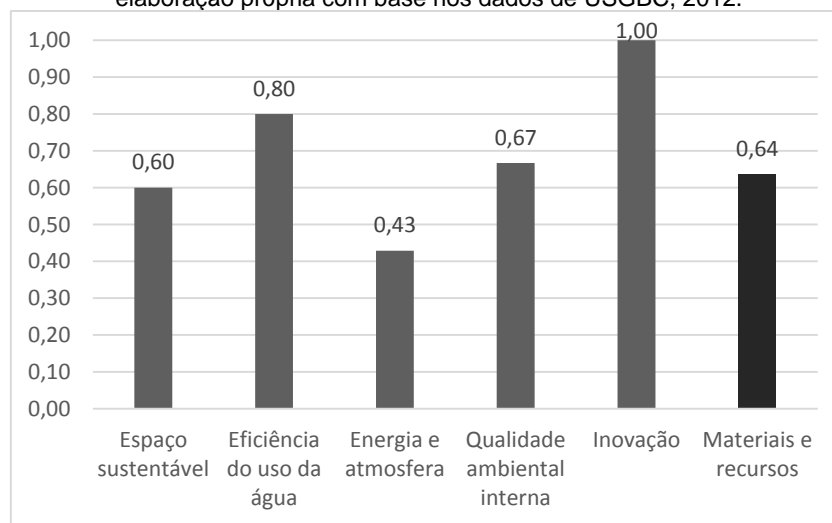
Porto Brasilis	Taxa
----------------	------

Materiais com conteúdo reciclado	22,7%
Materiais Regionais	55%
Madeira certificada FSC (Forest Stewardship Council)	97%
Fachada com vidros <i>low-e</i> (Permite que a luz passe para o interior do edifício, mas evita a entrada do calor, reduzindo o uso do ar condicionado)	i.n.o.

i.n.o.: Informação não obtida

Dos 39 pontos obtidos para o selo LEED Ouro, 9 de 15 foram para o critério “Espaço sustentável”; 4 de 5 para “Eficiência do uso da água”; 6 de 14 para “Energia e atmosfera”; 8 de 12 para “Qualidade ambiental interna”; 5 de 5 em “Inovação”; e 7 de 11 em “Materiais e recursos” (USGBC, 2012). Desta forma, a partir do cálculo da eficiência em pontuar os requisitos de cada categoria, observou-se que o foco nos recursos e materiais sustentáveis para a construção do edifício obteve o quarto maior índice em um total de 6 (Tabela 24).

**Tabela 24:** Eficiência no atendimento à pontuação total de cada requisito do LEED – Porto Brasilis. Fonte: elaboração própria com base nos dados de USGBC, 2012.



### 6.1.2 Ventura Corporate Towers

Construído pelo consórcio das empresas Camargo Corrêa e Método em um terreno de 8.550 m<sup>2</sup>, o Ventura Corporate Towers (Figura 13) é um empreendimento localizado na Av. República do Chile, na cidade do Rio de Janeiro, composto por duas torres gêmeas de 36 pavimentos. É o primeiro empreendimento certificado na categoria Ouro do LEED no Rio de Janeiro.





**Figura 13:** Ventura Corporate Towers. Fonte: <https://www.skyscrapercity.com>, s.d.

De acordo com Valente (2009), algumas características sustentáveis do empreendimento são: reaproveitamento da água da chuva e da condensação do ar-condicionado; implantação de telhado verde na cobertura do edifício garagem; flexibilidade dos ambientes internos e gestão de resíduos.

Alguns dos resultados alcançados, obtidos pelo portal VGV (2009), são apresentados na Tabela 25:

**Tabela 25:** Principais resultados das soluções sustentáveis do Ventura Corporate Towers. Fonte: <https://www.portalvgv.com.br>, 2009.

<b>Ventura Corporate Towers</b>	<b>Taxa</b>
Economia de consumo de água potável	38,7%
Economia de água potável para irrigação	100%
Resíduos desviados de aterros	71%
Redução de vazão e volume de água lançada na rede pública	30%

### **Materiais**

Os dados sobre o uso de materiais sustentáveis no empreendimento encontram-se na Tabela 26.

**Tabela 26:** Uso de materiais sustentáveis no empreendimento Ventura Corporate Towers. Fonte: <https://www.portalvgv.com.br> e Valente, 2009.

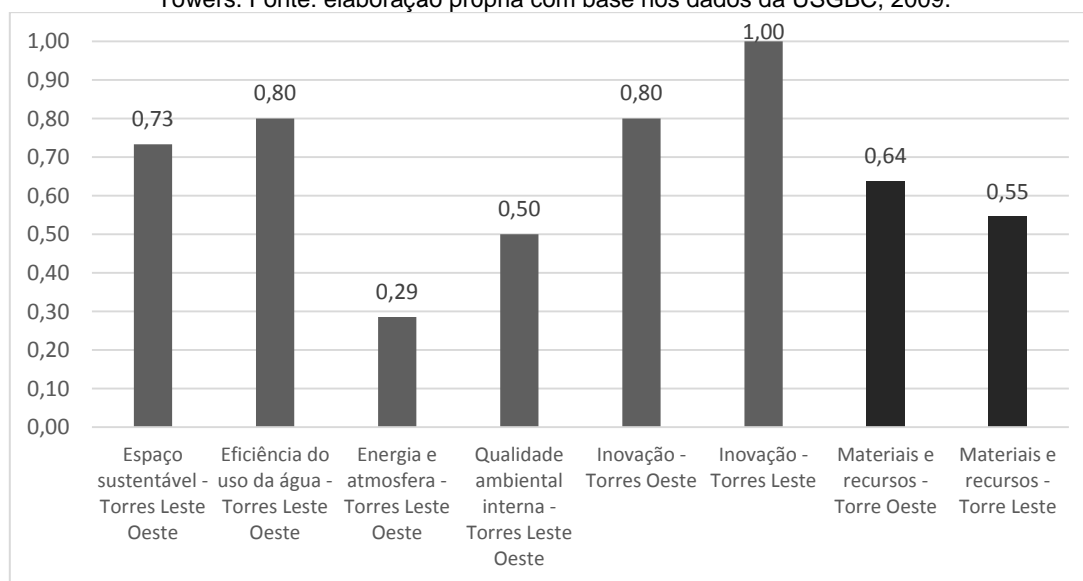
<b>Ventura Corporate Towers</b>	<b>Taxa</b>
Materiais com conteúdo reciclado	41%
Materiais Regionais	57%
Madeira certificada FSC (Forest Stewardship Council)	66%

Fachada com vidros refletivos especiais (Vidros laminados de 10mm de espessura com baixa transmissão, reduzindo o uso do ar condicionado)	i.n.o
--	-------

i.n.o.: Informação não obtida

Dos 35 pontos obtidos para o selo LEED Ouro da segunda versão, em ambas torres foram 11 de 15 para o critério “Espaço sustentável”; 4 de 5 para “Eficiência do uso da água”; 4 de 14 para “Energia e atmosfera”; 6 de 12 para “Qualidade ambiental interna”; e 5 de 5 e 4 de 5 em “Inovação” para as Torres Leste e Oeste respectivamente; e 6 de 11 em “Materiais e recursos” para a Torre Leste e 7 de 11 para a Torre Oeste (USGBC, 2009). Sendo assim, utilizando o mesmo cálculo anterior para a eficiência em pontuar os requisitos de cada categoria, observou-se que o foco nos recursos e materiais sustentáveis para a construção do edifício obteve o quinto maior índice em um total de 6 categorias (Gráfico 7).

**Gráfico 7:** Eficiência no atendimento à pontuação total de cada requisito do LEED – Ventura Corporate Towers. Fonte: elaboração própria com base nos dados da USGBC, 2009.



### 6.1.3 Eldorado Business Tower

O Eldorado Business Tower (Figura 14) é um edifício de escritórios em São Paulo, tendo sido inaugurado em novembro de 2007. A torre destinada a escritórios tem 32 andares de lajes em concreto protendido de espessura de 27 cm, que possibilitam plantas flexíveis com área de 2.000 m<sup>2</sup>, e pé-direito de 3,00 m. Com 141 metros de altura, o edifício dispõe ainda de quatro subsolos, edifício garagem com sete pavimentos, centro de convenções e heliponto. O edifício foi o primeiro da América Latina a ganhar certificação LEED Platina Core and Shell.



**Figura 14:** Edifício Eldorado Business Tower. Fonte: <https://www.puraruitetura.com>, s.d.

Entre suas características sustentáveis, destacam-se o reaproveitamento da água da chuva, ar-condicionado e drenagem para tratamento e utilização na limpeza do prédio e paisagismo e eficiência energética. Também, adquiriu o Grau A do programa Procel Edifica (selo de eficiência energética).

Alguns dos resultados alcançados, de acordo com o GBC Brasil (s.d.) e Sindusconsp (2007), são apresentados na Tabela 27:

**Tabela 27:** Principais resultados das soluções sustentáveis do Eldorado Business Tower. Fonte: CBG Brasil, s.d. e Sindusconsp, 2007.

<b>Eldorado Business Tower</b>	<b>Taxa</b>
Economia de consumo de água potável	33%
Economia de água potável para irrigação	100%
Resíduos desviados de aterros	74%
Redução de vazão e volume de água lançada na rede pública as chuvas	25%
Economia do consumo de energia	18%
Redução nos custos condominiais	50%

### **Materiais**

Os dados obtidos sobre o uso de materiais sustentáveis no empreendimento encontram-se na Tabela 27.

**Tabela 28:** Uso de materiais sustentáveis no empreendimento Eldorado Business Tower. Fonte: GBC Brasil, s.d.

<b>Eldorado Business Tower</b>	<b>Taxa</b>
Materiais com conteúdo reciclado	30%

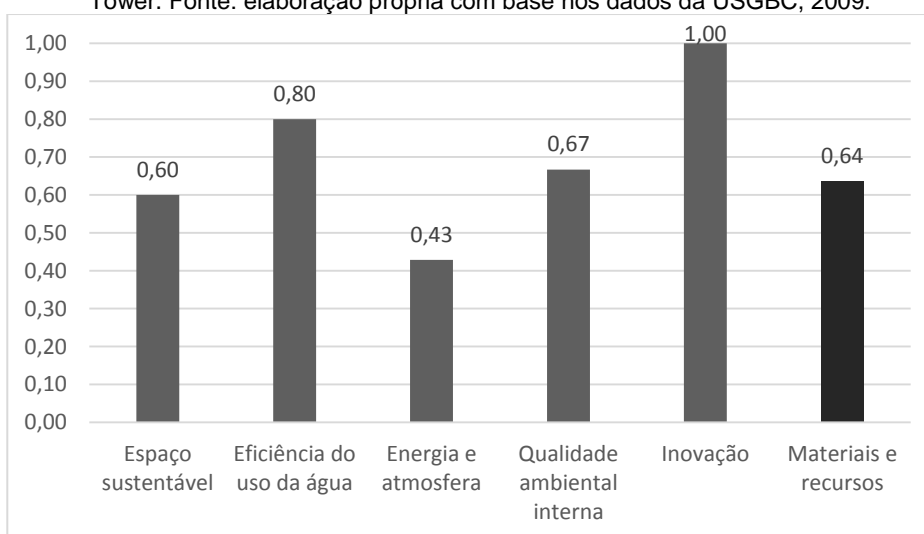
Materiais Regionais	50%
Madeira certificada FSC (Forest Stewardship Council)	95%
Fachada com vidros refletivos especiais (Vidros laminados de 10mm de espessura com baixa transmissão, reduzindo o uso do ar condicionado)	i.n.o.

i.n.o.: Informação não obtida

Dos 45 pontos obtidos na versão 2 para o selo Platina, o nível mais alto da certificação LEED, 14 de 15 foram para o critério “Espaço sustentável”; 4 de 5 para “Eficiência do uso da água”; 7 de 14 para “Energia e atmosfera”; 9 de 12 para “Qualidade ambiental interna”; 5 de 5 em “Inovação”; e 7 de 11 em “Materiais e recursos” (www.usgbc.org).

Os índices encontrados a eficiência em pontuar os requisitos de cada categoria são ilustrados no Gráfico 8. Nota-se que o foco nos recursos e materiais sustentáveis para a construção do edifício obteve o quarto maior índice em um total de 6 categorias.

**Gráfico 8:** Eficiência no atendimento à pontuação total de cada requisito do LEED – Eldorado Business Tower. Fonte: elaboração própria com base nos dados da USGBC, 2009.



### 6.1.4 CENPES II

Para este caso, o projeto de arquitetura foi objeto de uma concorrência nacional ocorrida em 2004, que para a qual foram convidados quatro escritórios de arquitetura. A proposta vencedora foi a da equipe liderada pelo escritório Zanettini Arquitetura S.A., com co-autoria do arquiteto José Wagner Garcia. O complexo de edifícios do novo centro de pesquisa CENPES II (Figura 15) cobre uma área de mais de 100.000 m<sup>2</sup> com o objetivo de completar o centro de pesquisas existente e é localizado às margens da Baía de Guanabara, na Ilha do Fundão no Rio de Janeiro.



**Figura 15:** CENPES II. Fonte: <https://www.consep.eng.br>, s.d.

Ganhou o prêmio 2011 Green Building Brasil - vencedor da categoria “Obra Pública Sustentável”. Possui uma série de características baseadas nos princípios da sustentabilidade, entre elas (MACHADO, 2010)

- a) Forma arquitetônica das edificações adequada aos condicionantes climáticos locais e padrão de uso para minimização da carga térmica interna, aproveitamento da iluminação e ventilação natural;
- b) Edifícios com dupla proteção de cobertura;
- c) Definição das orientações a partir das simulações de insolação para solstício de verão, inverno e equinócio; dimensionamento de dispositivos de proteção solar de forma a proteger superfícies envidraçadas e evitar incidência direta do sol nas fachadas;
- d) Criação de microclima local e redução da ilha de calor, de ruídos e de impacto visual com a adoção de paisagismo adequado e recuperação da restinga;
- e) Uso de painéis fotovoltaicos;
- f) Sistemas para uso racional e reuso da água (uso de água de chuva captada nos telhados para bacias e mictórios, uso de água de chuva captada dos pisos dos estacionamentos para irrigação de jardins e desenvolvimento de uma estação de tratamento de esgoto, área de descarte de resíduos e compostagem);
- g) Controle da dispersão de gases dos laboratórios;
- h) Utilização de tecnologias limpas, materiais industrializados e estrutura metálica como estratégia de construção seca, organizada, que evita desperdícios e economiza tempo.

## **Materiais**

Machado (2010) afirma, com base nos relatórios disponibilizados pela Petrobrás para auxílio de sua pesquisa, que os itens passíveis à ganhar pontos da certificação LEED NC relativos ao uso de materiais sustentáveis seriam:

**Tabela 29:** Uso de materiais sustentáveis no Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello.  
Fonte: Machado, 2010.

<b>CENPES II</b>	<b>Taxa</b>
Reuso de recursos	5-10%
Materiais com conteúdo reciclado	5-10%
Materiais rapidamente renováveis	i.n.o.
Madeira certificada FSC (Forest Stewardship Council)	i.n.o.
Materiais com baixa emissão de compostos voláteis	i.n.o.

i.n.o.: Informação não obtida

A principal alternativa para a redução dos impactos foi a adoção na construção do conceito de obra racionalizada e industrializada, com a utilização de estruturas em aço e de componentes industrializados, como os painéis de fechamentos verticais.

Machado (2010) afirma que essa medida permitiu a redução do tempo de execução e a diminuição de desperdícios da obra e possibilitou um canteiro de obras organizado, servindo apenas como local de montagem. As vantagens da predominância do aço em todo o complexo seriam devido à facilidade de transporte, padronização de usos, equalização de vãos e dimensões das peças, racionalização de materiais e mão-de-obra, reutilização com uma possível desmontagem futura, longa vida útil e alto potencial de reciclagem.

De acordo com a autora, para a maioria dos fechamentos verticais internos foram utilizadas painéis de gesso acartonado com estrutura metálica de sustentação: o sistema *Drywall*. Esse sistema foi escolhido por permitir montagem e desmontagem simples, sem desperdício de materiais, conferindo maior flexibilidade à edificação. Para os fechamentos externos foram especificados painéis em concreto armado de quatro fabricantes distintos, com acabamento claro e agregados incorporados de fábrica e com 15% de conteúdo reciclado.

Quando necessário e especificado no projeto, os fechamentos internos de alguns ambientes receberam placas duplas de gesso acartonado e material isolante térmico tipo lã de rocha no interior do sistema. Como alternativa ao uso de lã de rocha, começaram a ser aplicados como isolante um material fabricado com 50% de conteúdo reciclado de garrafas Pet (Figura 16).





**Figura 16:** Fechamento interno CENPES II. a) Material isolante térmico fabricado a partir de garrafas pet transparente aplicado entre os Drywalls. b) Material isolante térmico fabricado com garrafas pet verdes. Finte: Machado (2010).

Machado, Souza e Krause (2012) ressaltam que encontrar materiais mais adequados revelou-se um problema crucial no projeto e construção do novo Cenpes, uma vez que a grande maioria dos fornecedores nacionais não disponibilizava informações essenciais para promover a competitividade baseada na eficiência ambiental. A inclusão do aspecto ambiental na comparação entre materiais cria uma etapa extra na fase de seleção, que, apesar de agregar complexidade ao processo, é fundamental para promover o desempenho ambiental da construção.

### **6.1.5 Shopping RioMar Recife**

Inaugurado no final de 2012, o Shopping Riomar de Recife, Pernambuco, é localizado em um terreno de 202 mil m<sup>2</sup> na Bacia do Pina. O shopping tem 295 mil m<sup>2</sup> de área construída e cinco pavimentos, sendo um nível de estacionamento e lojas, três somente para lojas e um para cinema e teatro. O complexo ainda possui um edifício-garagem interligado ao shopping, com seis mil vagas distribuídas em sete andares. O projeto de arquitetura é assinado pelo escritório André Sá & Francisco Mota Arquitetos (ROCHA, 2013)

O RioMar Shopping (Figura 17) é o primeiro centro do compras do Brasil a conquistar a certificação Aqua e o primeiro shopping da América Latina a receber a certificação. Seu nível atingido foi QAE + Operação, ou seja, obteve as pontuações necessárias para ser considerado sustentável nas quatro fases: pré projeto, projeto, execução e operação. Das 14 categorias avaliadas, teve desempenho excelente em oito.



**Figura 17:** RioMar Recife. Fonte: <https://www.jconline.ne10.uol.com.br>, 2012.

Segundo Bacelar para o Jornal do Comércio (2012), a obra foi pensada para atender os aspectos do desenvolvimento sustentável. Socialmente, umas das ações foi o relacionamento com as comunidades localizadas no entorno do empreendimento: a qualificação para 2.021 moradores, em cursos nas áreas de construção civil, varejo, informática básica, aceleração de escolaridade e jovens aprendizes, desse total, 420 alunos trabalharam na obra. Além de doação de um terreno de 13.000m<sup>2</sup> à prefeitura para a construção de habitações sociais (MATOS, 2014).

Nos quesitos ambientais, Matos (2014) alega que o projeto preocupou-se com toda a envoltória do edifício, privilegiando a iluminação natural, com o uso de vidros de alto desempenho e baixa emissividade que proporcionam luminosidade sem aquecimento adicional; os fechamentos foram executados pelo sistema *Drywall*, com isolamento de lã de garrafas pets. Desse modo, todo o processo evoluiu para a melhoria da eficiência sob o aspecto termodinâmico, propiciando ao edifício uma economia de 20% a 25% da energia total, se comparado a sistemas convencionais que usam equipamentos para garantir o conforto térmico e lumínico ao usuário. No interior do shopping, especificou-se o sistema de piso radiante e vigas frias, que proporcionam redução de 34,5% no uso de ar condicionado, bem como aproveitamento da água da chuva e sistema de esgoto a vácuo, que garante uma redução de 80% de água de descargas, tratamento do lixo orgânico e coleta seletiva de lixo. A água à uma temperatura de 15°C, utilizada nas vigas e piso frio, é reutilizada para fazer o resfriamento da casa de máquinas e dos quadros elétricos, sendo, em seguida, reposta nas torres de resfriamento, reduzindo-se em torno de 25% o consumo da água evaporada nas torres.

Um panorama de alguns dos resultados alcançados com as escolhas sustentáveis do empreendimento encontra-se na Tabela 30.



**Tabela 30:** Principais resultados das soluções sustentáveis do RioMar Shopping Recife. Fonte: Matos, 2014 e Rocha, 2013.

<b>RioMar Recife</b>	Taxa
Economia de energia total	20-25%
Redução do uso de ar condicionado	34,5%
Aproveitamento de água da chuva	i.n.o.
Redução de consumo de água de descargas (esgoto à vácuo)	80%
Área impermeável	30%

i.n.o.: Informação não obtida

### **Materiais**

Das questões relativas à sustentabilidade dos materiais utilizados, os dados obtidos foram:

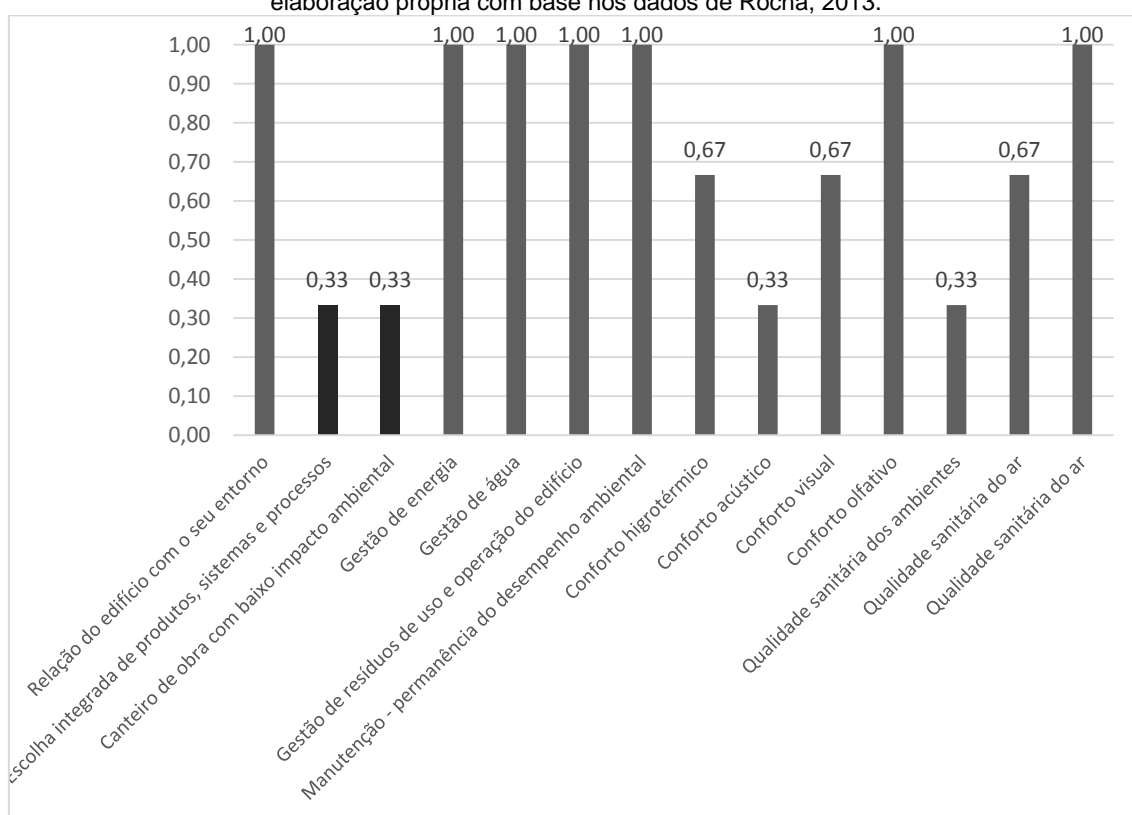
- a) Isolamento térmico de lã de garrafas pet (retirada de 3.612.386 garrafas pet da natureza, de acordo com artigo da EA Engenharia e Arquitetura (2013);
- b) Favorecimento da escolha de sistemas pré-fabricados de concreto para a execução. A justifica foi em prol de obter uma construção limpa, com baixa geração de resíduos;
- c) Reuso de materiais obtidos na obra: De acordo com Rocha (2013), em matéria para a revista *Téchne Pini*, a escavação das estacas gerou cerca de 25 mil m<sup>3</sup> de resíduos de solo escavado. Como o shopping estava buscando a certificação de sustentabilidade, seria necessário que todo o material fosse transportado e depositado em um aterro sanitário, com custos muito altos. A construtora decidiu aproveitá-los no próprio local, junto com os resíduos da demolição dos sete blocos de uma fábrica de bebidas alcoólicas que antes ocupava o terreno para a pavimentação do RioMar Recife. Desta forma, foram realizados estudos em laboratório para a viabilidade de uso de ambos os materiais na pavimentação da obra. Ao final, foi comprovada a viabilidade de uso de mistura de 60% do solo das estacas com 40% do resíduo triturado da demolição.

Como abordado no Capítulo 5, a certificação Aqua não utiliza os mesmos critérios do LEED, assim como sua pontuação é em níveis: bom, superior e excelente. Das 14 categorias, obteve nível “Excelente” em relação do edifício com o seu entorno; gestão de energia; gestão de água; gesto dos resíduos de uso e operação do edifício; manutenção – permanência do desempenho ambiental; conforto olfativo; e qualidade sanitária da água. As categorias conforto hipotérmico; conforto visual; e qualidade do ar, obtiveram nível “Superior”. Por fim, obtiveram o menor nível da certificação as

categorias escolha integrada de produtos, sistemas e processos; canteiro de obra com baixo impacto ambiental; conforto acústico; e qualidade sanitária dos ambientes (ROCHA, 2013).

Utilizando uma escala de 1 à 3 para os níveis da categoria, sendo 1 o nível mais baixo – “Bom”, 2 o nível intermediário - “Superior” e 3 para nível mais alto - “Excelente”, de modo a comparar a eficiência em pontuar as categorias (Gráfico 9). Nota-se que as questões envolvendo a escolha dos materiais de construção de acordo com os parâmetros de sustentabilidade desenvolvidos pelo Aqua, contempladas principalmente nas categorias “Escolha integrada de produtos, sistemas e processos” e “Canteiro de obra com baixo impacto ambiental”, figuram entre as menos pontuadas.

**Gráfico 9:** Eficiência no atendimento níveis de cada categoria do AQUA – RioMar Recife. Fonte: elaboração própria com base nos dados de Rocha, 2013.



### 6.1.6 Resumo

A Tabela 31 abaixo reúne as principais informações obtidas ao longo do capítulo sobre os empreendimentos estudados.

**Tabela 31:** Síntese dos estudos de casos. Fonte: Elaboração própria, Oliveira, 2015.

Empreendimento	Localização	Certificação	Informações obtidas sobre os materiais		Eficiência em pontuar os requisitos relativos aos materiais nas certificações
Porto Brasilis	Rio de Janeiro	LEED Ouro	Materiais com conteúdo reciclado	22,70%	0,64

			<table border="1"> <tr> <td> Materiais Regionais</td> <td>55%</td> </tr> <tr> <td> Madeira certificada FSC (Forest Stewardship Council)</td> <td>97%</td> </tr> <tr> <td colspan="2"> Fachada com vidros <i>low-e</i></td> </tr> </table>	Materiais Regionais	55%	Madeira certificada FSC (Forest Stewardship Council)	97%	Fachada com vidros <i>low-e</i>						
Materiais Regionais	55%													
Madeira certificada FSC (Forest Stewardship Council)	97%													
Fachada com vidros <i>low-e</i>														
Ventura Corporate Towers	Rio de Janeiro	LEED Ouro	<table border="1"> <tr> <td> Materiais com conteúdo reciclado</td> <td>41%</td> </tr> <tr> <td> Materiais Regionais</td> <td>57%</td> </tr> <tr> <td> Madeira certificada FSC (Forest Stewardship Council)</td> <td>66%</td> </tr> <tr> <td colspan="2"> Fachada com vidros refletivos especiais</td> </tr> </table>	Materiais com conteúdo reciclado	41%	Materiais Regionais	57%	Madeira certificada FSC (Forest Stewardship Council)	66%	Fachada com vidros refletivos especiais		0,64 (Torre Oeste)		
			Materiais com conteúdo reciclado	41%										
			Materiais Regionais	57%										
			Madeira certificada FSC (Forest Stewardship Council)	66%										
Fachada com vidros refletivos especiais														
			0,55 (Torre Oeste)											
Eldorado Business Tower	São Paulo	LEED Platina	<table border="1"> <tr> <td> Materiais com conteúdo reciclado</td> <td>30%</td> </tr> <tr> <td> Materiais Regionais</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td> Madeira certificada FSC (Forest Stewardship Council)</td> <td>95%</td> </tr> <tr> <td colspan="2"> Fachada com vidros refletivos especiais</td> </tr> </table>	Materiais com conteúdo reciclado	30%	Materiais Regionais	50%	Madeira certificada FSC (Forest Stewardship Council)	95%	Fachada com vidros refletivos especiais		0,64		
			Materiais com conteúdo reciclado	30%										
			Materiais Regionais	50%										
			Madeira certificada FSC (Forest Stewardship Council)	95%										
Fachada com vidros refletivos especiais														
CENPES II	Rio de Janeiro	LEED <sup>1</sup>	<table border="1"> <tr> <td> Reuso de recursos</td> <td>5-10%</td> </tr> <tr> <td> Materiais com conteúdo reciclado</td> <td>5-10%</td> </tr> <tr> <td> Materiais rapidamente renováveis</td> <td>i.n.o.</td> </tr> <tr> <td> Madeira certificada FSC (Forest Stewardship Council)</td> <td>i.n.o.</td> </tr> </table>	Reuso de recursos	5-10%	Materiais com conteúdo reciclado	5-10%	Materiais rapidamente renováveis	i.n.o.	Madeira certificada FSC (Forest Stewardship Council)	i.n.o.	i.n.o.		
			Reuso de recursos	5-10%										
			Materiais com conteúdo reciclado	5-10%										
			Materiais rapidamente renováveis	i.n.o.										
Madeira certificada FSC (Forest Stewardship Council)	i.n.o.													
Shopping RioMar	Recife	AQUA	<table border="1"> <tr> <td> Materiais com baixa emissão de compostos voláteis</td> <td>i.n.o.</td> </tr> <tr> <td> Materiais com conteúdo reciclado</td> <td>i.n.o.</td> </tr> <tr> <td colspan="2"> Sistemas pré-fabricados de concreto para a execução</td> </tr> <tr> <td> Reuso de materiais obtidos na obra: escavação e demolição</td> <td>60%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>40%</td> </tr> </table>	Materiais com baixa emissão de compostos voláteis	i.n.o.	Materiais com conteúdo reciclado	i.n.o.	Sistemas pré-fabricados de concreto para a execução		Reuso de materiais obtidos na obra: escavação e demolição	60%		40%	0,33
			Materiais com baixa emissão de compostos voláteis	i.n.o.										
			Materiais com conteúdo reciclado	i.n.o.										
			Sistemas pré-fabricados de concreto para a execução											
			Reuso de materiais obtidos na obra: escavação e demolição	60%										
	40%													

i.n.o.: Informação não obtida

<sup>1</sup> Informação não obtida sobre o nível da certificação

### 6.1.7 Considerações finais sobre os estudos de casos

A primeira consideração a ser feita sobre o levantamento de edificações no Brasil que utilizaram materiais de construção sustentáveis é sobre os entraves encontrados em obter informações documentadas sobre as escolhas dos materiais dos edifícios. Nas matérias de revistas, jornais, assim como nas publicações científicas, a abordagem aos edifícios verdes foi na maioria das vezes generalista, indicando soluções sustentáveis gerais dos empreendimentos.

Quando se percebeu um direcionamento nos estudos, majoritariamente ocorreu em temas como climatização e eficiências energética e de água. Uma das possíveis explicações se dá pelo fato das construções sustentáveis no país terem maior parcela na iniciativa privada, cujos rápidos retornos econômicos dos investimentos para tornar um empreendimento sustentável são priorizados. Nos próprios empreendimentos avaliados as medidas relativas à iluminação natural, sistemas de reaproveitamento de água e conforto térmico priorizando um menor consumo de ar condicionados são bem definidas frente às escolhas dos materiais

As questões dos materiais foram abordadas sempre de modo similar, observando-se forte dependência com o modo que o tema é cobrado na certificação a qual o edifício buscou o selo sustentável. Por exemplo, nos quatro edifícios vinculados ao LEED e no único ao AQUA, mesmo sendo processos diferentes, basicamente foram contempladas os itens:

a) Uso de materiais com conteúdo reciclado;

O aprofundamento das informações adveio das taxas em que esses materiais foram utilizados, e no máximo, com a exemplificação do uso de isolantes de garrafas pets recicladas. Não há como afirmar se outros materiais foram utilizados.

A maior taxa de utilização é relativa ao Ventura Corporate Towers, com cerca de 40%, enquanto a menor foi para o Cenpes II, onde essa taxa ficou entre 5 e 10%.

b) Opção por materiais regionais;

Todos os empreendimentos do LEED, exceto a Cenpes II, optaram seguir essa diretriz. Os materiais fabricados em um distância de até 800km são considerados pelo LEED como sustentáveis, e conseqüentemente pontuáveis. Os três edifícios utilizaram esses materiais no mesmo patamar, na faixa dos 50%.

c) Utilização de madeira certificada;

Os empreendimentos do LEED consideraram como sustentáveis as madeiras certificadas. É importante ressaltar a diferença entre madeira legal e certificada. A madeira legalizada é aquela extraída dentro das exigências legais do país, podendo ser comercializado mediante uma licença ambiental ou atendimento à legislação de exploração. A certificação atesta que além das leis aplicáveis toda a cadeia está de acordo com o desenvolvimento sustentável. Os edifícios tiveram boa aderência à esse material, com destaque ao Porto Brasilis, onde quase a totalidade de madeira utilizada foi certificada pela FSC.

d) Materiais rapidamente renováveis;

Os materiais considerados sustentáveis pela sua capacidade de se renovar na natureza foram somente contemplados no Cenpes II. Uma explicação é devido às diferenças entre os selos Core and Shell obtido pelas outras edificações, cujo foco é

avaliar a envoltória e estrutura principal e não pontua este item, e o New Construction tentado pela Cenpes, que avalia o novo empreendimento como todo e inclui a preocupação com o uso desses materiais.

e) Reuso de materiais;

A utilização de materiais considerados sustentáveis pela sua capacidade de reutilização foi adotada em somente um dos empreendimentos associados ao LEED, sendo o caso do Cenpes. Mesmo sendo um item a pontuar, os outros não aderiram. Quanto ao shopping Riomar, do Aqua, houve foco nesses materiais, uma vez que resíduos de solo e demolição foram reutilizados.

f) Vidros especiais.

Outro material presente na maioria dos casos foi o caso do vidro para fachadas que auxiliam no controle de iluminação e temperatura. A sustentabilidade justificada seria no ganho de eficiência energética.

Desta forma, verificando então o tratamento recebido na questão abordada a partir das constatações acima, na relevância dada em se pontuar essa categoria, e com o auxílio dos gráficos de eficiência, pode-se concluir que os estudos de caso não proporcionam as indicações esperadas de boas práticas para quais materiais utilizar ao buscar-se a sustentabilidade nas edificações. As justificativas das escolhas não foram satisfatoriamente coletadas, uma vez que não houve um detalhamento sobre as mesmas.

## 7. Conclusões

Como ressaltado ao longo de toda a pesquisa, o setor de construção é responsável por uma parte considerável da degradação ambiental do planeta, em particular devido aos impactos relativos ao volume de poluentes emitidos e grande consumo de recursos naturais e energéticos.

No entanto, as preocupações ambientais nunca estiveram tão presentes nas pautas dos países. As práticas em prol do desenvolvimento sustentável se tornaram comuns na construção civil, principalmente devido a difusão e boa aceitação da sociedade para com as certificações e selos ambientais, cuja adesão para novos lançamentos e obras de retrofit crescem cada vez mais. Atualmente existem diferentes selos, com distintas metodologias e aplicações, cujo empreendedor pode optar por aquela que melhor se adequa ao seu projeto.

Juntados os reais desejos de se preservar o meio ambiente com as exigências que essas certificações cobram dos empreendimentos, notou-se com a pesquisa que as questões relativas às escolhas dos materiais construtivos passaram a ser consideradas como preocupações.

A existência de materiais de construção mais sustentáveis, ou seja, que em algum momento seu uso seja justificado pela redução de impactos em comparação aos materiais convencionais, possibilita que os edifícios se tornem cada vez mais ambientalmente corretos, somado às adoções de soluções construtivas mais ecológicas e eficientes.

Entretanto, pode-se constatar que essa abordagem se deu de forma tímida comparada às outras soluções sustentáveis para os edifícios. Com os exemplos práticos abordados como estudos de caso, viu-se que as ações que trazem maior retorno financeiro ao longo do período de uso das edificações foram as mais priorizadas.

Outro ponto notado foi quanto a falta de profundidade e disponibilização de dados sobre os materiais escolhidos. Os materiais de construção sustentáveis nos casos práticos majoritariamente se resumiram aos títulos de materiais com conteúdo reciclados, reutilizados e os considerados regionais. Não foram descritos, por exemplo, quantos tipos diferentes de materiais reutilizados foram usados, nem como a justifica dos materiais reciclados frente à seu ciclo de vida e desempenho.

Tal tendência condiz com os resultados teóricos previamente encontrados no Capítulo 5, ao comparar os itens pontuáveis sobre os materiais entre diferentes certificações ambientais (Tabela 15). Com isso, verifica-se a forte dependência das práticas sustentáveis nas escolhas dos materiais de construção com o que é

determinado nas certificações, podendo resultar em fatores de desestímulo à inovações.

Essa dificuldade não figurou somente nos estudos de casos, encontrada também no próprio levantamento de exemplos de materiais alternativos. Verificou-se que ainda não há uma produção científica consistente no país no que diz respeito aos aspectos da sustentabilidade na construção civil com enfoque aos materiais construtivos. O tema é recente como preocupação ambiental. Além disso, a maioria das ferramentas existentes de avaliação de sustentabilidade de materiais é estrangeira e de países desenvolvidos, não constituindo, em certos momentos, referências adequadas ao Brasil.

Por outro lado, no que diz respeito aos parâmetros de escolhas dos materiais com base na ecoeficiência, foram encontradas variadas fontes de pesquisa e uma bibliografia bem consolidada. Foi de grande importância em se estudar esses parâmetros, pois verificou-se que o rótulo de material sustentável não é rígido e aplicável em qualquer situação, pois a sua sustentabilidade está diretamente relacionada ao contexto em que se insere. Por exemplo, um material de construção pode ter impactos extremamente minimizados em sua fase de produção, sendo caracterizado como um material verde. Porém, inserido como elemento na construção final, pode apresentar menor desempenho ao longo do ciclo vida, demandando por manutenções, que por sua vez geram impactos contínuos. Sendo assim, é necessária uma visão sistêmica na fase de projeto, de modo que as escolhas dos materiais sejam fundamentadas em justificativas coerentes com base em todo o seu ciclo de vida, e não somente baseadas em critérios isolados e objetivando unicamente atingir as pontuações mínimas às certificações.

Para trabalhos futuros, há a sugestão de realizar uma análise comparativa entre as realidades brasileira e estrangeira no que diz respeito ao tema, buscando-se verificar em qual patamar o país se encontra assim como elucidar melhores práticas que poderiam ser aplicadas ao Brasil. Também, sugere-se um levantamento das últimas inovações de materiais de construção sustentáveis, estudando sua aplicabilidade, benefícios e viabilidade econômica. Por fim, uma outra contribuição de pesquisa complementar seria uma que focasse na Análise do Ciclo de Vida de materiais de construção, apresentado a eficiência de utilização da mesma no contexto brasileiro.

## Referências bibliográficas

AMBIENTE BRASIL. **Recuperação de áreas degradadas**. 2007. Disponível em: <[http://ambientes.ambientebrasil.com.br/gestao/areas\\_degradadas/trabalhos\\_de\\_recuperacao\\_de\\_areas\\_degradadas.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/gestao/areas_degradadas/trabalhos_de_recuperacao_de_areas_degradadas.html)>. Acesso em: 05 jul. 2015

AMDA, Associação Mineira de Defesa do Ambiente. **Ciclo de Vida do Cimento**. 2011. Disponível em: <<http://www.amda.org.br/?string=interna-projetos&cod=28>>. Acesso em: 23 jul. 2015.

ANA, Agência Nacional de Águas. **Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. s.d. Brasil. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/>>. Acesso em: 21 jun. 2015.

ARANTES, L. C. **Construção Sustentável: Oportunidades de negócio para a empresa Bautec Construções & Incorporações Ltda**. Complexo de Ensino Superior de Santa Catarina/CESUSC. Monografia (Graduação em Administração). 2008

BACELLAR, M. do R. **Levantamento de Práticas Adotadas no Processo Construtivo para a Otimização da Sustentabilidade em Obras de Edificações**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ. 2014.

BARBOSA, G. S. **O Discurso da Sustentabilidade Expresso no Projeto Urbano**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ. 2013.

BARBOSA, M. T. *et al.* **Concreto Ecológico**. Universidade Federal de Juiz de Fora/UFJF. 18º Concurso Falcão Bauer. 2011.

BARROS, M. C.; BASTOS, N. F. **Edificações Sustentáveis e Certificações Ambientais – Análise do Selo Qualiverde**. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ. 2015.

BELTRAME, E. de S. **Meio Ambiente na Construção Civil**. 2013. Disponível em: <[http://www.eduardo.floripa.com.br/download/Artigo\\_meio\\_ambiente.pdf](http://www.eduardo.floripa.com.br/download/Artigo_meio_ambiente.pdf)>. Acesso em: 09 jun. 2015.



BOELENS et al. **A Concrete Solution for a Concrete Problem**. Universidade de Delft. 2012. Disponível em: <[http://www.foundation-imagine.org/uploads/media/Finalist\\_Bioconstruction\\_A\\_concrete\\_solution\\_for\\_a\\_concrete\\_problem.pdf](http://www.foundation-imagine.org/uploads/media/Finalist_Bioconstruction_A_concrete_solution_for_a_concrete_problem.pdf)>. Acesso em: 10 ago. 2015.

BONI, F. **Materiais para construção sustentável: critérios para o LEED V4**. 2015. Disponível em: <<http://sustentarqui.com.br/dicas/materiais-para-construcao-sustentavel-criterios-para-o-leed-v4/>>. Acesso em: 29 jul. 2015.

BRAGA, B. *et al.* **Introdução à Engenharia Ambiental. O Desafio do Desenvolvimento Sustentável**. 2ª ed. São Paulo. Prentice Hall. 2005.

BRE. **BREEAM International New Construction Technical Manual**. 2014. Disponível em: <[http://www.breeam.org/BREEAMInt2013SchemeDocument/#\\_frontmatter/coverfront.htm%3FTocPath%3D\\_\\_\\_\\_\\_1](http://www.breeam.org/BREEAMInt2013SchemeDocument/#_frontmatter/coverfront.htm%3FTocPath%3D_____1)>. Acesso em: 06 ago. 2015.

BRUZEKE, F. J. O Problema do Desenvolvimento Sustentável. Núcleo de Altos Estudos Amazônicos/NAEA. 1993.

CAIADO, A. R. **Contribuição ao Estudo da Rotulagem Ambiental dos Materiais de Construção Civil. Tese (Doutorado)**. Universidade de São Paulo/USP. 2014.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Selo Caixa Azul – Boas Práticas para Habitação mais Sustentável**. 2010. Disponível em: <[http://www.caixa.gov.br/Downloads/selo\\_azul/Selo\\_Casa\\_Azul.pdf](http://www.caixa.gov.br/Downloads/selo_azul/Selo_Casa_Azul.pdf)>. Acesso em: 02 ago. 2015.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais – Uma Introdução**. 1ª ed. LTC. 2000.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **COP 20 avança no compromisso com metas de redução de emissões de gases estufa**. Brasil. 2014. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/noticias/MEIO-AMBIENTE/479457-COP-20-AVANCA-NO-COMPROMISSO-COM-METAS-DE-REDUCAO-DE-EMISSOES-DE-GASES-ESTUFA.html>>. Acesso em: 19 jul. 2015.

CARDOSO, R. da R.; DETRO, S. P.; JÚNIOR, O. C. **Uma Visão Tecnológica sobre o Desenvolvimento de Produtos e a Sustentabilidade**. 2011. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/cbgdp2011/downloads/10215.pdf>>. Acesso em 11 ago. 2015.

CASA CIVIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Brasil. 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 16 jun. 2014.

CBCS. **Materiais, Componentes, e a Construção Sustentável**. 2009. Disponível em: <[http://www.cbcs.org.br/\\_5dotSystem/userFiles/posicionamentos/CBCS\\_CTMaterialis\\_Posicionamento\\_Materiais%20componentes.pdf](http://www.cbcs.org.br/_5dotSystem/userFiles/posicionamentos/CBCS_CTMaterialis_Posicionamento_Materiais%20componentes.pdf)>. Acesso em: 11 ago. 2015.

CBCS. **Quem Somos**. 2007. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br/website/institucional/show.asp?ppgCode=09804C7D-A825-42C4-AE3B-D7834C71E1ED>>. Acesso em: 11 ago. 2015.

CBIC. **Desenvolvimento com Sustentabilidade**. Brasil. 2008. Disponível em: <<http://www.cbic.org.br/sites/default/files/Programa-Construcao-Sustentavel.pdf>>. Acesso em: 02 jul. 2015.

CBIC. **Programa Construção Sustentável**. 2011. Disponível em: <[http://www.cbic.org.br/sites/default/files/Prog%20Construcao%20Sustentavel\\_%20CBIC.pdf](http://www.cbic.org.br/sites/default/files/Prog%20Construcao%20Sustentavel_%20CBIC.pdf)>. Acesso em: 12 ago. 2015.

CMMAD, Comissão Mundial Sobre Ambiente e Desenvolvimento. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro. Fundação Getúlio Vargas/FGV. 1988.

CONDEIXA, K. M. **Comparação entre Materiais da Construção Civil através da Avaliação do Ciclo de Vida: Sistema Drywall e Alvenaria de Vedação**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal Fluminense/UFF. 2013.

CUNHA, V. **Certificação ambiental de edificações: lições aprendidas e visão de futuro – experiências brasileiras: BREEAM – Building Research Establishment Environmental Assessment Method**. Sinduscon-SP. 2011. Disponível em: <[http://www.sindusconsp.com.br/downloads/eventos/2011/avalicao\\_ambiental/10\\_projeto.pdf](http://www.sindusconsp.com.br/downloads/eventos/2011/avalicao_ambiental/10_projeto.pdf)>. Acesso em 06 ago. 2015.

DEMIR, A.; TOPÇU, I. **Durability of rubberized mortar and concrete**. Journal of Materials in Civil Engineering. 2007

DNI, Drucker Net Impact. Universidade de Claremont. s.d. Disponível em: <<https://druckernetimpact.wordpress.com/about/>>. Acesso em: 25 jul. 2015.

EA. Engenharia e Arquitetura. **RioMar Recife: primeiro shopping a receber a certificação Aqua**. 2013. Disponível em: <<http://www.engenhariaearquitectura.com.br/noticias/618/RioMar-Recife-primeiro-shopping-a-receber-a-certificacao-Aqua.aspx>>. Acesso em: 13 ago. 2015.

ELKINGTON, J. **Sustentabilidade – Canibais com Garfo e Faca**. 1ª ed. São Paulo. M. Books. 2012.

FEBRABAN. **17º Café com Sustentabilidade**. 2010. Disponível em: <<http://www.febraban.org.br/>>. Acesso em: 09 jun. 2015.

FLORES, C. Z. **Procedimento para especificação e compra de materiais da construção civil de menor impacto ambiental**. Dissertação (Pós-graduação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná/UTFPR. 2011.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **O Processo AQUA-HQE**. s.d. Disponível em: <<http://vanzolini.org.br/>>. Acesso em: 29 jul. 2015.

GBC BRASIL. **Certificação LEED**. 2009. Disponível em: <<http://www.gbcbrazil.org.br/sobre-certificado.php>>. Acesso em: 26 jul. 2015.

GBC BRASIL. **Sustentabilidade – Projetos Certificados**. s.d. Disponível em: <<http://gbcbrazil.org.br/sistema/docsMembros/1501140701130000001239.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2015.

GLUCH, P.; BAUMANN, H. **The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making**. 2003. Disponível

em: <[http://www.sze.hu/~mgergo/lca-lcc/LCC\\_approach.pdf](http://www.sze.hu/~mgergo/lca-lcc/LCC_approach.pdf)>. Acesso em: 10 ago. 2015.

GODOY, A. **A Primavera Silenciosa (Silent Spring)**. Virtual Book. 2009. Disponível em: <<http://amaliagodoy.blogspot.com/2009/03/primavera-silenciosa-silent-spring.html>>. Acesso em 10 jun. 2015.

GOYAL, N. **Self-Healing Concrete Can Repair Its Own Cracks with Bacteria**. 2015. Disponível em: <<http://www.industrytap.com/self-healing-concrete-can-repair-cracks-bacteria/29051>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

GRAF, H. F. **Transmitância térmica & energia incorporada na arquitetura: sua relação nas superfícies do invólucro de uma edificação residencial unifamiliar conforme a norma NBR 12721**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná/UFPR. 2011

GUERREIRO, A. Q. **Avaliação do Ciclo de Vida dos Cimentos de Produção mais significativa no Brasil**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS. 2014.

HAGEMANN, S. E. **Materiais de Construção Básicos**. Ministério da Educação. Brasil. 2011.

HENDGES, A. S. **Resíduos Sólidos de Gesso**. 2013. Disponível em: <<http://www.ecodebate.com.br/2013/05/16/residuos-solidos-de-gesso-artigo-de-antonio-silvio-hendges/>>. Acesso em: 26 jul. 2015.

HQE. **Edifícios não Residenciais em Construção AQUA-HQE - Certificado pela Fundação Vanzolini e CERWAY - Referencial de Avaliação da Qualidade Ambiental de Edifícios Não Residenciais em Construção**. 2014. Disponível em: <[http://vanzolini.org.br/download/RT\\_AQUA-HQE-Edificios\\_ao-residenciais.pdf](http://vanzolini.org.br/download/RT_AQUA-HQE-Edificios_ao-residenciais.pdf)>. Acesso em: 02 ago. 2015.

INOVATECH. **BREEAM**. s.d. Disponível em: <<http://www.inovatech engenharia.com.br/breeam/>>. Acesso em: 04 ago. 2015.

JACOBI, P. **Educação Ambiental, Cidadania e Sustentabilidade**. Universidade de São Paulo/USP. 2003.

JOHN, V. M.; OLIVEIRA, D. P.; AGOPYAN, V. **Critérios de sustentabilidade para seleção de materiais e componentes - uma perspectiva de sustentabilidade para países em desenvolvimento.** Journal of Building Environment. 2006.

JORNAL DO COMÉRCIO. **RioMar ganha selo de valor internacional.** 2012. Disponível em: <<http://jconline.ne10.uol.com.br/canal/economia/pernambuco/noticia/2012/05/15/riomar-ganha-selo-de-valor-internacional-42118.php>>. Acesso em: 12 ago. 2015.

KYMALAINEN, H.; SJOBERG, A. **Flax and hemp fibres as raw materials for thermal insulations.** 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132307001102>>. Acesso em: 11 ago. 2015.

LOTTI, M. G. **Processo de Desenvolvimento e Implantação de Sistemas, Medidas e Práticas Sustentáveis com Vista a Certificação Ambiental de Empreendimentos Imobiliários – Estudo de Caso: Empreendimento Bairro Ilha Pura – Vila dos Atletas 2016.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ. 2015.

LUCAS, V. S. **Construção sustentável – sistema de avaliação e certificação.** Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa. 2011.

MACEDO, D. B. **METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS – APLICAÇÃO EM UM SISTEMA ESTRUTURADO EM AÇO.** Dissertação (Pós-graduação). Universidade Federal de Minas Gerais/UFMG. 2011.

MACHADO, R. C. **Aspectos da sustentabilidade ambiental nos edifícios estruturados em aço.** Dissertação (Pós-graduação). Universidade Federal de Ouro Preto/UFOP. 2010.

MACHADO, R. C.; SOUZA, H. A.; KRAUSE, C. B. **Processo de seleção de materiais em uma construção sustentável em estrutura metálica - estudo de caso: a ampliação do Cenpes.** Universidade Federal de Ouro Preto/UFOP. 2012.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis**. 1ª ed. São Paulo. Edusp. 2008.

MARTINS, A. **Influência de materiais de revestimento**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. 2003

MARTINS, D. F. **Sustentabilidade no Canteiro de Obras**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ. 2010.

MATEUS, R.; BRAGANÇA, L. **Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção**. Universidade do Minho. Edições Ecopy. 2006.

MATOS, A. C. **Uso da Terra Crua em Blocos de Terra Compactada**. Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia). Universidade Federal Rural do Semiárido/UFERSA. 2012.

MATOS, B. F. **Construção Sustentável: Panorama Nacional da Certificação Ambiental**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Juiz de Fora/UFJF. 2014.

MEDEIROS, Y. M. **A Contribuição das Certificações como Instrumentos Voluntários para a Avaliação da Sustentabilidade de Projetos Urbanos**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ. 2013.

MILANEZ, B.; PORTO, M. F. **A Ferro e Fogo: Impactos da Siderurgia para o Ambiente e a Sociedade após a Reestruturação dos Anos 1990**. 2008. Disponível em: <<http://www.anppas.org.br/encontro4/cd/ARQUIVOS/GT6-61-8-20080509163054.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2015.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Agenda Ambiental na Administração Pública- A3P**. Brasil. s.d. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 10. jun. 2015.

MONTIBELER, G. **Ecodesenvolvimento e desenvolvimento sustentável; conceitos e princípios**. Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC. 1993.

MOTTA, J. C. *et al.* **Tijolo de Solo-Cimento: Análise das Características Físicas e Viabilidade Econômica de Técnicas Construtivas Sustentáveis.** 2014. Disponível em: <<http://revistas.unibh.br/index.php/dcet/article/view/1038/665>>. Acesso em: 11 ago. 2015.

MOTTA, S.R.; AGUILAR, M.T. **Sustentabilidade e Processos de Projetos de Edificações.** Gestão & Tecnologia de Projetos. 2009.

NÓBILE, A. A. **Diretrizes para a Sustentabilidade Ambiental em Empreendimentos Habitacionais.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP. 2003.

NOVIS, L. E. M. **Estudos dos Indicadores Ambientais na Construção Civil – Estudo de Caso em 4 Construtoras.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ. 2014.

OLIVEIRA, C. N. **O Paradigma da Sustentabilidade na Seleção De Materiais e Componentes para Edificações.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC. 2009.

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. **Decreto nº 35745, de 06 de junho de 2012.** 2012. Disponível em: <<http://www2.rio.rj.gov.br/smu/buscafacil/Arquivos/PDF/D35745M.PDF>>. Acesso em: 03 ago. 2015.

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. **Lei Complementar Nº 111 de 1º de Fevereiro de 2011.** 2011. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/3372233/DLFE-262093.pdf/LEICOMPLEMENTARN1.1.1.DE0.1.DEDEZEMBRODE2.0.1.1..pdf>>. Acesso em: 09 ago. 2015.

PROGRAMA CIDADES SUSTENTÁVEIS. **Gestão Pública Sustentável.** s.d. Disponível: <<http://www.cidadessustentaveis.org.br/gps>>. Acesso em: 07 ago. 2015.

RIO2016. **Nossa Proposta.** s.d. Disponível em: <<http://www.rio2016.com/sustentabilidade/nossa-proposta/>>. Acesso em: 01 jul. 2015.

ROAF, S. **Ecohouse: A Casa Ambientalmente Sustentável**. 2ª ed. Bookman Companhia. 2006.

ROCHA, A. P. **Obra RioMar – Eficiência Planejada**. Técnica. Pini. 2013. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/193/eficiencia-planejada-para-conquistar-certificacao-de-sustentabilidade-shopping-em-288031-1.aspx>>. Acesso em: 12 ago. 2015.

ROTH, C. das G.; GARCIAS, C. **Construção Civil e a Degradação Ambiental**. 2009. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75212355006>>. Acesso em: 05 jul. 2015.

RUANO, M. **Ecourbanismo Entornos humanos sostenibles: 60 proyectos**. Barcelona..Gustavo Gili. 2007.

SALA, L. G. **Proposta de Habitação Sustentável para Estudantes Universitários**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUI. 2006.

SANTOS, M. O. **O Cânhamo como material de construção: Viabilidade e Oportunidade**. Dissertação (Mestrado). Porto. Universidade Fernando Pessoa. 2013.

SERRÃO, M.; ALMEIDA, A.; CARESTIATO, A. **Sustentabilidade: uma questão de todos nós**. 1ª ed. Rio de Janeiro. Senac Nacional. 2012.

SILVA, M. C. **Instrumento para Pré-Avaliação da Seleção de Materiais em Projetos que Visam Certificação Ambiental**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Juiz de Fora/UFJF. 2013

SINDUSCONSP. **Os desafios das soluções de sistemas prediais em edifícios altos: o caso do Eldorado Business Tower**. 2007. Disponível em: <[http://www.sindusconsp.com.br/downloads/eventos/2007/4sis\\_prediais/luis\\_fernando.pdf](http://www.sindusconsp.com.br/downloads/eventos/2007/4sis_prediais/luis_fernando.pdf)>. Acesso: 11 ago. 2015.

SOUZA *et al.* **Arquitetura de Terra: Alternativa Sustentável para os Impactos Ambientais Causados pela Construção Civil**. 2015. Disponível em:



<<http://revistas.unibh.br/index.php/dcet/article/viewFile/1331/812>>. Acesso em: 19 jul. 2015.

SOUZA, M. I.; SEGANTINI, A. A.; PEREIRA, J. A. **Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v12n2/v12n02a14.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

SPERB, M. **Avaliação de Tipologias Habitacionais a Partir da Caracterização de Impactos Ambientais Relacionados a Materiais de Construção**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS. 2000

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina/ UFSC. 2006.

TORGAL, F.P.; JALALI, S. **A Sustentabilidade dos Materiais de Construção**. 2ª ed. Portugal. TecMinho. 2010.

TUFFANI, M. **Dez anos depois, Protocolo de Kyoto falhou em reduzir emissões mundiais**. Folha de São Paulo. 2015. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2015/02/1590476-dez-anos-depois-protocolo-de-kyoto-falhou-em-reduzir-emissoes-mundiais.shtml>>. Acesso em: 19 jul. 2015.

USGBC. **Porto Brasilis - Fibra Experts**. 2012. Disponível em: <<http://www.usgbc.org/projects/porto-brasilis-fibra-experts>>. Acesso em: 11 ago. 2015.

USGBC. **Ventura Corporate Towers - Torre Leste**. 2009. Disponível em: <<http://www.usgbc.org/projects/ventura-corporate-towers-torre-leste>>. Acesso em 11 ago. 2015.

USGBC. **Ventura Corporate Towers - Torre Oeste**. 2009. Disponível em: <<http://www.usgbc.org/projects/ventura-corporate-towers-torre-oeste>>. Acesso em 11 ago. 2015.

VALENTE, J. P. **Certificação na construção civil: comparativo entre LEED e HQE**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ. 2009.

**VGV. Rio de Janeiro ganha primeiro prédio verde na Categoria Gold: Ventura Corporate Towers.** 2009. Disponível em: < <http://www.portalvgv.com.br/site/rio-de-janeiro-ganha-primeiro-predio-verde-na-categoria-gold-ventura-corporate-towers/>>. Acesso em: 11 ago. 2015.

**VOSGUERITCHIAN, A. B. A abordagem dos sistemas de avaliação de sustentabilidade da arquitetura nos quesitos ambientais de energia, materiais e água, e suas associações às inovações tecnológicas.** Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo/USP. 2006.

**WINES, J. Green Architecture.** Milão. Taschen. 2000.

**YEANG, K. El rascacielos ecológico.** 1ª ed. Barcelona. Gustavo Gili. 2001.

**YUDELSON, J. Green Building A to Z: Understanding the Language of Green Building.** 1ª ed. New Society Publishers. 2007