

Jacqueline Moterani Maia

**SUSTENTABILIDADE E ARQUITETURA: PROPOSTA DE GUIA DE
RECOMENDAÇÕES DE PROJETO**

Belo Horizonte
Escola de Arquitetura da UFMG
2015

Jacqueline Moterani Maia

**SUSTENTABILIDADE E ARQUITETURA: PROPOSTA DE GUIA DE
RECOMENDAÇÕES DE PROJETO**

Monografia apresentada à Banca Examinadora do Curso de Especialização em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído do Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído.

Orientador: Prof. Grace Cristina Roel Gutierrez

Belo Horizonte

Escola de Arquitetura da UFMG

2015

RESUMO

O advento das tecnologias prediais e a importância dada à estética, acima de tudo, apagaram por décadas a preocupação com uma arquitetura sustentável. No contexto atual do desenvolvimento sustentável e da necessidade de redução do consumo de recursos, os arquitetos devem voltar a assumir a responsabilidade de projetar edificações responsivas ao clima. O panorama vigente retoma a importância da arquitetura bioclimática, por ser uma prática que considera, nas premissas fundamentais do projeto, soluções que favoreçam principalmente o conforto ambiental e o baixo consumo de energia. Neste contexto, o arquiteto, por ser o principal agente nas tomadas de decisões durante o projeto, desempenha papel fundamental na nova arquitetura a ser produzida, projetando edificações mais sustentáveis. Desta forma, espera-se que os arquitetos voltem a empregar estratégias bioclimáticas em seus projetos, tirando proveito das condições climáticas e dos recursos naturais do local de implantação, visando maximizar os benefícios térmicos e ambientais e reduzir o consumo energético das edificações. O presente trabalho abordou a relação entre sustentabilidade e arquitetura e, a partir desta caracterização, propôs recomendações de projeto que possam ser utilizadas como diretrizes durante o processo de projeto arquitetônico. Como resultado deste trabalho, foi desenvolvida uma planilha com as orientações e diretrizes para o profissional.

Palavras-chave: arquitetura bioclimática, conforto ambiental, estratégias de projeto bioclimático, sustentabilidade na edificação.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 – Critérios de Sustentabilidade no Processo AQUA.....	21
Quadro 2 – Critérios de Sustentabilidade no LEED-NC e LEED-CS.....	22
Quadro 3 – Critérios avaliados pelo RTQ-C - Procel Edifica.....	24
Quadro 4 – Critérios avaliados pelo RTQ-R - Procel Edifica.....	25
Quadro 5 – Categorias de avaliação da sustentabilidade - Selo Casa Azul.....	27
Tabela 1 – Critérios e níveis de desempenho de coberturas	30
Quadro 6 – Comparativo de Critérios de Sustentabilidade	34
Figura 1 – Carta Bioclimática de Givoni	41
Figura 2 – Carta Bioclimática de Belo Horizonte	42
Figura 3 – Zoneamento bioclimático brasileiro	44
Figura 4 – Programa ZBBR.....	46
Quadro 7 – Correspondência de zonas e estratégias de condicionamento	47
Quadro 8 - Variações das estratégias dentro do mesmo zoneamento.....	48
Quadro 9 – Recomendações de projeto para cada Zona Bioclimática.....	49
Figura 5 – Comparativo das estratégias a partir da Carta Bioclimática.....	50
Quadro 10 – Especificações de envoltórias para cada zoneamento.....	56
Quadro 11 – Estratégias de resfriamento passivo para cada zoneamento	58
Quadro 12 – Estratégias de aquecimento passivo para cada zoneamento	59
Quadro 13 – Dimensão das aberturas para ventilação	60
Quadro 14 – Planilha Orientativa – Passos Iniciais.....	63
Quadro 15 – Planilha Orientativa – Estratégias.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AQUA – Alta Qualidade Ambiental

ASBEA – Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura

BIM – *Building Information Modeling*

HQE – *Haute Qualité Environnementale* – Alta Qualidade Ambiental

LEED – Leadership in Energy and Environmental Design

NBR – Norma Brasileira

PP – Parâmetros de Projeto

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

QAE – Qualidade Ambiental do Edifício

RF – Requisitos Funcionais

RTQ-C – Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência

Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

RTQ-R – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência

Energética de Edifícios Residenciais

SGE – Sistema de Gestão do Empreendimento

USGBC – *United States Green Building Council*

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

ZB – Zona Bioclimática

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 Apresentação do tema	8
1.2 Justificativa.....	11
1.3 Objetivos	13
1.3.1 Objetivo geral.....	13
1.3.2 Objetivos específicos.....	13
2 O PROCESSO DE PROJETO EM ARQUITETURA	14
3 PANORAMA DE CRITÉRIOS DE SUSTENTABILIDADE PARA EDIFICAÇÕES ..	19
3.1 AQUA.....	20
3.2 LEED.....	21
3.3 Etiqueta Procel Edifica	23
3.4 Selo Casa Azul.....	26
3.5 ABNT NBR 15.575	28
3.6 Obras Públicas Sustentáveis	31
3.7 ASBEA – Recomendações Básicas.....	32
3.8 Critérios de Sustentabilidade	32
4 GUIA DE REFERÊNCIA EM SUSTENTABILIDADE PARA ARQUITETOS – ESTRATÉGIAS DE PROJETO	37
4.1 Análise climática do local	39
4.1.1 Carta Bioclimática de Givoni.....	40
4.1.2 Método de Mahoney	43
4.2 Zoneamento Bioclimático Brasileiro	43
4.3 Identificação das estratégias dentro do Zoneamento Bioclimático	46
4.4 Análise da Carta Solar	51
4.5 Estratégias de projeto	52

4.5.1 Materiais / Controle das Trocas Térmicas	54
4.5.2 Resfriamento Passivo	57
4.5.3 Aquecimento Passivo	58
4.5.4 Ventilação Natural	59
4.5.5 Sombreamento	60
4.5.6 Iluminação Natural.....	61
4.6 Planilha de Orientação.....	62
5 CONCLUSÃO.....	65

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do tema

O tema da sustentabilidade tem sido muito difundido nas últimas décadas em virtude de uma maior preocupação com o futuro do nosso planeta, já que passamos a nos deparar com questões como a emissão de gases do efeito estufa e com a escassez de recursos naturais. O desenvolvimento sustentável, como definido pela primeira vez pelo *Brundtland Report* em 1987 (BRUNDTLAND, 1987 *apud* GONÇALVES; DUARTE, 2006), é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer o atendimento às necessidades das gerações futuras. A sustentabilidade, em sua generalidade, abrange temas socioeconômicos e ambientais como a diminuição da *pegada ecológica*¹, redução do impacto ambiental do homem sobre o planeta e melhoria da condição de vida da população mais pobre.

Neste contexto, o mundo passou a entender o grande impacto ambiental ocasionado pelo consumo de energia de matriz fóssil ao mesmo tempo em que o aumento do consumo de energia, tanto pelo aumento da população e crescimento das cidades quanto pelo inerente exacerbado consumo de energia, aponta para a eminência de uma crise energética de dimensões mundiais (GONÇALVES; DUARTE, 2006).

Segundo Gonçalves e Duarte (2006), ao verificar a produção arquitetônica pós Segunda Guerra Mundial, época da popularização do ar-condicionado e das lâmpadas fluorescentes, percebe-se a repetição de caixas de vidro pelas grandes cidades. Os arquitetos, com a crença de que a inovação dos sistemas prediais poderia controlar as condições de conforto dos edifícios, transferem, para os engenheiros mecânicos e elétricos, a responsabilidade de conforto nas edificações. O conforto não precisava mais, então, ser obtido através de um bom projeto de

¹ A pegada ecológica é um instrumento que quantifica o impacto do homem no meio natural, com a análise do consumo de recursos necessários para um determinado estilo de vida, em contraste com a capacidade limitada da natureza. Ou seja, quanto de terra, água e recursos é necessário para sustentar o nosso alto nível de consumo e geração de resíduos juntamente com o alto crescimento populacional.

arquitetura, mas por meio de bons equipamentos de climatização e iluminação artificial, o que eleva drasticamente o consumo de energia de um edifício.

Em contraste àquela época, os arquitetos mais antigos, como não podiam contar com a eletricidade e aquecimento ou refrigeração mecânicos, projetavam edificações extremamente influenciadas pelas respostas ao clima local. Em uma região de clima quente e úmido, por exemplo, o formato das edificações permitia a circulação de ar e ao mesmo tempo, proporcionava sombreamento contra o sol de verão. A esta arquitetura responsiva ao clima damos o nome de vernacular ou bioclimática.

Por ser uma prática de arquitetura que considera nas premissas fundamentais do projeto, soluções que favoreçam principalmente o conforto ambiental e o baixo consumo de energia, a arquitetura bioclimática retoma sua importância dentro da sustentabilidade.

A Arquitetura sustentável é a continuidade mais natural da Bioclimática, considerando também a integração do edifício à totalidade do meio ambiente, de forma a torná-lo parte de um conjunto maior. É a arquitetura que quer criar prédios objetivando o aumento da qualidade de vida do ser humano no ambiente construído e no seu entorno, integrando as características da vida e do clima locais, consumindo a menor quantidade de energia compatível com o conforto ambiental, para legar um mundo menos poluído para as próximas gerações (CORBELLA; YANNAS, 2003).

A construção de novos edifícios é um dos maiores alvos do desenvolvimento sustentável já que é uma das principais responsáveis pela alta demanda de energia, consumo de recursos naturais e geração de poluição. Entretanto, é também um dos termômetros de um bom desenvolvimento econômico, seja pelo crescimento das cidades, aumento de infraestruturas, eliminação do déficit habitacional e geração de empregos. Desta forma, o caminho não é frear novos projetos, mas buscar produzir edificações que, desde o planejamento e obra até o uso e demolição, possam configurar um menor impacto ao meio ambiente, com menor consumo de energia, menor consumo de recursos (principalmente no processo de industrialização dos materiais) e sistemas prediais mais eficientes.

Neste contexto, o arquiteto desempenha importante papel na concepção de edificações mais sustentáveis por ser o principal agente nas tomadas de decisões

durante o projeto, que vão repercutir positiva ou negativamente por décadas, enquanto o edifício existir.

Entretanto, percebe-se que o profissional tem se perdido diante de tantas regras, normas e leis, e pensar em atender a mais este requisito, o de uma arquitetura sustentável, torna muito mais complexo o ato de projetar. Por isso na maioria das vezes, o arquiteto é motivado a incorporar critérios de sustentabilidade no projeto somente nos casos em que o cliente expressa o objetivo de alguma certificação ambiental para o empreendimento. Diante do cenário atual de maior exigência de qualidade e desempenho das construções, o arquiteto deve buscar uma maneira prática de materializar nos projetos, as recomendações de uma arquitetura mais sustentável.

Deste modo, o presente trabalho se propõe a abordar a relação entre sustentabilidade e arquitetura, especificamente a arquitetura de edifícios, com a proposição de algumas recomendações de projeto ou pontos de partida que possam ser utilizados durante o processo de trabalho do profissional. Serão definidas estratégias de projeto sustentáveis, com foco nas etapas de concepção e desenvolvimento, buscando a produção de edifícios com menor impacto ambiental.

A metodologia empregada para o desenvolvimento desta pesquisa pode ser descrita em quatro tópicos:

- Análise crítica das referências bibliográficas.

Para o embasamento teórico da pesquisa foi realizada uma análise crítica do material consultado, como teses, artigos e livros.

- Estudo do processo de projeto.

O processo de projeto em arquitetura foi estudado no intuito de verificar o momento ideal no processo onde devem ser consideradas as estratégias de sustentabilidade.

- Identificação dos critérios de sustentabilidade mais relevantes.

Foram identificados os requisitos existentes nos principais meios de validação da sustentabilidade de edifícios disponíveis hoje no Brasil, como certificações, normas e cartilhas.

- Proposição de recomendações de estratégias de projeto.

Baseado nos critérios de sustentabilidade levantados é feita uma proposição sequencial de importantes recomendações a serem consideradas pelos arquitetos na produção de uma arquitetura mais sustentável.

1.2 Justificativa

O presente trabalho se justifica pela preocupação ambiental e energética frente aos projetos arquitetônicos que vem sendo produzidos atualmente. Assim como exposto na apresentação do tema, estamos vivenciando uma era em que a nova arquitetura a ser produzida deve ser sustentável. Sendo assim, os arquitetos devem estar habilitados a atender essa demanda. Os arquitetos precisam dominar formas de empregar estratégias de projeto que tiram proveito das condições climáticas e dos recursos naturais do local de implantação, visando maximizar os benefícios térmicos e ambientais e reduzir o consumo energético das edificações. “Não há mais espaço para ações cosméticas, voltadas a um marketing de oportunidade” (BERNARDES², 2012).

Embora parte do conhecimento de recomendações para uma arquitetura sustentável seja ensinada durante a graduação, a aplicação dessas estratégias não ocorre efetivamente na prática profissional do arquiteto, como já demonstrado em algumas pesquisas.

Em sua tese de mestrado, Prizibela (2011), no intuito de averiguar como as estratégias de sustentabilidade ambiental são inseridas no processo de projeto arquitetônico, aplicou questionários e realizou entrevistas em escritórios de arquitetura de Florianópolis. Os estudos revelaram que, embora haja alguma preocupação por parte dos arquitetos para a aplicação de conceitos de sustentabilidade no projeto, percebeu-se, em geral, certa informalidade no processo de projeto. Existe um conhecimento ainda pouco consciente em relação às metodologias para inserir esses conceitos no projeto, apesar da noção geral dos

² BERNARDES, Claudio. Seminário do Sindicato das Empresas de Compra, Venda, Locação e Administração de Imóveis Residenciais e Comerciais de São Paulo - SECOVI-SP. 2012.

princípios básicos de conforto ambiental e estratégias bioclimáticas. O autor destaca também a contrariedade entre a busca por aperfeiçoamento dos arquitetos e os interesses de alguns investidores e incorporadores, que consideram sempre a possibilidade do maior lucro imediato (PRIZIBELA, 2011).

Um resultado parecido é apresentado em um artigo da UTFPR sobre como o conceito de sustentabilidade é incorporado pelos profissionais de arquitetura. Neste artigo, também foram aplicados questionários, tanto para clientes como para os profissionais. Os autores ressaltam que, apesar dos arquitetos entrevistados demonstrarem preocupação sobre a temática, falta um conhecimento mais detalhado sobre o assunto e a aplicação de estratégias de sustentabilidade nos projetos ainda é limitada, ou seja, na prática, muito pouco é feito. (CAVALCANTI, 2008)

Os resultados das entrevistas podem ser comprovados também por experiência própria e vivência do processo de projeto em alguns escritórios de arquitetura de Belo Horizonte, onde é evidente que na maioria das vezes não existe habilidade, tempo ou custo que permita trabalhar com recomendações básicas de uma arquitetura sustentável. A falta de “conhecimento mais detalhado sobre o assunto”, segundo o artigo acima, é facilmente suprido pela quantidade de regras a cumprir, existentes nas legislações de uso e ocupação do solo ou código de obras, por exemplo. A proposta de um guia com recomendações de projeto visando uma arquitetura mais sustentável se justifica então, pela possibilidade de oferecer uma ferramenta mais prática de consulta, ainda que em fase pouco detalhada das estratégias, mas que possa nortear os arquitetos e facilitar a definição de diretrizes, tal qual se apresentam as leis e normas.

Nesse momento, são necessárias discussões sobre projeto e tecnologia que promovam revisões dos valores ambientais presentes na idealização, no projeto e na construção da arquitetura. A arquitetura sustentável deve fazer a síntese entre projeto, ambiente e tecnologia, dentro de um determinado contexto ambiental, cultural e socioeconômico, apropriando-se de uma visão de médio e longo prazos, em que tanto o idealismo como o pragmatismo são fatores fundamentais (GONÇALVES; DUARTE, 2006).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Criar uma planilha de orientação aos arquitetos, que permita o conhecimento da ampla possibilidade de estratégias passivas que podem ser incorporadas na concepção dos projetos, objetivando o desenvolvimento de uma arquitetura mais sustentável.

1.3.2 Objetivos específicos

- pesquisar soluções de sustentabilidade para edificações;
- verificar a aplicação dos conceitos de sustentabilidade no desenvolvimento do processo do projeto;
- apresentar recomendações de projeto sustentável que podem ser incorporadas na concepção do projeto.

2 O PROCESSO DE PROJETO EM ARQUITETURA

Para tratarmos da produção de uma arquitetura sustentável, é primordial entender alguns pontos importantes do processo de projeto. Ainda que não seja o objetivo desta pesquisa aprofundar em metodologias de projeto existentes e nem mesmo propor uma nova metodologia de trabalho, algumas considerações gerais acerca do processo de projeto são necessárias. Para que o arquiteto consiga trabalhar a sustentabilidade nos seus projetos, é necessário que ele consiga incorporar uma nova forma de pensar a arquitetura modificando as práticas atuais.

É importante destacar que empresas brasileiras de grande porte, públicas ou privadas, passaram a exigir o desempenho ambiental na elaboração de suas sedes, visando uma maior visibilidade internacional. O resultado disso, é que pelo menos frente a esse público, o arquiteto já está sendo obrigado a rever o seu processo de projeto. A Petrobrás, por exemplo, promoveu em 2004 um concurso para a criação de seu novo Centro de Pesquisas no Rio de Janeiro. Pela primeira vez no Brasil um edital de concurso de arquitetura colocou questões de sustentabilidade em tópicos eliminatórios (GONÇALVES; DUARTE, 2006):

- (a) orientação solar adequada;
- (b) forma arquitetônica: adequada aos condicionantes climáticos locais e padrão de uso para a minimização da carga térmica interna;
- (c) material construtivo das superfícies opacas e transparentes: termicamente eficiente;
- (d) superfícies envidraçadas: taxa de WWR (window wall ratio) adequada às condições de conforto térmico e luminoso internos;
- (e) proteções solares externas: adequadas às fachadas;
- (f) ventilação natural: aproveitamento adequado dos ventos para resfriamento e renovação do ar interno;
- (g) aproveitamento da luz natural;
- (h) uso da vegetação;

- (i) sistemas para uso racional de água e reúso;
- (j) materiais de baixo impacto ambiental: dentro do conceito de desenvolvimento sustentável.

Em relação aos critérios exigidos pela Petrobrás, Gonçalves e Duarte (2006) destacam que “o fato de questões básicas como orientação solar, sombreamento e outras serem listadas como eliminatórias chama a atenção para a prática corrente da arquitetura e da construção, que frequentemente não considera parâmetros tão essenciais na concepção dos projetos. Tópicos essenciais como esses deveriam ser um consenso [...]”.

Um importante conceito a ser incorporado no processo de projeto é o conceito de *Projeto Simultâneo* apresentado por Fabrício (2002) *apud* Liu; Oliveira; Melhado (2011). O Projeto Simultâneo prevê a participação de todos os agentes do projeto nas reuniões de coordenação, onde todas as expectativas e necessidades dos principais participantes são repassadas para que o projeto de arquitetura possa incorporar, desde a concepção, os conceitos mais importantes das disciplinas complementares. Assim, logo após os estudos de demanda, programa estratégico e programa funcional, definido como etapa de Informações Básicas, começa a etapa de Concepção ou *Briefing*, onde os projetistas de estrutura, sistemas prediais e tecnologia construtiva fornecem informações importantes a serem incorporadas pelo arquiteto na produção do anteprojeto de arquitetura.

A partir deste primeiro conceito já se pode identificar um dos principais equívocos cometidos durante o processo de projeto. Muitas das vezes os projetos de arquitetura são desenvolvidos de forma independente e somente depois de prontos e aprovados é que são convocados os outros projetistas.

O BIM (*Building Information Modeling*) se apresenta como solução adequada para a aplicação do projeto simultâneo uma vez que todos os agentes envolvidos podem alterar elementos visualizando o resultado da interferência no projeto como um todo.

A preocupação com a sustentabilidade entre todos os envolvidos, desde a etapa de concepção do projeto, eleva o potencial de boas soluções e possibilita uma eficiência muito mais significativa à encontrada em edifícios onde a sustentabilidade

é representada apenas com a instalação de equipamentos eficientes ou vidros de controle solar.

Neste contexto, o trabalho do arquiteto é importante no intuito de agrupar informações e soluções pulverizadas entre as várias especialidades. O projeto de uma arquitetura sustentável requer o estabelecimento explícito dos critérios e objetivos a alcançar, de maneira a orientar o processo de projeto.

O Projeto Axiomático é outro importante conceito que pode ser incorporado na busca por uma arquitetura sustentável. Este conceito, criado por Suh (1990) *apud* Graça, Kowaltowski e Petreche (2011), busca diminuir a subjetividade na tomada de decisão do arquiteto, sistematizando e racionalizando o processo. Para Suh (1990), a ciência do projeto deveria basear-se na definição de axiomas (ou princípios) que determinam a boa prática do projeto.

A partir deste conceito, entende-se a importância de tratar a sustentabilidade como uma premissa de projeto e ter muito bem definidas as estratégias a utilizar na busca por uma arquitetura de melhor conforto ambiental e eficiência energética. Se os axiomas não forem definidos na etapa de concepção do projeto, as decisões acabam sendo realizadas de modo empírico.

Segundo Graça, Kowaltowski e Petreche (2011), o projeto começa com o reconhecimento das necessidades do cliente que serão traduzidas pelo arquiteto como *Requisitos Funcionais (RF)*, que são os itens que o arquiteto deve satisfazer. É evidente que, no intuito de alcançar uma arquitetura sustentável, o arquiteto deve acrescentar critérios, provavelmente não exigidos pelo cliente, na lista de RFs.

A partir daí definem-se *Parâmetros de Projeto (PP)* para satisfazer um ou mais RFs e organizam-se os dados numa matriz, onde fica fácil verificar a relação entre determinado parâmetro e o maior número de requisitos, favorecendo a tomada de decisão. Ou seja, um parâmetro como, por exemplo, “definir elementos de proteção para as aberturas de material transparente” pode, tanto atender o requisito de amenizar a radiação solar nas aberturas, quanto influenciar no requisito de garantir a iluminação natural adequada ou ainda evitar o ofuscamento por reflexão de uma superfície.

De maneira simplificada, já que não é o objetivo do trabalho aprofundar em metodologias de projeto, o entendimento do conceito de projeto axiomático pode auxiliar o arquiteto na definição das estratégias de projeto a utilizar. Um único PP pode influenciar em vários RFs e um único RF pode ser alcançado através de vários PPs.

Degani e Cardoso (2002) apontam a adoção de um novo paradigma de projeto quando inserem o conceito da sustentabilidade ao longo do ciclo de vida dos edifícios. Segundo os autores, os projetistas devem adotar uma postura preventiva durante as decisões de projeto, considerando o impacto de cada decisão durante todo o ciclo de vida do edifício. “Considerando ser o projeto o ponto de partida do ciclo de vida de um edifício, espera-se que grande parte das soluções minimizadoras de seus impactos ambientais parta dos arquitetos responsáveis por essa etapa” (DEGANI; CARDOSO, 2002). Ou seja, as soluções dadas pelos arquitetos durante a fase de projeto, devem ser avaliadas pelo impacto causado em todas as etapas do edifício: Planejamento (Projeto), Implantação (Obra), Uso, Manutenção e Demolição, como exemplificado abaixo:

- Planejamento: O arquiteto deve priorizar a coleta de informações referentes ao entorno e a área na qual o empreendimento será implantado. É nessa fase que são definidas as especificações que afetam todas as demais fases.
- Implantação: Evidencia a necessidade da seleção consciente de recursos, métodos construtivos, materiais, transporte e aplicação. É função do arquiteto também projetar de forma a causar o mínimo impacto no canteiro, seja com supressão de vegetação, remoção de moradias, rebaixamento de lençol freático e remoção extrema de volume de terra.
- Uso: É nessa fase que são evidenciados erros de projeto relacionados principalmente aos materiais especificados e consumo superior e desnecessário de energia e água.
- Manutenção: O projeto de arquitetura deve prever a possibilidade de expansão, modernização futura ou até mesmo a alteração do uso. Deve prever também o acesso às instalações prediais, para que ocorra uma manutenção eficiente.

- Demolição: Um projeto arquitetônico mais sustentável viabiliza a demolição racional e consciente, com a definição de materiais e componentes reaproveitáveis, não frágeis, duráveis e até desmontáveis.

Gonçalves e Duarte (2006) atribuem a um processo de projeto diferenciado, o resultado de um edifício com menor impacto ambiental. Um processo de projeto diferenciado inclui nas etapas iniciais, por exemplo, uma maior investigação sobre possibilidades tecnológicas. Simulações computacionais também assumem papel de destaque nesse tipo de processo, mas requerem um conhecimento especializado tanto para a modelagem quanto para a interpretação dos resultados. Conhecimento este que, no Brasil, ainda está distante dos profissionais da prática de projeto por apresentarem complexos dados de entrada e modelagem.

Ou seja, ainda existe um abismo entre a prática de projeto e o progresso do conhecimento acadêmico, acerca de conceitos bioclimáticos e eficiência energética. O que acontece, na maioria das vezes, é a incorporação de sistemas voltados para a conservação de energia durante a fase de detalhamento do projeto.

3 PANORAMA DE CRITÉRIOS DE SUSTENTABILIDADE PARA EDIFICAÇÕES

A amplitude do tema da sustentabilidade para as edificações extrapola as questões da arquitetura bioclimática. Ou seja, a sustentabilidade na arquitetura não é tratada somente no âmbito do conforto ambiental e eficiência energética, mas aborda também o uso de recursos, tanto para a construção quanto para a operação do edifício, como materiais, energia e água, além de temas como gestão de resíduos e relação do edifício com a cidade.

Historicamente, o tema da arquitetura sustentável começou a ser discutido na arquitetura dos edifícios, não deixando de lado o ambiente urbano. Atualmente, na escala urbana as discussões e propostas vêm abordando as seguintes questões: estruturas morfológicas compactas, adensamento populacional, transporte público, resíduos e reciclagem, energia, água, diversidade e pluralidade socioeconômica, cultural e ambiental. Reforçando o papel do edifício como um elemento do projeto urbano e da sustentabilidade da cidade, fala-se principalmente de localização e infraestrutura, qualidade ambiental dos espaços internos e impacto na qualidade do entorno imediato, otimização do consumo de recursos como água, energia e materiais, e também com potencial para contribuir para as dinâmicas socioeconômicas do lugar (GONÇALVES; DUARTE, 2006).

Para que fosse possível traçar algumas recomendações de projeto visando uma arquitetura mais sustentável, buscou-se primeiramente o conhecimento do panorama geral de indicadores de sustentabilidade para edificações. Existem hoje diferentes práticas que podem ser adotadas no processo de projeto em busca da produção de edificações mais sustentáveis. As mais conhecidas atualmente no país são as certificações AQUA e LEED e os Selos Procel Edifica e Selo Casa Azul. Tanto os selos como as certificações apresentam-se como caráter voluntário de implantação. A única aplicação de caráter obrigatório, que incorpora inúmeros critérios de sustentabilidade, é a recente Norma de Desempenho NBR 15.575. A União já possui uma normativa de caráter obrigatório, mas somente para obras públicas federais. Finalmente, de caráter recomendativo, existem o manual de obras públicas de Minas Gerais e as Recomendações Básicas de projetos sustentáveis da ASBEA.

3.1 AQUA

O Processo AQUA (Alta Qualidade Ambiental) foi desenvolvido pela Fundação Vanzolini³ em 2007 e é baseado no HQE, metodologia francesa de certificação de empreendimentos de elevado desempenho ambiental. A Certificação de Construção Sustentável AQUA é voluntária e é dada a um empreendimento após a realização de auditorias em cada uma das seguintes fases: programa, concepção (projeto), realização (obra) e operação (uso).

Para conseguir a certificação em determinada fase, o empreendimento deve atender às condições do Referencial Técnico, que contém os requisitos para o Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE) e os critérios de desempenho nas categorias da Qualidade Ambiental do Edifício (QAE). Os critérios de desempenho do QAE abordam, em 14 categorias, a relação com o sítio e construção, a eco-gestão e a criação de condições de conforto e saúde para o usuário.

O SGE é uma particularidade do AQUA, herdado da certificação francesa, onde não só o edifício é certificado, mas a gestão do projeto em todas as suas fases. O empreendedor, através do SGE, declara as diretrizes e ações que permitirão que os objetivos referentes à qualidade ambiental do edifício se realizem durante todas as fases do empreendimento. O objetivo do SGE é melhorar a atuação de todos os projetistas envolvidos, promovendo uma tomada de decisão mais alinhada com as metas de sustentabilidade previstas. Outra particularidade desta certificação é que ela possui o escopo ampliado para além das preocupações ambientais, de conforto e saúde, requerendo a realização de análise de custos globais da operação.

O Processo AQUA está dividido em vários Referenciais Técnicos, o que permite a certificação de diferentes tipologias de projeto: Escritórios e edifícios escolares; Hospedagem e lazer; Edifícios habitacionais; Reforma e reabilitação; Edifícios em operação e uso; Comércio; Bairros.

Os 14 critérios definidos pelos Referenciais Técnicos de Certificação de Edifícios Habitacionais e Escritórios estão descritos no quadro abaixo:

³ A Fundação Vanzolini é uma instituição privada brasileira, sem fins lucrativos, criada, mantida e gerida pelos professores do Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Quadro 1 – Critérios de Sustentabilidade no Processo AQUA

1- Relação do edifício com seu entorno;	8- Conforto higrotérmico;
2- Escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos;	9- Conforto acústico;
3- Canteiro de obras com baixo impacto ambiental;	10- Conforto visual;
4- Gestão da energia;	11- Conforto olfativo;
5- Gestão da água;	12- Qualidade sanitária dos ambientes;
6- Gestão dos resíduos de uso e operação do edifício;	13- Qualidade sanitária do ar;
7- Manutenção – permanência do desempenho ambiental;	14- Qualidade sanitária da água.

Fonte: FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2013.

Uma característica marcante do Processo AQUA é que não há escala de atribuição do certificado: o empreendimento é ou não é ambientalmente correto, respondendo a um perfil ambiental coerente. Além disso, são estabelecidos patamares mínimos de desempenho que devem ser atendidos, atribuindo a classificação de bom, superior ou excelente para cada categoria. Entretanto, o empreendedor pode priorizar o atendimento a determinadas categorias mais relevantes, através de justificativas, já que, dos 14 critérios totais, pode-se obter a classificação mínima de “bom” em até 7 categorias.

3.2 LEED

O LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) é uma certificação de caráter voluntário, desenvolvida em 1999 pela *U.S. Green Building Council* (USGBC).

A metodologia de avaliação é baseada na obtenção de créditos em virtude do atendimento aos pré-requisitos (obrigatórios) e requisitos (opcionais) de desempenho dentro das 6 categorias abaixo:

Quadro 2 – Critérios de Sustentabilidade no LEED-NC e LEED-CS

1- Espaço Sustentável;	Aborda a seleção do terreno, prevenção da poluição na construção, incentivo ao transporte alternativo, desenvolvimento do entorno, projeto para águas pluviais, redução da ilha de calor e poluição luminosa.
2- Uso Racional da Água;	Aborda a redução geral no consumo da água, com tecnologias inovadoras para redução das águas servidas e redução do uso para paisagismo.
3- Energia e Atmosfera;	Trata da performance mínima na energia, com otimização energética, melhoria no comissionamento e geração de energia renovável.
4- Materiais e Recursos;	Aborda a coleta de recicláveis e gestão de resíduos da construção e inclui o uso de materiais regionais, de rápida renovação ou madeira certificada.
5- Qualidade Ambiental Interna;	Aborda a iluminação natural, conforto térmico, desempenho mínimo do ar interno e externo, com o aumento da ventilação e uso de materiais de baixa emissão.
6- Inovação e Processo de Projeto;	Aceita qualquer inovação ou performance exemplar, como iniciativas não contempladas pelo LEED.

Fonte: LEED, 2009.

Os requisitos apresentam-se em uma estrutura simples de check-list, o que torna a metodologia facilmente aplicável no desenvolvimento de projetos. O critério mínimo para classificação é o cumprimento de pré-requisitos que totalizem no mínimo 40 pontos. O edifício pode receber no máximo 110 pontos, distribuídos nas 6 categorias. A certificação atribui ainda até 4 pontos para Créditos Regionais, como sendo o atendimento a prioridades ambientais específicas da região.

Assim como o Processo AQUA, o LEED também apresenta diferentes certificações para cada tipologia de projeto. As referências para esta pesquisa, dado o objeto de estudo, foram o *LEED para Novas Construções e Grandes Reformas, LEED-NC*, destinado a edificações que serão construídas ou passarão por reformas que venham a incluir o sistema de ar condicionado, envoltória e realocação; e também o

LEED Core & Shell, LEED-CS (Envoltória e Estrutura Principal), destinado à edificações que comercializarão os espaços internos posteriormente.

Uma das diferenças em relação ao Processo AQUA, é que no LEED existem quatro níveis de desempenho ambiental em função da quantidade de requisitos atendidos. Dessa forma um empreendimento pode ser platina, ouro, prata ou somente certificado. Além disso, o LEED é um processo de certificação mais amigável que o AQUA, por se realizar através de check-list onde é possível mensurar os requisitos. O AQUA aparentemente apresenta maior subjetividade nos critérios, justamente pela possibilidade do projetista justificar como está atendendo determinado requisito.

3.3 Etiqueta Procel Edifica

O PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) foi criado em 1985 e tornou-se um programa de governo em 1991, quando ampliou sua abrangência e responsabilidades. O principal objetivo do Procel é promover a eficiência energética dos bens e serviços reduzindo os impactos ambientais⁴.

A linha de atuação mais conhecida é o Selo Procel, que verifica a eficiência energética de equipamentos como refrigeradores, condicionadores de ar, coletores solares, lâmpadas fluorescentes, entre outros. No intuito de garantir a redução no consumo de energia também nas edificações, foi criado em 2003 o Procel Edifica (Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações). A preocupação deve-se ao fato de que o consumo de energia elétrica nas edificações corresponde a aproximadamente 45% do consumo faturado no país. Entretanto, segundo a Eletrobrás, este consumo apresenta potencial de redução de 50% se a arquitetura contemplar conceitos de eficiência energética em seus novos projetos⁵.

Ainda em caráter voluntário, o Procel Edifica visa a etiquetagem de edificações existentes ou novas (fase de projeto) incentivando a conservação e o uso eficiente da energia elétrica e também da água, de modo a reduzir os desperdícios e os

⁴ Disponível em <http://www.eletrabras.com/elb/procel/main>. Acesso em 01/02/2014.

⁵ No caso de reformas que incorporem os conceitos de eficiência energética, segundo a Eletrobrás, a redução pode chegar a 30%.

impactos sobre o meio ambiente. A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE – busca ainda orientar o consumidor no ato da compra, assim como já acontece na compra de eletrodomésticos, indicando os produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria. Desta maneira, a etiqueta estimula o projeto e venda de edifícios mais eficientes, contribui para o desenvolvimento tecnológico e a preservação do meio ambiente, além de representar economia da conta de energia elétrica para o morador.

Com o objetivo de estabelecer regras e requisitos mínimos de desempenho energético, para o segmento de projetos e construção, foi publicado em 2009 o RTQ-C (Requisitos Técnicos da Qualidade para o nível de Eficiência Energética) voltado a edifícios comerciais, públicos e de serviços. No ano seguinte, ano da revisão do RTQ-C, foi publicado também o RTQ-R, voltado a edificações residenciais.

A diferenciação dos documentos de requisitos deve-se ao caráter distinto de consumo da energia em cada uso. Nos edifícios comerciais, onde o consumo acontece principalmente devido ao uso de ar-condicionado e iluminação artificial, o intuito do regulamento é promover a economia de energia elétrica. Já nas residências, o consumo significativo está no aquecimento da água para o banho. Por isso nessa vertente, o foco está em promover o conforto e eficiência no uso da água aquecida.

No quadro abaixo são apresentados os requisitos avaliados pelo RTQ-C.

Quadro 3 – Critérios avaliados pelo RTQ-C - Procel Edifica

1- Envoltória (fachadas e cobertura);	30% (peso dentro da classificação geral)
2- Sistema de Iluminação Artificial;	30% (peso dentro da classificação geral)
3- Sistema de condicionamento de ar;	40% (peso dentro da classificação geral)

Bonificações

Redução do consumo de água potável;
Energia renovável;
Cogeração;
Inovações;

Para que uma edificação possa ser avaliada, ela deve atender alguns requisitos mínimos de classificação. Após isto, envoltória, iluminação artificial e condicionamento de ar são avaliados separadamente, para que possa ser gerada uma nota final, que considera itens opcionais, além de bonificações para estratégias inovadoras que diminuem o consumo de energia e água do edifício. Os empreendimentos são classificados em níveis que variam de “A” à “E” (melhor à pior desempenho energético).

A análise pode ser feita para o edifício completo ou parte dele (envoltória em combinação com iluminação artificial ou condicionamento de ar). Podem ser utilizados dois métodos de análise para etiquetagem, o método prescritivo, aplicado por meio de equações e parâmetros predefinidos, ou o método de simulação, que por meio de software computacional compara o edifício proposto (real) com um edifício similar (de referência).

O RTQ Residencial determina o nível de eficiência energética em unidades habitacionais autônomas, edificações multifamiliares ou ainda áreas de uso comum, com base na zona bioclimática inserida (ver subcapítulo 4.2).

No quadro abaixo são apresentados os requisitos avaliados pelo RTQ-R.

Quadro 4 – Critérios avaliados pelo RTQ-R - Procel Edifica

1- Envoltória para verão;	42% (peso dentro da classificação geral)
2- Envoltória para inverno;	23% (peso dentro da classificação geral)
3- Aquecimento de Água;	35% (peso dentro da classificação geral)

Bonificações

Ventilação Natural;
 Iluminação Natural;
 Uso Racional da Água;
 Condicionamento Artificial do ar;
 Iluminação Artificial;
 Ventiladores de Teto;
 Refrigeradores;
 Medição Individualizada;

Além do exposto no quadro acima, a medição individualizada de energia e água é pré-requisito geral para a avaliação residencial.

Apesar de não apresentar uma avaliação abrangente em critérios de sustentabilidade como o AQUA e o LEED, o Procel Edifica assume papel de destaque no cenário nacional por ser o instrumento mais aprofundado no tema de eficiência energética. Com isto, ao estabelecer os requisitos mínimos de desempenho energético, o RTQ possibilita a futura criação de uma lei de eficiência energética para edifícios no país, deixando esta preocupação de ser voluntária.

3.4 Selo Casa Azul

O Selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal, implantado em janeiro de 2010, é um instrumento de classificação socioambiental de projetos de empreendimentos habitacionais. Com a criação do selo, a CAIXA pretende incentivar a produção de habitações mais sustentáveis com o reconhecimento de empreendimentos que adotam soluções mais eficientes aplicadas à construção, ao uso, à ocupação e à manutenção, como o uso racional de recursos naturais ou redução do custo de manutenção e das despesas mensais dos usuários.

A adesão ao Selo é voluntária. 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, que estimula a adoção de práticas voltadas à sustentabilidade. O método busca então, reconhecer os projetos de empreendimentos que demonstrem suas contribuições para a redução de impactos ambientais, avaliados a partir de 53 subcritérios vinculados às seis categorias abaixo:

Quadro 5 – Categorias de avaliação da sustentabilidade - Selo Casa Azul

- 1 - Qualidade urbana;
 - 2 - Projeto e conforto;
 - 3 - Eficiência energética;
 - 4 - Conservação de recursos materiais;
 - 5 - Gestão da água;
 - 6 - Práticas sociais.
-

Fonte: CAIXA, 2010.

Cada categoria possui critérios obrigatórios e facultativos, mas para receber o Selo, o empreendimento deve atender, no mínimo, todos os critérios obrigatórios. O número de critérios facultativos atendidos que vai classificar o empreendimento em Bronze, Prata ou Ouro. As categorias abordam principalmente:

a) Qualidade Urbana

Avaliar a qualidade do local escolhido para o empreendimento, considerando as características do entorno, melhorias ao meio urbano, ocupação de vazios urbanos e recuperação de áreas degradadas.

b) Projeto e Conforto

Avaliar aspectos relevantes ao projeto do empreendimento, considerando o conforto do usuário, iluminação e ventilação natural, desempenho térmico, orientação solar, relação do edifício com a vizinhança, solução alternativa de transporte, flexibilidade do projeto, equipamentos de lazer e coleta seletiva.

c) Eficiência Energética

Avaliar aspectos relevantes à redução do consumo de energia elétrica e de gás, com foco na utilização de equipamentos mais eficientes, sistemas de aquecimento solar e fontes alternativas de energia.

d) Conservação de recursos materiais

Avaliar o consumo racional de materiais de construção, evitando o desperdício e reduzindo a quantidade de resíduos de obra. No caso da madeira, o objetivo é incentivar o uso de madeira certificada ou plantada.

e) Gestão da água

Avaliar aspectos relevantes à redução do consumo de água, por meio do uso de dispositivos economizadores e gestão do uso da água no edifício, como aproveitamento de águas cinzas e pluviais e aumento das áreas permeáveis.

f) Práticas sociais

Promover a educação e conscientização dos moradores para as questões de sustentabilidade atendidas pelo projeto, além de promover a adoção de práticas de responsabilidade social da empresa, com os empregados da obra e a comunidade.

O Selo Casa Azul destaca-se dentre as ferramentas de certificação existentes no país por apresentar a preocupação com o aspecto social da sustentabilidade, abordada na categoria “Práticas Sociais”. Outro ponto de destaque presente no Selo é a “Agenda do Empreendimento”, que tem por objetivo identificar os aspectos relevantes para o empreendimento em questão, servindo de guia para selecionar quais ações adotar, considerando-se as condições do local, os recursos disponíveis e as características dos usuários. Neste sentido, as ações não são pontuadas como em um *checklist* e a decisão final sobre as ações a serem adotadas para a promoção da sustentabilidade deve estar embasada na "Agenda do Empreendimento". A agenda resulta da análise entre os envolvidos no empreendimento e serve posteriormente de guia para a implantação das ações priorizadas. O grau de sustentabilidade socioambiental do empreendimento vai depender da qualidade do processo de formulação da agenda.

3.5 ABNT NBR 15.575

A Norma de Desempenho 15.575 (ABNT NBR 15.575 – Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Desempenho) teve a primeira versão publicada em 2008, com o objetivo de estabelecer as exigências mínimas dos usuários em relação aos sistemas que compõem os edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, independentemente dos seus materiais constituintes e do sistema construtivo utilizado.

Assim, o foco da norma está no desempenho do sistema, ou seja, no seu comportamento em uso, e não na prescrição de como os sistemas são construídos. Para isso, as exigências dos usuários são traduzidas em requisitos e critérios para que o desempenho mínimo seja alcançado nas edificações residenciais.

A Norma de Desempenho passou por uma criteriosa revisão, sendo publicada novamente em 2013, quando passou, desde julho do mesmo ano, a ser exigida nos novos projetos. A revisão institui parâmetros técnicos para vários requisitos importantes de uma edificação além de estabelecer as responsabilidades de cada um dos envolvidos: construtores, incorporadores, projetistas, fabricantes de materiais, administradores condominiais e os próprios usuários. A revisão traz ainda como novidade, o conceito de comportamento em uso dos componentes e sistemas das edificações incorporando, além dos critérios e requisitos, o conceito de vida útil.

Com esta revisão, espera-se que aconteça uma mudança na cultura do processo de criação do projeto, desde a concepção, passando pelas especificações, que deverá incorporar um olhar mais criterioso na busca por uma edificação de maior qualidade. O arquiteto deve agora atender requisitos mínimos de conforto além da exigência dos usuários quanto aos sistemas prediais e materiais empregados.

A norma é dividida em seis partes:

Parte 1: Requisitos gerais;

Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;

Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos;

Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;

Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas; e

Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Cada um dos sistemas de uma edificação, descritos nas partes acima, foram analisados segundo o desempenho a cumprir, e a norma divide os requisitos em mínimo, intermediário ou superior, sendo o primeiro obrigatório e os demais facultativos.

A análise de desempenho de cada um dos sistemas foi baseada nas diretrizes da Norma Internacional de Avaliação de Desempenho de Edificações, ISO 6241, de 1984, que traz 14 exigências básicas que toda edificação deve apresentar. Sendo assim, todos os sistemas devem apresentar segurança (estrutural, segurança contra incêndio, segurança no uso e operação), habitabilidade (estanqueidade, desempenho térmico e acústico, desempenho luminoso, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil) e sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e adequação ambiental). Dessa forma, percebe-se que muitos dos critérios de sustentabilidade existentes nas certificações tornam-se exigências.

É importante destacar que a Norma de Desempenho torna obrigatório, dentro de cada sistema, alguns conceitos de abordagem de projeto bioclimático. O desempenho térmico é tratado nas partes de Requisitos Gerais, Requisitos para os sistemas de vedações e Requisitos para os sistemas de coberturas.

A parte 5, por exemplo, Requisitos para Sistemas de Cobertura, apresenta a exigência de isolamento térmico da cobertura, com base nos valores de absorvância e transmitância que proporcionem desempenho térmico apropriado para cada zona bioclimática. Os valores de referência são apresentados na tabela a seguir, sendo “M” o desempenho mínimo, “I” o desempenho intermediário e “S” o desempenho superior.

Tabela 1 – Critérios e níveis de desempenho de coberturas

Transmitância térmica (U) W/m^2K					
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8 ¹⁾		Nível de desempenho
$U \leq 2,3$	$\alpha^{1)} \leq 0,6$	$\alpha^{1)} > 0,6$	$\alpha^{1)} \leq 0,4$	$\alpha^{1)} > 0,4$	M
	$U \leq 2,3$	$U \leq 1,5$	$U \leq 2,3$ FV	$U \leq 1,5$ FV	
$U \leq 1,5$	$\alpha^{1)} \leq 0,6$	$\alpha^{1)} > 0,6$	$\alpha^{1)} \leq 0,4$	$\alpha^{1)} > 0,4$	I
	$U \leq 1,5$	$U \leq 1,0$	$U \leq 1,5$ FV	$U \leq 1,0$ FV	
$U \leq 1,0$	$\alpha^{1)} \leq 0,6$	$\alpha^{1)} > 0,6$	$\alpha^{1)} \leq 0,4$	$\alpha^{1)} > 0,4$	S
	$U \leq 1,0$	$U \leq 0,5$	$U \leq 1,0$ FV	$U \leq 0,5$ FV	
¹⁾ Na zona bioclimática 8 também estão atendidas coberturas com componentes de telhas cerâmicas, mesmo que a cobertura não tenha forro. NOTA O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220/2.					

Fonte: ABNT, 2013.

3.6 Obras Públicas Sustentáveis

O Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão publicou, em 19 de janeiro de 2010, uma Instrução Normativa que dispõe sobre os critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras pela Administração Pública Federal.

Com a Normativa, todas as obras, serviços ou bens contratados pela administração pública federal deverão conter critérios de sustentabilidade a serem formulados em cada edital convocatório. Os critérios visarão atender principalmente a economia com a operação e manutenção do edifício, a redução do consumo de energia e a redução do consumo de água. Deverá ainda existir o projeto de gerenciamento de resíduos da construção civil.

Para atender os critérios acima, a normativa sugere: projeto de iluminação, uso de sensores de presença, uso de ar condicionado somente onde for indispensável, uso de energia solar para aquecimento da água, sistema de medição individualizada de água e energia, sistema de reúso de água, aproveitamento de águas pluviais, etc.

No intuito de ser um referencial mais prático para os envolvidos com as obras públicas, foi criada, no mesmo ano, a Cartilha Edifícios Públicos Sustentáveis. A cartilha disponibiliza algumas recomendações para um projeto mais sustentável e apresenta ainda uma espécie de *check-list* que permite ao projetista uma visão geral das possibilidades de inserção de sistemas e soluções sustentáveis no projeto, facilitando a tomada de decisão.

Em 2008, antes da publicação da normativa e cartilha para obras públicas federais, o governo de Minas Gerais lançou em caráter preliminar o Manual de Obras Públicas Sustentáveis, fruto da parceria entre Banco Mundial e Governo do Estado. O manual nasceu das diretrizes de controlar o impacto ambiental das obras vindas principalmente das secretarias da saúde, educação e transporte, principais executoras de projeto no estado.

O manual descreve recomendações de projeto para satisfazer cada um dos critérios de sustentabilidade: planejamento sustentável, eficiência energética, gestão e

economia da água, gestão de resíduos, qualidade do ar e do ambiente interior, conforto termo-ilumino-acústico e uso racional de materiais ambientalmente amigáveis.

3.7 ASBEA – Recomendações Básicas

Para finalizar a apresentação do panorama geral de indicadores de sustentabilidade disponíveis para os arquitetos no Brasil, tem-se a publicação de 2007 do grupo de sustentabilidade da ASBEA com Recomendações básicas para projetos de arquitetura. O intuito de apresentar mais essa ferramenta, é que foi uma publicação voltada exclusivamente aos escritórios de arquitetura que tenham intenção de adotar a sustentabilidade como um critério de projeto.

Da mesma maneira que as demais ferramentas apresentadas, a ASBEA também apresenta recomendações dentro de critérios básicos da sustentabilidade: uso eficiente da energia, uso eficiente da água, uso de materiais certificados e renováveis, qualidade ambiental interna e externa, utilização consciente dos equipamentos e do edifício pelo usuário e soluções que permitam flexibilidade e durabilidade.

3.8 Critérios de Sustentabilidade

Como demonstrado em todo o capítulo 3, a amplitude do tema da sustentabilidade para as edificações extrapola as questões da arquitetura bioclimática. Ou seja, a sustentabilidade na arquitetura não é tratada somente no âmbito do conforto ambiental e eficiência energética, mas deve abordar a edificação de forma integrada, tratando do uso de recursos, tanto para a construção quanto para a operação do edifício, como materiais, energia e água, além de temas como gestão de resíduos, relação do edifício com a cidade e ciclo de vida.

A análise dos critérios gerais de sustentabilidade existentes nas ferramentas apresentadas evidencia que a maioria dos indicadores se repete, independente do

instrumento utilizado. Desta forma, entende-se que a edificação que conseguir incorporar esses requisitos, independente de possuir certificação ou não, pode ser considerada como arquitetura sustentável e com bom desempenho ambiental.

Entretanto, é importante destacar aqui o trabalho pioneiro de Silva (2003) *apud* Lamberts *et al* (2008) que demonstrou, com foco em edifícios de escritórios no Brasil, que importar métodos estrangeiros existentes de certificação não é a melhor solução. Segundo Silva (2003), um método de avaliação deveria ser desenvolvido considerando as prioridades, condições e limitações brasileiras. O quadro abaixo apresenta o comparativo entre os critérios de sustentabilidade dentro de cada instrumento analisado:

Quadro 6 – Comparativo de Critérios de Sustentabilidade

Método	Instrumentos voluntários				Norma Obrigatória		Recomendações		
	AQUA	LEED	Procel Edifica	Selo Casa Azul	NBR 15575	Normativa 19/01/2010 e Cartilha Edif. Públicos Sustent.	Manual de Obras Públicas Sustent. - MG	Asbea - Recomendações básicas	
Critérios Gerais	Relação do Edifício com o seu Entorno	Espaço Sustentável		Qualidade Urbana. Projeto e Conforto	Implantação da obra. Adequação ambiental. Acessibilidade	Relação com o meio ambiente	Planejamento Sustentável	Implantação e Análise do Entorno	
	Escolha Integrada de Produtos, Sistemas e Processos Construtivos	Materiais e Recursos		Conservação de Recursos Materiais	Vida útil de projeto. Manutenibilidade, estanqueidade e durabilidade	Materiais, insumos e recursos	Uso Racional de Materiais Ambientalmente Amigáveis	Uso de Materiais Certificados e Renováveis	
	Gestão de Resíduos de Uso e Operação do Edifício					Produtos e descartes	Gestão de Resíduos	Redução dos Resíduos	
	Canteiro de Obras com baixo impacto ambiental					Canteiro de Obras. Projeto de gerenciamento de resíduos da construção civil			
	Gestão da Energia	Energia e Atmosfera	Eficiência Energética: Envolvória, Iluminação, Condicionamento de Ar. Bonificação para Sistemas ou Fontes Renováveis de Energia	Eficiência Energética	(Abordagem indireta dentro de outros requisitos) Desempenho térmico luminoso de instalações	Redução do consumo de energia	Eficiência Energética	Uso Eficiente da Energia	
	Gestão da Água	Uso Racional da Água	Bonificação para Sistema que racionalize o uso de água	Gestão da Água	Requisitos Gerais: adequação ambiental (racionalização do consumo e reuso)	Redução do consumo de água	Gestão e Economia da Água	Uso Eficiente da Água	
	Manutenção - Permanência do desempenho ambiental				Manutenibilidade, estanqueidade e durabilidade	Ciclo de vida. Economia com operação e manutenção do edifício		Utilização Consciente dos Equipamentos e do Edifício pelo Usuário	
	Conforto Higrotérmico	Qualidade Ambiental Interna	Eficiência Energética: Envolvória, Iluminação, Condicionamento de Ar	Projeto e Conforto	Desempenho térmico para os sistemas de vedações e coberturas	Conforto ambiental. Sistemas sustentáveis	Conforto Termo-ilumino-acústico		
	Conforto Acústico				Desempenho acústico para os sistemas de pisos, vedações e coberturas				
	Conforto Visual		Eficiência Energética: Iluminação	Projeto e Conforto	Requisitos gerais: desempenho luminoso	Conforto ambiental			
	Conforto Olfativo								
	Qualidade sanitária dos ambientes				Projeto e Conforto	Requisitos Gerais: saúde, higiene e qualidade do ar	Conforto ambiental	Qualidade do Ar e do Ambiente Interior	Qualidade ambiental interna e externa
	Qualidade sanitária do ar								
	Qualidade sanitária da água								
	Inovação e Processo do Projeto	Sistemas de Bonificação	Práticas Sociais		Metodologia de projeto. Técnicas construtivas		Inovação / Soluções que permitam flexibilidade e durabilidade.		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2014.

É evidente que, exceto pela Norma 15.575 e Normativa n° 01 apresentadas, que são obrigatórias, ainda não existe no país nenhum instrumento legal que leve o projetista a considerar esses critérios no seu processo de projeto. Até que o atendimento às diretrizes de sustentabilidade se tornem normas obrigatórias, poucos serão os projetos pensados sobre essa vertente.

Neste contexto, o arquiteto desempenha importante papel na concepção de edificações mais sustentáveis por ser o principal agente nas tomadas de decisões durante o projeto. A atuação do arquiteto é ampla e ele pode ser o responsável por direcionar vários quesitos que garantirão uma edificação sustentável. Ao analisar o comparativo de critérios de sustentabilidade no quadro 06 acima, é evidente que muitos dos indicadores são de grande responsabilidade do arquiteto. E sendo a sustentabilidade um assunto multidisciplinar, as soluções podem e devem ser aperfeiçoadas com o auxílio de profissionais de outras áreas.

De maneira geral, pode-se afirmar que a dinâmica atual dos escritórios de arquitetura ainda não conseguiu absorver as exigências determinadas pelas várias ferramentas práticas de certificação, uma vez que são necessárias mudanças no modo de projetar, visando à sustentabilidade. Todas as ferramentas trazem uma extensa gama de critérios mínimos a serem atendidos, por um mercado que ainda não está estruturado para lidar com o tema.

Dessa forma, o arquiteto precisa compreender que um projeto sustentável não nasce do cumprimento de *checklists* de critérios de sustentabilidade. Ou pior ainda, uma arquitetura sustentável não é aquela que, na fase de detalhamento, especifica vidros de controle solar, uma robusta rede de ar-condicionado, ou produtos hidrossanitários economizadores, por exemplo. A arquitetura sustentável nasce na concepção do projeto.

O traçado preliminar do arquiteto deve voltar a incorporar as preocupações com o conforto, que foram deixadas de lado desde o advento da tecnologia nos sistemas prediais (como já contextualizado na apresentação do tema). É necessário valorizar e dominar novamente as formas de empregar estratégias de projeto que tiram proveito das condições climáticas e dos recursos naturais do local de implantação, visando maximizar os benefícios térmicos e ambientais e reduzir o consumo energético das edificações. Ao passo em que se percebe nos projetos a valorização

exacerbada da estética, em detrimento da técnica, Lamberts (1997) apresenta um novo princípio conceitual para a produção da arquitetura contemporânea: o acréscimo do vértice “Eficiência Energética” ao tripé vitruviano⁶ de Solidez, Utilidade e Beleza. É nesse sentido que o próximo capítulo se propõe a apresentar algumas recomendações para serem incorporadas na concepção do projeto na busca por uma arquitetura sustentável.

⁶ O arquiteto romano Vitruvio deixou como legado o entendimento de que a arquitetura deveria incorporar três princípios conceituais - "*utilitas*" (utilidade), "*venustas*" (beleza) e "*firmitas*" (solidez).

4 GUIA DE REFERÊNCIA EM SUSTENTABILIDADE PARA ARQUITETOS – ESTRATÉGIAS DE PROJETO

Cumprindo o objetivo principal deste trabalho de criar uma ferramenta de auxílio aos arquitetos no desenvolvimento de uma arquitetura mais sustentável, o presente capítulo tratará da proposição de algumas recomendações de projeto ou pontos de partida que possam ser incorporados durante o processo de trabalho do profissional.

O capítulo 3 apresentou critérios gerais que podem ser tratados como estratégias de projeto sustentáveis, como por exemplo, a gestão de águas ou resíduos, ou ainda a preocupação com o canteiro de obras. Os vários indicadores de sustentabilidade evidenciam a multidisciplinaridade que deve haver no processo, ou seja, o arquiteto não é o único responsável pela sustentabilidade de uma edificação e seu entorno. Além disso, uma edificação nunca será totalmente sustentável, visto que todo o seu ciclo de vida se baseia no consumo de recursos. Busca-se aqui, amenizar o impacto das construções sobre o meio ambiente, no intuito de sustentar a continuidade da existência das futuras gerações.

Entretanto, no entendimento de que o primeiro passo para uma edificação sustentável é o projeto de uma arquitetura responsiva ao clima, o arquiteto apresenta papel fundamental nesta responsabilidade. O presente capítulo apresenta estratégias essenciais para a produção de edifícios com menor impacto ambiental, com foco na etapa de concepção do projeto, tomando as preocupações com as premissas básicas de conforto ambiental e eficiência energética como primordiais e exclusivas do arquiteto.

“Considerando o recorte do desempenho ambiental da arquitetura atrelado ao conforto e à eficiência energética, [...] partindo da fase conceitual [...], o projeto de um edifício deve incluir o estudo dos seguintes tópicos:

- (a) orientação solar e aos ventos;
- (b) forma arquitetônica, arranjos espaciais, zoneamento dos usos internos do edifício e geometria dos espaços internos;
- (c) características, condicionantes ambientais (vegetação, corpos d'água, ruído, etc.) e tratamento do entorno imediato;

(d) materiais da estrutura, das vedações internas e externas, considerando desempenho térmico e cores;

(e) tratamento das fachadas e coberturas, de acordo com a necessidade de proteção solar;

(f) áreas envidraçadas e de abertura, considerando a proporção quanto à área de envoltória, o posicionamento na fachada e o tipo do fechamento, seja ele vazado, transparente ou translúcido;

(g) detalhamento das proteções solares considerando tipo e dimensionamento; e

(h) detalhamento das esquadrias.” (GONÇALVES; DUARTE. 2006).

Para alcançar uma arquitetura com conforto ambiental e eficiência energética é essencial incorporar as características climáticas locais nas soluções do projeto. Algumas ferramentas podem orientar a tomada de decisão ao ajudar na interpretação de dados climáticos, quando não há conhecimento prévio da equipe a respeito de como atuar em determinada condição climática. Maciel (2006) trata dessas ferramentas em sua tese de doutorado:

“Durante os anos de 1980 alguns esforços foram feitos para tratar a informação climática em um formato compreensível ao usuário. [...] As tabelas de Mahoney são ferramentas pioneiras nesta questão porque relacionam dados climáticos locais aos limites do conforto, de acordo com os períodos do dia e da noite, para a identificação de estratégias específicas de projeto. As cartas bioclimáticas foram desenvolvidas para a análise de dados climáticos, para estabelecer estratégias de projeto. Olgyay foi o primeiro a desenvolver um diagrama bioclimático em 1963, chamado Carta Bioclimática. [...] Com o desenvolvimento de novas tecnologias, agora as ferramentas para a avaliação bioclimática estão também disponíveis em formato eletrônico. É possível identificar quatro linhas principais de desenvolvimento; a maioria delas são ferramentas relacionadas ao projeto de proteções solares usando diagramas solares; vêm em seguida as ferramentas para a sistematização de dados climáticos; as ferramentas de ensino e disseminação de conceitos relacionados à arquitetura passiva e adequação climática e; finalmente, as ferramentas que associam características climáticas com as estratégias do projeto, geralmente através de cartas bioclimáticas. Algumas ferramentas visam também à integração de diretrizes práticas através de modelos da simulação. Por meio de sistemas especialistas, o arquiteto é guiado pelo processo de tomada de

decisão com a aplicação de diretrizes práticas e sempre que estas não podem ser aplicadas, o sistema orienta o projetista usando modelos de simulação com métodos precisos.”

Com base nas premissas básicas de conforto ambiental e eficiência energética e frente às dificuldades presenciadas nos escritórios de arquitetura de se incorporar estratégias bioclimáticas nos projetos, apresenta-se a seguir uma proposta sequencial a ser adotada no processo de projeto.

4.1 Análise climática do local

A análise dos dados climáticos de uma região forma a base para a definição das estratégias de condicionamento passivo durante o desenvolvimento do projeto arquitetônico. É neste primeiro momento que o projetista vai encontrar as informações mais importantes para dar subsídio às tomadas de decisão durante a elaboração do projeto, tais quais:

- a) Características gerais do terreno: cidade, latitude, longitude, altitude, forma, topografia, vegetação existente e interferências do entorno.

Nesse momento é interessante a utilização de uma ferramenta de construção de maquete eletrônica, como o software gratuito *SketchUp*⁷, para a simulação do entorno existente. Basta fazer o levantamento das altimetrias existentes no entorno e, com a sobreposição de uma imagem de satélite, disponível no *GoogleMaps*⁸, fazer as elevações na maquete de volumetria.

- b) Trajetória aparente do sol.

É importante ressaltar que o arquiteto deve trabalhar com o norte verdadeiro. Muitas vezes o levantamento planialtimétrico de um terreno apresenta somente o norte magnético. Trabalhar com o norte magnético vai gerar erros consideráveis nas propostas de soluções, já que a declinação magnética, ângulo existente entre o norte verdadeiro e o norte magnético, pode estar em torno de 20°.

⁷ Disponível em www.sketchup.com. Acesso em 05/08/2014.

⁸ Disponível em <https://www.google.com.br/maps/preview>. Acesso em 05/08/2014.

Para encontrar o norte verdadeiro, é possível calcular a declinação existente na data do levantamento planialtimétrico, através dos mapas de declinação magnética disponibilizados periodicamente pelo Observatório Nacional⁹. O mapa já vem com exemplo de cálculo para ser aplicado. Há ainda softwares gratuitos disponíveis para determinação do norte geográfico como o software Declinação Magnética 2.0¹⁰.

c) Levantamento de dados climáticos.

O Instituto Nacional de Meteorologia¹¹ disponibiliza dados de pressão atmosférica, temperatura, umidade relativa e radiação solar nas normais climatológicas, que apresentam as médias de temperatura e umidade relativa do ar durante todo o ano. O levantamento e interpretação destes dados, apesar de indicado, é um processo exaustivo e que demanda profundo conhecimento das condições climáticas. Atualmente, o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (a ser tratado a seguir), já disponibiliza a análise destes dados climáticos para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos em 330 cidades. Para as localidades não contempladas no zoneamento bioclimático brasileiro, o levantamento de dados climáticos é imprescindível, uma vez que a proximidade geográfica não determina clima semelhante.

d) Levantamento da velocidade e direção dos ventos dominantes.

O Instituto Nacional de Meteorologia¹² disponibiliza também mapas e planilhas com a direção e velocidade dos ventos predominantes em mais de 300 cidades brasileiras. Esse dado é fundamental para a definição de estratégias de ventilação.

4.1.1 Carta Bioclimática de Givoni

A análise climática permite ao arquiteto entender o comportamento das variáveis climáticas no local do projeto. Com isso, haverá dados suficientes para identificar os

⁹ Disponível em http://www.on.br/conteudo/servicos/imagens/Mapa_dec.jpg. Acesso em 05/08/2014.

¹⁰ Disponível em <http://www.labeee.ufsc.br/antigo/software/declinação.html>. Acesso em 05/08/2014.

¹¹ Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal>. Acesso em 14/12/2013.

¹² Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal>. Acesso em 14/12/2013.

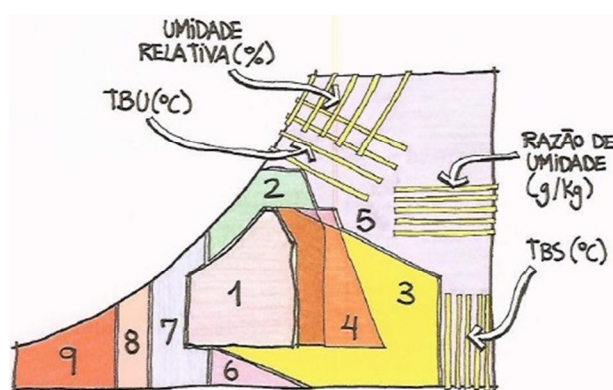
períodos de maior probabilidade de desconforto térmico, e conseqüentemente, quais estratégias de projeto poderão ser utilizadas na busca por edificações menos dependentes de soluções artificiais de condicionamento térmico.

A Carta Bioclimática para Edifícios de Givoni, concebida em 1969 e revisada em 1992, propõe estratégias construtivas para adequação da arquitetura ao clima. Ainda hoje é considerado o trabalho de análise climática mais adequado às condições brasileiras (LAMBERTS, 1997). O método de Givoni consiste em avaliar as soluções mais adequadas de projeto para cada condição climática, a partir da leitura da carta bioclimática que, com base no lançamento de dados de temperatura e umidade de determinado local, define as melhores estratégias para alcançar o conforto térmico.

A figura abaixo mostra a Carta Bioclimática de Givoni, dividida em 9 zonas. Destaca-se que dentre as 9 zonas, somente 2 zonas configuram estratégias com o consumo de energia.

- 1) Zona de conforto
- 2) Zona de ventilação
- 3) Zona de resfriamento evaporativo
- 4) Zona de massa térmica para resfriamento
- 5) Zona de condicionamento artificial
- 6) Zona de umidificação
- 7) Zona de massa térmica para aquecimento
- 8) Zona de aquecimento solar passivo
- 9) Zona de aquecimento artificial

Figura 1 – Carta Bioclimática de Givoni



materiais de alta inércia térmica é requerido em todos os meses do ano, buscando desacelerar o aquecimento interno durante o dia e fazer com que o calor seja liberado internamente somente no final do dia, quando o clima externo já está mais frio.

4.1.2 Método de Mahoney

O método desenvolvido por Carl Mahoney, em 1969, busca apresentar recomendações de projeto baseadas em um determinado grupo climático predominante. O método nasceu da necessidade de elaborar diretrizes de projeto para escolas secundárias na Nigéria com base em uma arquitetura responsiva ao clima.

O uso das Tabelas de Mahoney se baseia no levantamento de dados disponíveis em normais climatológicas, que levam à análise do clima, baseada em indicadores pré-estabelecidos que, por fim, levarão a obter as recomendações de projeto para aquele clima. Dados mensais de temperatura, umidade relativa e precipitação pluviométrica são plotados em uma planilha, que pontuam indicadores como “ventilação é desejável” ou “inércia térmica”. Por fim, a soma de pontos de cada indicador, leva à tabela de Recomendações Arquitetônicas de Mahoney. As recomendações envolvem diretrizes de implantação, dimensão, posição e proteção das aberturas, cobertura, espaços exteriores e circulação de ar.

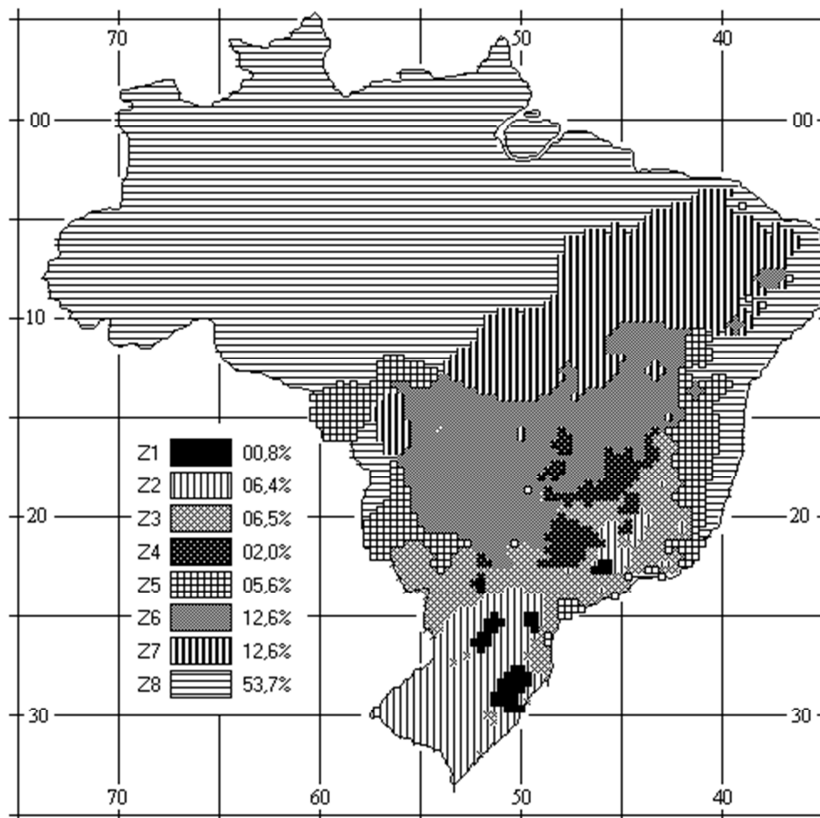
4.2 Zoneamento Bioclimático Brasileiro

A Norma de Desempenho Térmico das Edificações NBR 15.220 (ABNT, 2003) apresenta o comportamento térmico mínimo esperado nas edificações, visando melhores condições de conforto térmico interior e redução no uso de equipamentos de climatização artificial. A norma apresenta, na Parte 3, o Zoneamento Bioclimático Brasileiro com diretrizes construtivas ou recomendações aplicáveis na fase de projeto. Apesar de estar focada nas habitações unifamiliares de interesse social de até três pavimentos, a norma se baseia em parâmetros e condições climáticas fixados e por essa razão serve de base para qualquer projeto no país. A Norma

engloba a análise generalista do método de Givoni com as diretrizes mais focadas do método de Mahoney. Além disso, as normalizações colaboram para a melhoria da qualidade dos produtos. Sendo assim, é esperado que cada vez mais projetos de edificações passem a respeitar as condições fixadas pela norma.

O Zoneamento Bioclimático (figura 3) apresenta a divisão do território brasileiro em oito zonas “relativamente homogêneas quanto ao clima e, para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações tecno-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática” (ABNT, 2003).

Figura 3 – Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: ABNT, 2003.

O zoneamento levou em conta as médias mensais de temperatura e umidade medidas em 330 cidades e os dados foram plotados em uma carta bioclimática adaptada a partir da carta sugerida por Givoni. Para os outros 5231 municípios o clima foi estimado por interpolação. Além disso, a norma é muito semelhante às tabelas de Mahoney, por relacionar dados climáticos locais aos limites do conforto, para a identificação de estratégias específicas de projeto. Desta forma, entende-se

que, no intuito de tornar mais prática a análise climática a ser feita pelo arquiteto, sugere-se a substituição do uso de índices de conforto, cartas bioclimáticas e tabela de Mahoney pelo uso das recomendações de projeto descritas na NBR 15.220.

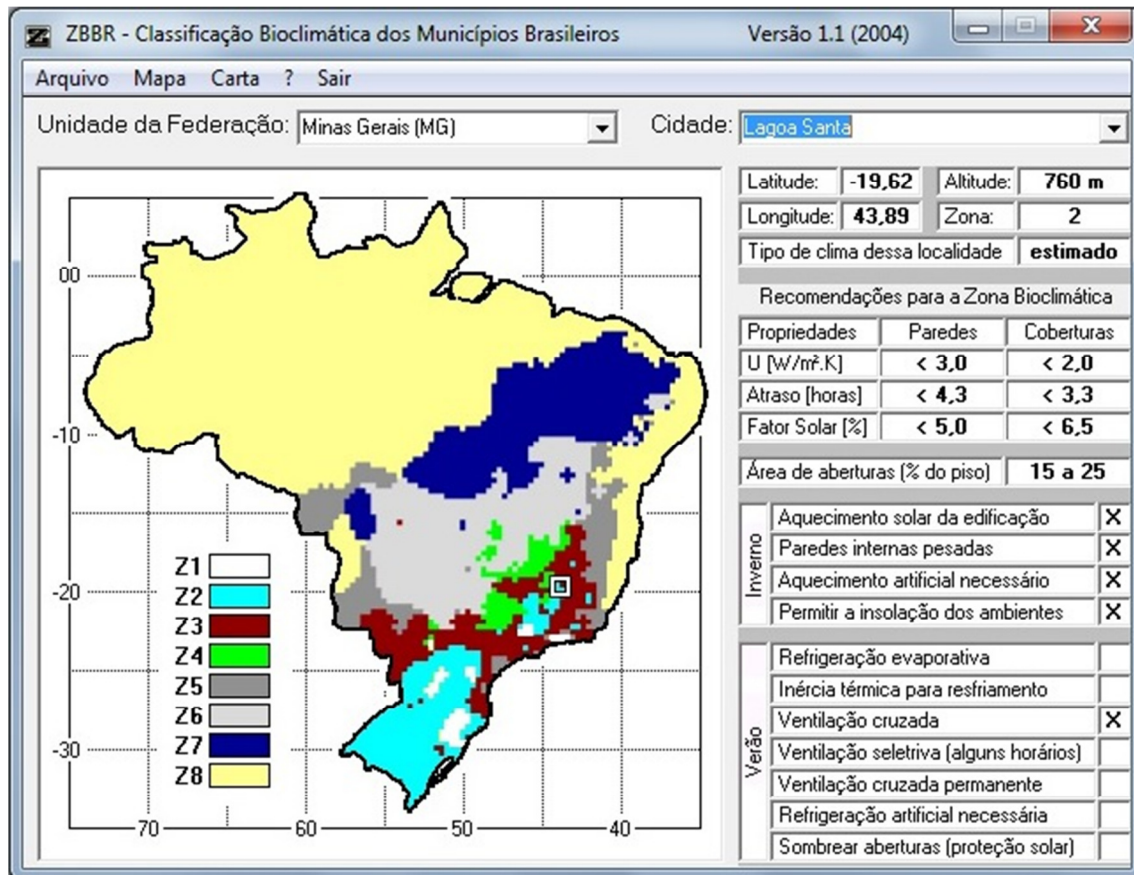
Se, por ventura, a localidade procurada não estiver disponível na norma, é necessário achar uma referência por proximidade de dados climáticos (altitude, presença de vegetação e massas d'água, topografia). Salienta-se que a proximidade geográfica, somente, não caracteriza o mesmo clima. A cidade de Belo Horizonte, por exemplo, está localizada na Zona Bioclimática ZB3. Já as cidades de Nova Lima ou Lagoa Santa possuem características climáticas diferentes, estando localizadas na ZB2. Sabe-se, entretanto, que ainda existe certa limitação por falta de dados no Brasil. Dessa forma, o arquiteto pode não encontrar dados suficientes quando tiver que classificar um local não incluído na NBR 15.220.

É importante destacar que a norma não trata dos procedimentos para avaliação do desempenho térmico de edificações. Em um estágio mais avançado, os mesmos podem ser elaborados pelo arquiteto através de cálculos, medições in loco ou simulações computacionais, que não são o objetivo deste trabalho.

Já existe um programa gratuito disponível para facilitar a consulta do zoneamento bioclimático no Brasil. O ZBBR – Classificação Bioclimática dos Municípios Brasileiros,¹⁴ apresenta de maneira prática a classificação climática e as estratégias de projeto, segundo a Norma NBR 15.220. A figura abaixo mostra a interface do programa:

¹⁴ Disponível em <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/zbbr>. Acesso em 01/02/2014. Programa elaborado por Maurício Roriz. Universidade Federal de São Carlos. 2004.

Figura 4 – Programa ZBBR



Fonte: ZBBR, 2004.

4.3 Identificação das estratégias dentro do Zoneamento Bioclimático

É importante destacar que, em uma mesma zona bioclimática podem haver variações dentre as estratégias recomendadas. Tal fato deve-se à metodologia adotada para a classificação das cidades e a forma de agrupamento das características semelhantes que gerou o zoneamento. Sendo assim, é essencial que seja verificado não somente o zoneamento, mas também as estratégias recomendadas para a cidade.

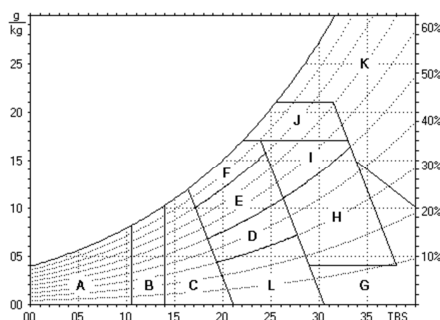
Quadro 7 – Correspondência de zonas e estratégias de condicionamento

A – Zona de aquecimento artificial (calefação)	G + H – Zona de resfriamento evaporativo
B – Zona de aquecimento solar da edificação	H + I – Zona de massa térmica de refrigeração
C – Zona de massa térmica para aquecimento	I + J – Zona de ventilação
D – Zona de Conforto Térmico (baixa umidade)	K – Zona de refrigeração artificial
E – Zona de Conforto Térmico	L – Zona de umidificação do ar
F – Zona de desumidificação (renovação do ar)	

Fonte: ABNT, 2003.

O quadro acima apresenta as 12 áreas da carta bioclimática¹⁵ da NBR 15.220 (baseada na carta bioclimática de Givoni). O quadro 8 abaixo apresenta as especificidades dentro de cada zoneamento. É interessante destacar que a ZB8, a maior zona bioclimática brasileira com 30% dos 330 municípios classificados, não possui nenhuma estratégia constante.

15



Carta Bioclimática – NBR 15.220

Fonte: ABNT, 2003.

Quadro 8 - Variações das estratégias dentro do mesmo zoneamento

Zona	Estratégias Constantes (indicada para todas as cidades da zona)	Estratégias Específicas (somente em algumas cidades)
ZB1	ABC	F e D
ZB2	ABCFI	-
ZB3	BCF	I e J
ZB4	BCF	D, H e I
ZB5	CFI	J e K
ZB6	CFI	D, H e J
ZB7	FHI	D, J e K
ZB8	-	F, I, J e K

Fonte: Produzido pelo autor, 2014.

A definição das estratégias de projeto constantes ou específicas partiu da análise já comentada, a partir dos dados climáticos plotados na carta bioclimática de Givoni. Em uma análise mais detalhada poderia se perceber uma gama maior de estratégias recomendadas para cada local. Entretanto, foram priorizadas na norma as estratégias de maior representatividade e comum a todas as cidades da zona.

Após a identificação da zona em que estará inserido o projeto, parte-se para o cumprimento das recomendações de projeto descritas para aquela localidade. O quadro abaixo apresenta um comparativo das recomendações de projeto segundo a norma 15.220 para cada uma das zonas bioclimáticas.

Quadro 9 – Recomendações de projeto para cada Zona Bioclimática

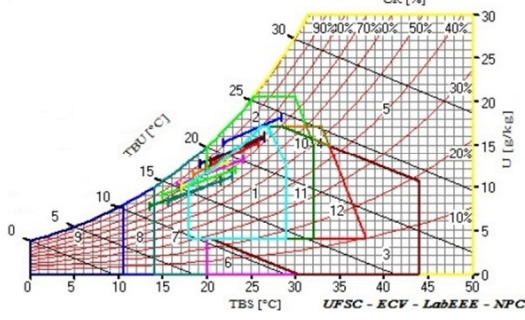
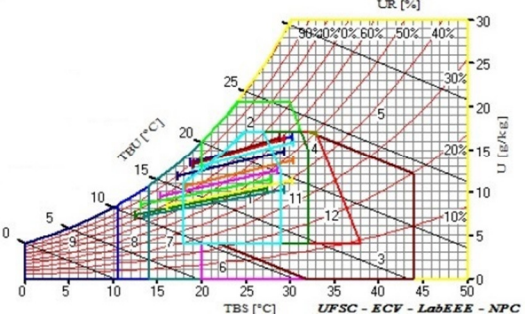
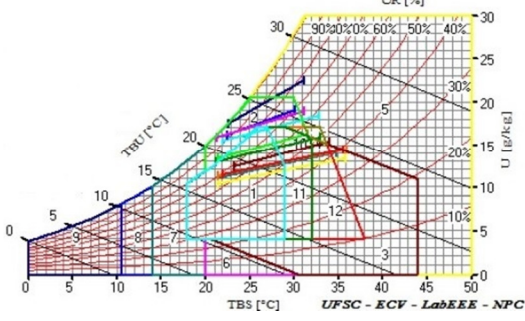
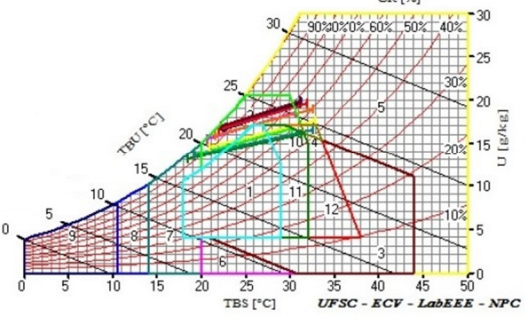
	Tamanho das aberturas para ventilação	Proteção / Sombreamento das aberturas	Vedações Externas Paredes	Vedações Externas Cobertura	Estratégias de Condicionamento Térmico Passivo	
					Verão	Inverno
ZB1	Médias 15%<A<25% da área de piso	Permitir Sol durante o período frio	Leve $U \leq 3,00$, $\varphi \leq 4,3$ e $FCS \leq 5,0$	Leve Isolada $U \leq 2,00$, $\varphi \leq 3,3$ e $FCS \leq 6,5$		B) Aquecimento solar da edificação (Pode ser necessário aquecimento artificial durante o período mais frio do ano) C) Vedações Internas Pesadas (Inércia Térmica)
ZB2	Médias 15%<A<25%	Permitir Sol durante o inverno	Leve $U \leq 3,00$, $\varphi \leq 4,3$ e $FCS \leq 5,0$	Leve Isolada $U \leq 2,00$, $\varphi \leq 3,3$ e $FCS \leq 6,5$	J) Ventilação cruzada	B) Aquecimento solar da edificação (Pode ser necessário aquecimento artificial durante o período mais frio do ano) C) Vedações Internas Pesadas (Inércia Térmica)
ZB3	Médias 15%<A<25%	Permitir Sol durante o inverno	Leve refletora $U \leq 3,60$, $\varphi \leq 4,3$ e $FCS \leq 4,0$	Leve Isolada $U \leq 2,00$, $\varphi \leq 3,3$ e $FCS \leq 6,5$	J) Ventilação cruzada	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações Internas Pesadas (Inércia Térmica)
ZB4	Médias 15%<A<25%	Sombrear aberturas	Pesada $U \leq 2,20$, $\varphi \geq 6,5$ e $FCS \leq 3,5$	Leve Isolada $U \leq 2,00$, $\varphi \leq 3,3$ e $FCS \leq 6,5$	H) Resfriamento Evaporativo e Massa Térmica para J) Ventilação Seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura em que a temperatura interna seja superior à externa)	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações Internas Pesadas (Inércia Térmica)
ZB5	Médias 15%<A<25%	Sombrear aberturas	Leve refletora $U \leq 3,60$, $\varphi \leq 4,3$ e $FCS \leq 4,0$	Leve Isolada $U \leq 2,00$, $\varphi \leq 3,3$ e $FCS \leq 6,5$	J) Ventilação cruzada	C) Vedações Internas Pesadas (Inércia Térmica)
ZB6	Médias 15%<A<25%	Sombrear aberturas	Pesada $U \leq 2,20$, $\varphi \geq 6,5$ e $FCS \leq 3,5$	Leve Isolada $U \leq 2,00$, $\varphi \leq 3,3$ e $FCS \leq 6,5$	H) Resfriamento Evaporativo e Massa Térmica para J) Ventilação Seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura em que a temperatura interna seja superior à externa)	C) Vedações Internas Pesadas (Inércia Térmica)
ZB7	Pequenas 10%<A<15%	Sombrear aberturas	Pesada $U \leq 2,20$, $\varphi \geq 6,5$ e $FCS \leq 3,5$	Pesada $U \leq 2,00$, $\varphi \geq 6,5$ e $FCS \leq 6,5$	H) Resfriamento Evaporativo e Massa Térmica para J) Ventilação Seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura em que a temperatura interna seja superior à externa)	
ZB8	Grandes A>40%	Sombrear aberturas	Leve refletora $U \leq 3,60$, $\varphi \leq 4,3$ e $FCS \leq 4,0$	Leve refletora $U \leq 2,30$, $\varphi \leq 3,3$ e $FCS \leq 6,5$	J) Ventilação cruzada permanente (Será necessário condicionamento ativo durante o período mais quente do ano)	

Fonte: ABNT, 2003

Para melhor entendimento das estratégias dentro de cada zona bioclimática, recomenda-se a análise da carta bioclimática e relatório produzido pelo programa *Analysis Bio 2.0*, já apresentado. Vale lembrar que para as cidades não existentes no *Analysis Bio 2.0*, as normais climatológicas podem ser inseridas manualmente. A partir daí, as estratégias de projeto a utilizar serão definidas a partir da análise climática do local em questão, e não a partir da generalização dentro de cada zona. A figura abaixo exemplifica as estratégias predominantes em uma cidade específica de cada zoneamento. O comparativo com o quadro 9, acima, evidencia a necessidade da análise local e não somente do zoneamento.

Figura 5 – Comparativo das estratégias a partir da Carta Bioclimática

<p>ZB1 - Campos do Jordão, SP Clima muito frio e úmido. Estratégias Predominantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - aquecimento artificial - aquecimento solar passivo - inércia térmica para aquecimento 	<p>ZB2 - Ponta Grossa, PR Clima frio. Estratégias Predominantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - aquecimento solar passivo - inércia térmica para aquecimento
<p>ZB3 - Belo Horizonte, MG Clima quente e seco. Estratégias Predominantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - inércia térmica para aquecimento 	<p>ZB4 - Brasília, DF Clima quente e seco. Estratégias Predominantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - inércia térmica para aquecimento

	
<p>ZB5 - Santos, SP Clima quente e úmido. Estratégias Predominantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - inércia térmica para aquecimento - ventilação 	<p>ZB6 - Goiânia, GO Clima quente e seco. Estratégias Predominantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - inércia térmica para aquecimento - resfriamento evaporativo/ventilação
	
<p>ZB7 - Sobral, CE Clima muito quente e seco. Estratégias Predominantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ventilação - resfriamento evaporativo/ventilação - inércia térmica resfriamento 	<p>ZB8 - Rio Branco, AC Clima muito quente e úmido. Estratégias Predominantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ventilação

Fonte: Produzido pelo autor, 2014.

4.4 Análise da Carta Solar

Visando uma arquitetura com conforto e eficiência energética é essencial o uso da carta solar¹⁶, para que seja identificada, no terreno do projeto, a trajetória aparente

¹⁶ Sobre o uso da Carta Solar, ver FROTA, Anesia B. SCHIFFER, Sueli R. Manual de Conforto Térmico. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

do sol na abóbada celeste. O entendimento da carta solar vai ajudar na definição da orientação e controle da exposição do edifício ao sol. É esperado que várias outras condicionantes influenciem a determinação da implantação e setorização, como as visadas, relação com o entorno, captação de ventos dominantes ou mesmo considerações estéticas. Mas mesmo em uma implantação menos favorável, o uso da carta solar é fundamental para o projeto de dispositivos de proteção solar.

A análise da carta solar pode ser associada às informações de temperatura e radiação solar, visando a definir de forma mais específica, a necessidade ou não de sombreamento.

4.5 Estratégias de projeto

De posse da carta solar, diagnóstico do local e recomendações de projeto para a cidade de acordo com o zoneamento bioclimático, parte-se para a escolha de estratégias passivas de condicionamento térmico, que vão repercutir na definição das variáveis da arquitetura, como forma, função, orientação, envoltória e aberturas.

a) Orientação

A orientação adequada das edificações, juntamente com o projeto adequado da envoltória (vedações e cobertura), favorece a redução do ganho térmico. O Método de Mahoney recomenda implantar todas as edificações no eixo leste-oeste. Isso aumenta o percentual de paredes voltadas para o norte e para o sul, reduzindo a exposição ao sol e ganho térmico devido à radiação solar. Além disso, a orientação leste-oeste favorece o acesso à iluminação natural interna equilibrada.

Entretanto, não só o ganho térmico e iluminação determinam a orientação de um edifício. A orientação adequada varia também em função da necessidade de

O site da FAU USP disponibiliza o arquivo *Cartas_Solares_Cad.dwg* com a Carta Solar de 49 diferentes latitudes. Disponível em http://www.usp.br/fau/pesquisa/lab_nuc/labaut/conforto/index.html. Acesso em 10/02/2014.

E ainda, a Universidade de Oregon, Estados Unidos, disponibiliza online a carta solar para qualquer latitude. Disponível em <http://solardat.uoregon.edu/PolarSunChartProgram.html>. Acesso em 10/02/2014.

captação dos ventos dominantes, necessidade de aquecimento em locais frios, ou mesmo a relação com o entorno, visadas ou considerações estéticas. Em uma via implantada no sentido leste-oeste, por exemplo, fatalmente a edificação assumirá a orientação norte-sul. Dessa forma, esgotadas as possibilidades de se alcançar uma orientação adequada, será necessário o uso de outras estratégias.

b) Forma

A forma do edifício influencia diretamente no conforto e eficiência energética, já que é a responsável pela superfície em contato com o exterior, interferindo diretamente na quantidade de calor, luz e ventilação recebida. Em locais onde a inércia térmica é desejável, por exemplo, recomenda-se o partido mais quadrado e com pátio interno. O espaçamento entre as edificações também deve ser verificado, quando se aumentam os afastamentos onde a ventilação é fundamental, ou aproximam-se as edificações onde é desejável aumentar a inércia.

c) Função

Um edifício comercial possui uso predominante diurno e os usuários estão expostos aos ganhos de calor do sol, iluminação artificial e dos equipamentos. Já um edifício residencial vai apresentar alto consumo com aquecimento de água para o banho, por exemplo. Com isso, a função arquitetônica repercute diretamente na eficiência energética do edifício e nas escolhas das estratégias bioclimáticas a utilizar.

d) Aberturas

As janelas em uma edificação são responsáveis pelo contato com o exterior e pela captação de iluminação e ventilação natural. A orientação e dimensionamento das aberturas devem corresponder às condições climáticas locais, priorizando a ventilação, iluminação ou o armazenamento térmico em cada caso. O uso da Carta Solar deve guiar a orientação das aberturas e o projeto dos dispositivos de sombreamento, de modo a promover a iluminação natural e evitar ganhos solares excessivos. A orientação das aberturas pode ainda favorecer a ventilação natural se voltada para os ventos dominantes.

e) Envoltória

Os materiais e cores escolhidos para a composição da envoltória de uma edificação podem beneficiar o desempenho térmico da edificação. Para a especificação das vedações opacas, devem-se observar características como absorvidade, condutividade, transmitância e inércia térmica. Já nos fechamentos transparentes deve-se observar também a transmissividade do vidro. Os materiais da cobertura também vão influenciar na troca de calor entre interior e exterior.

Buscando facilitar a aplicação das estratégias de conforto e eficiência energética na prática do projeto de arquitetura, parte-se da divisão de seis grupos de recomendações gerais com as subdivisões em estratégias vinculadas a cada zoneamento bioclimático brasileiro. Não é o intuito desse trabalho orientar sobre o funcionamento de cada estratégia, mas sim apresentar a amplitude das possibilidades. Os detalhamentos das soluções arquitetônicas estão descritas em diversas bibliografias¹⁷. Além disso, as técnicas abaixo não devem ser tratadas como respostas definitivas, pois com o avanço tecnológico, soluções mais eficientes surgirão. Cabe ainda ressaltar que as estratégias abaixo descritas podem ser tratadas de forma associada, no intuito de cumprir as diretrizes levantadas pelo projetista na análise climática.

4.5.1 Materiais / Controle das Trocas Térmicas

Os materiais e cores escolhidos para a composição da envoltória de uma edificação vão interferir diretamente no desempenho térmico da edificação, devendo ser especificados em função da estratégia definida pela análise bioclimática.

¹⁷ Algumas sugestões de bibliografias referentes ao detalhamento de estratégias bioclimáticas são:

BROWN, G. Z. e DEKAY, M. **Sol, Vento e Luz: Estratégias para o projeto de Arquitetura**. Porto Alegre: Bookman, 2004. 2ª. Edição.

GIVONI, Baruch. **Climate Considerations in Building and Urban Design**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

LECHNER, Norbert. **Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects**. New York, John Wiley & Sons, 1991

- Escolha da cor: cores escuras favorecem a absorção do calor proveniente da radiação solar incidente, podendo contribuir para o aquecimento do ambiente interno e cores claras são mais reflexivas, diminuindo o ganho de calor.

- Forma da edificação: uma planta-baixa mais compacta apresenta menor área de fachada, e conseqüentemente, menor área de superfície disponível para fazer trocas térmicas. Já as plantas alongadas no sentido leste-oeste apresentam maiores ganhos térmicos na fachada norte no inverno e redução dos ganhos térmicos nas fachadas leste-oeste no verão.

- Massa térmica: a massa térmica pode ser usada tanto para resfriamento quanto aquecimento. A NBR 15.220 apresenta as recomendações de envoltória desejável para cada zoneamento. Para a correta especificação, faz-se necessário o entendimento dos seguintes conceitos:

a) Transmitância térmica – U [$W/(m^2.K)$]: também chamada de coeficiente global de transferência de calor, é o fluxo de calor que atravessa o componente. É o inverso da resistência térmica total de uma vedação¹⁸. A análise da transmitância térmica de um material permite entender o comportamento do fechamento opaco frente à transmissão de calor.

b) Atraso térmico – ϕ [horas]: é o tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor. O atraso térmico depende da capacidade térmica do componente construtivo e da ordem em que as camadas estão dispostas.¹⁸.

c) Fator de Calor Solar – FCS [%]: o ganho de calor solar é o quociente da taxa de radiação solar transmitida através de um componente, pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo. Se o material for transparente ou translúcido, influenciam também o ângulo de incidência mais a parcela absorvida e retransmitida para o interior¹⁸.

¹⁸ Definições conforme ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2003.

Quadro 10 – Especificações de envoltórias para cada zoneamento

	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
Parede Leve ($U \leq 3,00$, $\phi \leq 4,3$, $FCS \leq 5,0$)	X	X						
Parede Leve Refletores ($U \leq 3,60$, $\phi \leq 4,3$, $FCS \leq 4,0$)			X		X			X
Parede Pesada ($U \leq 2,20$, $\phi \geq 6,5$, $FCS \leq 3,5$)				X		X	X	
Cobertura Leve Isolada ($U \leq 2,00$, $\phi \leq 3,3$, $FCS \leq 6,5$)	X	X	X	X	X	X		
Cobertura Refletores ($U \leq 2,30$.FT, $\phi \leq 3,3$, $FCS \leq 6,5$)								X
Cobertura Pesada ($U \leq 2,00$, $\phi \geq 6,5$, $FCS \leq 6,5$)							X	

Fonte: ABNT, 2003.

As zonas ZB1 e ZB2 necessitam de massa térmica para aquecimento, por isso necessitam de paredes leves, com transmitância e inércia térmica intermediárias, somadas a um maior Fator de Calor Solar. É desejável que as paredes armazenem o máximo de calor durante o dia para disponibilizá-lo durante a noite, período mais frio. E a menor transmitância irá evitar a perda do calor interno para o externo.

As zonas ZB3, ZB5 e ZB8 possuem em comum a necessidade de inércia térmica para resfriamento, somada à ventilação. Por isso indica-se o uso de paredes leves refletoras, com maior transmitância térmica.

As zonas ZB4, ZB6 e ZB7, onde predominam climas quentes e secos, necessitam de massa térmica para aquecimento, já que a amplitude térmica é alta, e as temperaturas noturnas são baixas, apesar dos dias muito quentes. Dessa forma, indica-se o uso de paredes pesadas, ou seja, com alto atraso térmico, mas baixa transmitância e fator de calor solar. A ZB7, de clima muito quente e seco, possui a particularidade dentre as três zonas, de necessitar de massa térmica para resfriamento. Ao usar paredes de material com alta capacidade térmica, o calor é freado durante o dia e liberado para o exterior durante a noite, que já está mais fria

que o interior. A massa térmica, seja para resfriamento ou aquecimento, está relacionada com a inércia térmica.

4.5.2 Resfriamento Passivo

O principal meio de resfriamento passivo é o resfriamento evaporativo, que retira o calor do ar através da evaporação da água ou evapotranspiração das plantas. Ou seja, acrescenta umidade ao ar seco reduzindo o calor sensível. Por esse motivo é a estratégia recomendada nas zonas ZB4, ZB6 e ZB7, zonas de clima quente e seco. Nos locais de clima quente e úmido o uso do resfriamento evaporativo será prejudicial ao conforto, já que estará aumentando a umidade relativa do ambiente. Entretanto, é possível utilizar o resfriamento evaporativo em outras zonas, se houver um grande período de estação seca. Também a estratégia de massa térmica para resfriamento é recomendada somente nos locais de clima quente e seco, caracterizados por oscilação de temperatura durante a noite. Sendo assim a massa térmica absorve o calor excessivo durante o dia e libera o calor quando acontece a queda da temperatura.

As demais zonas, que necessitam de resfriamento, podem utilizar outras estratégias como as descritas no quadro abaixo. Somente na ZB8 considera-se a necessidade de resfriamento artificial nos meses mais quentes do ano. Sendo assim, as zonas ZB4, ZB6 e ZB7 possuem maiores oportunidades de conseguir o resfriamento de forma passiva, pela possibilidade de mesclar as estratégias abaixo.

Quadro 11 – Estratégias de resfriamento passivo para cada zoneamento

	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
Resfriamento Evaporativo direto (umidificação)	-			X		X	X	
Resfriamento Evaporativo direto (vegetação)	-			X		X	X	
Resfriamento Evaporativo indireto (cortina d`água)	-			X		X	X	
Massa térmica para resfriamento	-			X		X	X	
Teto-jardim	-	X	X	X	X	X	X	X
Fachadas ventiladas	-	X	X	X	X	X	X	X
Estratégias de ventilação (ver 4.5.4)	-	X	X	X	X	X	X	X
Necessário resfriamento artificial nos períodos mais quentes	-							X

Fonte: Elaborado pelo autor, 2014.

4.5.3 Aquecimento Passivo

O aquecimento passivo, sem a necessidade de consumo energético, pode ser alcançado com o aproveitamento da radiação solar. É indicado na menor parte do país, nas zonas Z1 a Z4, mas pode ser utilizado no inverno, nas demais zonas que possuem clima híbrido. Nas demais áreas, as baixas temperaturas do inverno podem ser amenizadas com o uso de paredes internas com alta inércia térmica, ou seja, que absorvem e retêm o calor durante o dia, liberando-o no período da noite. Outra estratégia de aquecimento passivo são os espaços envidraçados expostos ao sol, que aproveitam o efeito estufa para aquecimento.

Quadro 12 – Estratégias de aquecimento passivo para cada zoneamento

	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
Incidência direta de radiação: forma, orientação da fachada e superfícies envidraçadas	X	X	X	X			-	-
Incidência direta de radiação: cor externa escura (alta absorvância)	X	X	X	X			-	-
Parede externa de acumulação - Parede trombe (massa térmica)	X	X	X	X			-	-
Vedações Internas Pesadas	X	X	X	X	X	X	-	-
Aquecimento artificial necessário nos períodos mais frios	X	X					-	-

Fonte: Elaborado pelo autor, 2014.

4.5.4 Ventilação Natural

Para usar a estratégia da ventilação, deve-se concordar a forma e orientação do edifício com a direção dos ventos dominantes. A arquitetura deve possuir espaços fluidos e elementos que direcionem o fluxo de ar. A ventilação é indicada tanto para controle da temperatura e umidade do ar quanto para higienização dos ambientes. Por ser o Brasil um país predominantemente quente e úmido, a ventilação e o sombreamento, são as principais estratégias bioclimáticas.

Dessa forma, a ventilação é indicada em todas as zonas bioclimáticas, com exceção da ZB1. O que diferencia o uso da ventilação nas demais zonas é a necessidade de ventilação somente em parte do ano (ZB4, ZB6 e ZB7) ou a necessidade de ventilação permanente (ZB8). Abaixo estão listados os principais meios de garantir a ventilação:

- a) Ventilação cruzada: deve haver aberturas para tomadas e saídas de ar em lados opostos da edificação;
- b) Efeito chaminé: aproveitamento da diferença de pressão entre as aberturas de entrada e saída do ar. O distanciamento vertical entre as aberturas é o fator fundamental para o bom funcionamento do sistema;
- c) Galerias subterrâneas para captação dos ventos;
- d) Forros basculantes que auxiliam na iluminação natural e na ventilação natural através do efeito chaminé;
- e) Peitoril ventilado;
- f) Redutores de velocidade (para casos onde a ventilação é desejável, mas a velocidade do ar é muito intensa).

A ventilação natural pode ser dimensionada por meio de modelos físicos, modelos empíricos ou modelos numéricos computacionais.

A Norma NBR 15.220 também recomenda o tamanho das aberturas para ventilação em cada zoneamento:

Quadro 13 – Dimensão das aberturas para ventilação

	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
Aberturas pequenas (10% a 15% da área do piso)							X	
Aberturas médias (15% a 25% da área do piso)	X	X	X	X	X	X		
Aberturas grandes (40% da área do piso)								X

Fonte: Elaborado pelo autor, 2014.

4.5.5 Sombreamento

Assim como a ventilação, o sombreamento é desejável na maioria das cidades brasileiras, como forma de controle da radiação solar direta e consequente acúmulo de calor. A proteção das aberturas assume então papel de destaque quando se busca diminuir os ganhos de calor. Somente nas zonas ZB1, ZB2 e ZB3 é

recomendado que o sombreamento seja interrompido no período de inverno, de forma a não prejudicar a estratégia de aquecimento passivo. Nas demais zonas, o sombreamento das aberturas é desejável.

O sombreamento pode ser externo, em climas muito quentes, onde não é desejável que o calor entre, ou interno ou entre vidros, em climas frios ou híbridos, onde o calor é desejável em parte do ano. O sombreamento externo pode ser alcançado principalmente através das seguintes estratégias:

- a) uso de vegetação;
- b) muxarabis ou gelosias;
- c) cobogós;
- d) persianas externas;
- e) brises-soleil.

Os brises, apesar de reduzir a radiação solar na edificação, precisam ser bem dimensionados para não comprometer a disponibilidade de luz natural no ambiente interno. Souza, Veloso e Mattos (2010) apresentam em seu artigo uma orientação para os projetistas dimensionarem os dispositivos de proteção solar. O objetivo do artigo foi determinar as dimensões mínimas dos brises, de forma a cumprir a finalidade de reduzir o ganho térmico sem prejudicar a iluminação natural:

Principalmente para arquitetos que não estão habituados com o estudo da geometria solar essa pode ser uma tarefa difícil. Quando dimensionados com ângulos maiores que os necessários, eles podem escurecer os ambientes aumentando o consumo do sistema de iluminação artificial e de condicionamento de ar (SOUZA; VELOSO; MATTOS. 2010).

4.5.6 Iluminação Natural

Embora a iluminação natural seja parte da radiação solar, ela não é tratada na Norma de Desempenho Térmico. Entretanto, faz parte do escopo da NBR 15.215, que trata especificamente da iluminação natural, e de várias certificações, principalmente da Etiqueta Procel. A iluminação natural é um dos principais itens no que diz respeito à eficiência energética, especialmente nas edificações comerciais,

que possuem uso predominantemente diurno e mesmo assim alto consumo com iluminação.

A eficiência energética em iluminação engloba o uso da iluminação natural junto de um sistema de iluminação artificial eficiente. Otimizar a iluminação natural não significa aumentar o tamanho das aberturas, pois isto pode ocasionar aumento do ganho térmico. É necessário usar estratégias de arquitetura que possibilitem que a luz natural alcance espaços internos de forma indireta. Os principais sistemas de iluminação natural são:

- a) prateleiras de luz
- b) átrio
- c) duto com espelhos
- d) persiana flexível
- e) telhado com shed
- f) clarabóia
- g) pátio interno

4.6 Planilha de Orientação

Atendendo ao objetivo principal deste trabalho, de oferecer uma ferramenta mais prática de consulta que possa nortear os arquitetos na concepção dos projetos, objetivando o desenvolvimento de uma arquitetura mais sustentável, apresenta-se abaixo uma planilha de orientação. Frente à fase pouco detalhada das estratégias, é imprescindível que o profissional se aprofunde nos temas.

Quadro 14 – Planilha Orientativa – Passos Iniciais

	Tema	Pré-requisito	Sinopse	Observações/Dicas
1	<input type="checkbox"/> Características gerais do terreno		Latitude, longitude, altitude, forma, topografia, vegetação existente e interferências do entorno	Simulação do entorno existente no SketchUp - http://www.sketchup.com/
2	<input type="checkbox"/> Trajetória aparente do sol		Orientação solar	Trabalhar com o norte verdadeiro (e não com o norte magnético). É possível calcular a declinação existente na data do levantamento planialtimétrico. http://www.on.br/conteudo/servicos/imagens/Mapa_dec.jpg http://www.labee.ufsc.br/antigo/software/declinacao.html
3	<input type="checkbox"/> Ventos dominantes		Direção e velocidade dos ventos predominantes	Mapas e planilhas disponíveis no Instituto Nacional de Meteorologia - http://www.inmet.gov.br/portal
4	<input type="checkbox"/> Levantamento de dados climáticos		Normais Climatológicas: pressão atmosférica, temperatura, umidade relativa e radiação solar	Necessário se local não disponível na ZBBR. Ver obs. item 6 Instituto Nacional de Meteorologia - http://www.inmet.gov.br/portal
5	<input type="checkbox"/> Carta Bioclimática de Givoni	Item 4	Indicações fundamentais de estratégias bioclimáticas a adotar	Necessário se local não disponível na ZBBR. Ver obs. item 6. As normais climatológicas podem ser inseridas manualmente no software Analysis Bio 2.0 - www.labee.ufsc.br
6	<input type="checkbox"/> Zoneamento Bioclimático Brasileiro	Item 1	Classificação climática e estratégias de projeto, segundo a Norma NBR 15.220. Verificar não somente as estratégias do zoneamento, mas também as estratégias recomendadas para a cidade específica. Obs.: No intuito de tornar mais prática a análise climática a ser feita pelo arquiteto, sugere-se a substituição do uso das cartas bioclimáticas pelo uso das recomendações de projeto descritas na NBR 15.220.	Utilizar software ZBBR - http://www.labee.ufsc.br/downloads/softwares/zbbbr . Caso não encontre a cidade, trabalhar com proximidade de dados climáticos (altitude, presença de vegetação e massas d'água, topografia) e não com proximidade geográfica.
7	<input type="checkbox"/> Carta Solar	Item 2	Identificar no terreno do projeto a trajetória aparente do sol na abóbada celeste. Indispensável para o projeto de dispositivos de proteção solar. A análise da carta solar pode ser associada às informações de temperatura e radiação solar, visando definir de forma mais específica, a necessidade ou não de sombreamento	Carta Solar em dwg de 49 diferentes latitudes - FAU/USP - http://www.usp.br/fau/pesquisa/lab_nuc/labaut/conforto/index.html Carta solar online para qualquer latitude - Universidade de Oregon - http://solardat.uoregon.edu/PolarSunChartProgram.html Ref.: FROTA, Anesia B. SCHIFFER, Sueli R. Manual de Conforto Térmico. São Paulo: Studio Nobel, 2001

Fonte: Elaborado pelo autor, 2014.

Quadro 15 – Planilha Orientativa – Estratégias

Estratégia	Pré-requisito	Variáveis	Observações/Dicas
1 <input type="checkbox"/> Variáveis arquitetônicas		a) Orientação b) Forma c) Função d) Aberturas e) Envoltória	a) influencia no ganho térmico, ventilação, iluminação b) influencia na quantidade de calor, luz e ventilação recebida c) repercute diretamente na eficiência energética d) influencia na ventilação, iluminação e ganho térmico e) determina o desempenho térmico da edificação
2 <input type="checkbox"/> Materiais / Controle das Trocas Térmicas		Escolha da cor / Forma da edificação / Massa térmica • Parede*: Leve / Leve Refletores / Pesada • Cobertura*: Leve Isolada / Refletores / Pesada	*Ver quadro 10, pág. 56. Vedações opacas: observar absorvidade, condutividade, transmitância e inércia térmica. Vedações transparentes: observar transmissividade do vidro.
3 <input type="checkbox"/> Resfriamento Passivo	Zoneamento Bioclimático, Carta solar e Ventos dominantes	• Resfriamento Evaporativo por umidificação • Resfriamento Evaporativo por vegetação • Massa térmica para resfriamento • Teto-jardim • Fachadas ventiladas • Ventilação (ver item 5)	Não utilizar resfriamento evaporativo em locais de clima quente e úmido.
4 <input type="checkbox"/> Aquecimento Passivo		• Incidência direta de radiação: forma, orientação da fachada, superfícies envidraçadas e cor externa escura (alta absorvância) • Parede externa de acumulação - Parede trombe • Vedações Internas Pesadas (alta inércia térmica).	O aquecimento passivo é necessário somente nas ZB1, ZB2, ZB3 e ZB4.
5 <input type="checkbox"/> Ventilação Natural		• Aberturas: médias, pequenas ou grandes* • Ventilação cruzada • Efeito chaminé • Galerias subterrâneas para captação dos ventos • Forros basculantes • Peitoril ventilado • Redutores de velocidade	Essencial para controle da temperatura e umidade do ar. Concordar a forma e orientação do edifício com a direção dos ventos dominantes: direcionar fluxos de ar. A ventilação natural pode ser dimensionada por meio de modelos físicos, modelos empíricos ou modelos numéricos computacionais. *Em função da ZB: ver quadro 13, pág. 60.
6 <input type="checkbox"/> Sombreamento		Controle da radiação solar direta e consequente acúmulo de calor. • uso de vegetação • muxarabis ou gelosias • cobogós • persianas externas • brises-soleil / dispositivos de proteção solar • prateleiras de luz • átrio	O uso da Carta Solar deve guiar a orientação das aberturas e o projeto dos dispositivos de sombreamento. Os brises, apesar de reduzir a radiação solar na edificação, precisam ser bem dimensionados para não comprometer a disponibilidade de luz natural no ambiente interno.
7 <input type="checkbox"/> Iluminação Natural		• duto com espelhos • persiana flexível • telhado com shed • clarabóia • pátio interno	Usar estratégias de arquitetura que possibilitem que a luz natural alcance espaços internos de forma indireta, evitando o ganho de calor. O uso da Carta Solar deve guiar a orientação das aberturas.

Refs.: BROWN, G. Z. e DEKAY, M. Sol, Vento e Luz: Estratégias para o projeto de Arquitetura. Porto Alegre: Bookman, 2004. 2ª. Edição.

GIVONI, Baruch. Climate Considerations in Building and Urban Design. New York: John Wiley & Sons, 1998.

LECHNER, Norbert. Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects. NY, John Wiley & Sons, 1991.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2014.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho abordou a relação entre sustentabilidade e arquitetura, com o objetivo principal de propor algumas recomendações de projeto ou pontos de partida que possam ser ferramenta de auxílio aos arquitetos no desenvolvimento de uma arquitetura mais sustentável.

O panorama atual do desenvolvimento sustentável e da necessidade de redução do consumo de recursos retoma a importância da arquitetura bioclimática, por ser uma prática que considera nas premissas fundamentais do projeto, soluções que favoreçam principalmente o conforto ambiental e o baixo consumo de energia. Desta forma, foram apresentadas recomendações iniciais e estratégias passivas de projeto a serem incorporadas na concepção do projeto, baseadas principalmente na norma de Desempenho Térmico associadas à Carta Bioclimática de Givoni e Tabelas de Mahoney. Nesse sentido, foi desenvolvida uma planilha de orientação que permite o conhecimento da ampla possibilidade de estratégias passivas que podem ser incorporadas na concepção dos projetos, e ainda funciona como diretriz e *check-list*. A planilha reúne os três primeiros passos, primordiais ao desenvolvimento de um projeto bioclimático:

- 1) Análise climática (características gerais do terreno, trajetória aparente do sol e características dos ventos);
- 2) Identificação da Zona Bioclimática e estratégias recomendadas;
- 3) Análise da Carta Solar;

Baseado nesses três passos essenciais, os arquitetos poderão trabalhar nos seus projetos, estratégias passivas de uma arquitetura responsiva ao clima, que favorecerão o conforto do usuário bem como a eficiência energética na edificação.

Entretanto, a aplicação dos conceitos de sustentabilidade no desenvolvimento de um novo projeto envolve a mudança de atitude entre todos os envolvidos, sejam os projetistas, incorporadores, construtores e até usuários. A aplicação das premissas da arquitetura bioclimática deve voltar a ser considerada como requisito básico para, a partir daí, possibilitar o emprego das demais diretrizes de sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edifícios Habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

ASBEA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA. Grupo de Trabalho de Sustentabilidade. **Recomendações básicas de sustentabilidade para projetos de arquitetura**. São Paulo. Grupo de Trabalho de Sustentabilidade, 2007. Disponível em: <http://www.cbcs.org.br/comitestematicos/projeto/artigos/recomendacoes_basicas-asbea.php?>. Acesso em: 07 jun. 2014.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Instrução Normativa nº1, de 19 de janeiro de 2010**. Disponível em: <http://www.comprasnet.gov.br/legislacao/legislacaoDetalhe.asp?ctdCod=295>. Acesso em: 17 jan. 2014.

BROWN, G. Z. e DEKAY, Mark. **Sol, Vento e Luz: Estratégias para o projeto de Arquitetura**. Porto Alegre: Bookman, 2004. 2ª. Edição.

BRUNDTLAND, Gro Harlem. **Our common future: The World Commission on Environment and Development**. Oxford: Oxford University, 1987 *apud* GONCALVES, Joana C. Soares. DUARTE, Denise H. Silva. **Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino**. Revista on-line Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 51-81 out./dez. 2006.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Selo Casa Azul: Boas práticas para habitação mais sustentável**. São Paulo: Páginas & Letras, 2010.

CAVALCANTI, Cecília. MATOSKI, Adalberto. CATAI, Rodrigo Eduardo. **O conceito da sustentabilidade na prática da arquitetura.** In: Fórum Internacional de Arquitetura e Tecnologias para a Construção Sustentável, 2008, São Paulo. Eco Building. São Paulo: Associação Nacional de Arquitetura e Bioecologia, 2008.

CBIC (Câmara Brasileira da Indústria da Construção). **Desempenho de Edificações Habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma para ABNT NBR 15575/2013.** Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental.** Rio de Janeiro: Revan, 2003

DEGANI, Clarice Menezes. CARDOSO, Francisco Ferreira. **A sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de edifícios: a importância da etapa de projeto arquitetônico.** In: NUTAU 2002 – Sustentabilidade, Arquitetura e Desenho Urbano. Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 7 a 11 de outubro de 2002.

FABRICIO, Márcio Minto. **Projeto Simultâneo na Construção de Edifícios.** Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002 *apud* LIU, Ana Wansul. OLIVEIRA, Luciana Alves. MELHADO, Silvio Burrattino. **A gestão do processo de projeto em arquitetura.** In: **O processo de Projeto em Arquitetura: da teoria à tecnologia.** Organização: KOWALTOWSKI, Doris Catharine Cornelie Knatz. MOREIRA, Daniel de Carvalho. PETRECHE, João Roberto Diego. FABRÍCIO, Márcio Minto. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Referencial Técnico de Certificação: Edifícios Habitacionais.** Versão 2. São Paulo: Fundação Vanzolini, 2013.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Referencial Técnico de Certificação: Edifícios do setor de serviços – Processo AQUA.** Versão 0. São Paulo: Fundação Vanzolini, 2007.

GIVONI, Baruch. **Climate Considerations in Building and Urban Design**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

GODOI, Bruna Canela de Santos. **Requisitos de sustentabilidade para desenvolvimento de projetos residenciais multifamiliares em São Paulo**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

GONCALVES, Joana Carla Soares. DUARTE, Denise Helena Silva. **Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino**. Revista on-line Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 51-81 out./dez. 2006.

GRAÇA, Valéria Azzi Collet da. KOWALTOWSKI, Doris Catharine Cornelie Knatz. PETRECHE, João Roberto Diego. **O processo axiomático. In: O processo de Projeto em Arquitetura: da teoria à tecnologia**. Organização: KOWALTOWSKI, Doris Catharine Cornelie Knatz. MOREIRA, Daniel de Carvalho. PETRECHE, João Roberto Diego. FABRÍCIO, Márcio Minto. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

LAMBERTS, Roberto. DUTRA, Luciano. PEREIRA, Fernando. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW, 1997.

LAMBERTS, Roberto. TRIANA, Maria Andrea. FOSSATI, Michele. BATISTA, Juliana Oliveira. **Sustentabilidade nas Edificações: contexto internacional e algumas referências brasileiras na área**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2008.

LEED for New Construction and major renovations rating system. Reference guide. Washington: USGBC, 2009 Disponível em: gbcbrasil.org.br/?p=leed-new-construction. Acesso em: 10/01/2014.

LEED Core and Shell. Reference guide. Washington: USGBC, 2009 Disponível em: gbcbrasil.org.br/?p=leed-new-construction. Acesso em: 10/01/2014.

LIU, Ana Wansul. OLIVEIRA, Luciana Alves. MELHADO, Silvio Burrattino. **A gestão do processo de projeto em arquitetura. In: O processo de Projeto em Arquitetura: da teoria à tecnologia.** Organização: KOWALTOWSKI, Doris Catharine Cornelie Knatz. MOREIRA, Daniel de Carvalho. PETRECHE, João Roberto Diego. FABRÍCIO, Márcio Minto. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

MACIEL, Alexandra Albuquerque. **Integração de Conceitos Bioclimáticos ao Projeto Arquitetônico.** Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável: **Manual de Obras Públicas Sustentáveis.** Belo Horizonte, 2008.

Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. Portaria n°. 372: **aprova a revisão dos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).** 17 de setembro de 2010.

Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. Portaria n°. 449: **Regulamento Técnico da Qualidade-RTQ para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R).** 25 de novembro de 2010.

PRIZIBELA, Silvio Cezar Carvalho. **Aplicação de princípios de sustentabilidade em empreendimentos de grande porte: posicionamentos dos arquitetos.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

SILVA, Vanessa Gomes. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica.** Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo. 2003 *apud* LAMBERTS, Roberto. TRIANA, Maria Andrea. FOSSATI, Michele. BATISTA, Juliana Oliveira. **Sustentabilidade nas**

Edificações: contexto internacional e algumas referências brasileiras na área.

Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2008.

SOUZA, Roberta Vieira Gonçalves de; VELOSO, Ana Carolina de Oliveira; MATTOS, Thalita Reis de. **Proteção Solar Em Edificações - Desenvolvimento de Metodologia para bonificação no RTQ-R.** In: SB10 - Sustainable Building 2010, 2010, São Paulo. Anais do SB10 Brazil - Sustainable Building Brazil. São Paulo: CBCS, 2010.

SUH, Nam Pyo. **The Principles of design.** New York: Oxford University Press, 1990 *apud* GRAÇA, Valéria Azzi Collet da. KOWALTOWSKI, Doris Catharine Cornélie Knatz. PETRECHE, João Roberto Diego. **O processo axiomático. In: O processo de Projeto em Arquitetura: da teoria à tecnologia.** Organização: KOWALTOWSKI, Doris Catharine Cornélie Knatz. MOREIRA, Daniel de Carvalho. PETRECHE, João Roberto Diego. FABRÍCIO, Márcio Minto. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

VIGGIANO, Mário Hermes Stanziona. **Edifícios Públicos Sustentáveis.** Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edificações Técnicas, 2010.

VITRUVIO. Marco Lucio. 1982. **Los diez libros de arquitectura.** Editora Iberia S.A. Barcelona *apud* LAMBERTS, Roberto. DUTRA, Luciano. PEREIRA, Fernando. **Eficiência Energética na Arquitetura.** São Paulo: PW, 1997.