**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENERGIA
EP-FEA-IEE-IF**

MARIA INÊS TAVARES DE MATOS TEODORO

**O CÓDIGO DE OBRAS COMO INSTRUMENTO REGULATÓRIO DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS:
PROPOSIÇÕES PARA O MUNICÍPIO DE SÃO PAULO**

**SÃO PAULO
2012**

MARIA INÊS TAVARES DE MATOS TEODORO

O CÓDIGO DE OBRAS COMO INSTRUMENTO REGULATÓRIO DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS: PROPOSIÇÕES PARA O
MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Escola Politécnica / Faculdade de Economia e Administração / Instituto de Eletrotécnica de Energia / Instituto de Física) para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. José Goldemberg

Versão Corrigida

(Versão original disponível na Biblioteca da Unidade que aloja o Programa e na Biblioteca de Teses e Dissertações da USP)

SÃO PAULO
2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Matos, Maria Inês.

O Código de Obras como Instrumento Regulatório de Eficiência Energética em Edificações Residenciais: proposições para o Município de São Paulo / Maria Inês Matos; orientador José Goldemberg . – São Paulo, 2012.

275 f.: il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Energia) – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo.

1. Eficiência energética – regulação 2. Edificações 3. Políticas públicas 4. Edifícios residenciais I. Título

FOLHA DE APROVAÇÃO

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, minha fonte de inspiração e de incentivo. Um agradecimento muito especial ao Pedro pela paciência demonstrada ao longo da realização do trabalho e pelos constantes comentários, críticas e incentivos.

Agradeço ao meu orientador Prof. José Goldemberg pelas conversas inspiradoras e por ter acreditado nas minhas capacidades, proporcionando-me a oportunidade de realizar este trabalho.

Agradeço à Prof^ª Virgínia Parente pelas discussões, contribuições, conhecimentos transmitidos e constante incentivo.

Agradeço também aos meus colegas de Pós-Graduação, em particular à Paula Makarun e à Viviane Romeiro, pela convivência e companheirismo que enriqueceram a minha experiência no IEE/USP.

Agradeço ainda ao Prof. Wagner Andreasi, coordenador do LADE/UFMS, pelo incentivo e compreensão, e à Michele Giongo, colega no LADE/UFMS, pelo companheirismo.

Agradeço a todos os que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

“O começo de todas as ciências é o espanto de as coisas serem o que são.”

Aristóteles

RESUMO

MATOS, Maria Inês. **O Código de Obras como Instrumento Regulatório de Eficiência Energética em Edificações Residenciais: Proposições para o Município de São Paulo**. 275f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

A conjuntura nacional de crescimento econômico e populacional aliada aos programas habitacionais de combate ao déficit de moradias deixa antever o contínuo aumento da demanda energética no setor residencial, que deve ser alvo de políticas públicas de promoção de eficiência energética. O objetivo da presente dissertação é investigar o potencial do Código de Obras e Edificações (COE) do Município de São Paulo enquanto instrumento regulatório de promoção de eficiência energética e apresentar sugestões com vista à revisão do atual documento. Para tal dividiu-se a pesquisa em três temas: fatores que explicam o consumo energético (direto e indireto) das edificações e estratégias de minimização desse consumo; caracterização dos códigos de eficiência energética em edificações (CEEE), com destaque para o Código de Obras, e panorama internacional e brasileiro relativamente à sua adoção; caracterização do consumo energético do Município de São Paulo e análise dos requisitos de eficiência energética no atual COE. Atendendo à elevada taxa de novas construções e ao estoque de edifícios obsoletos com potencial de *retrofitting* defende-se que o Código de Obras, pela sua abrangência e obrigatoriedade, constitui um instrumento regulatório adequado à promoção da eficiência energética no setor de edificações no Município de São Paulo e sugere-se a revisão do atual COE com vista à introdução de requisitos de eficiência energética. Entre as sugestões apresentadas contam-se a segmentação das medidas dirigidas às moradias de interesse social e às chamadas edificações de mercado, definição de limites máximos para o valor de transmitância térmica dos elementos opacos da envoltória (paredes e cobertura) em ambientes condicionados e não condicionados e a exigência de um nível mínimo de eficiência energética para edificações e equipamentos instalados. Como contribuição da presente pesquisa cabe ainda destacar o cálculo da intensidade energética por unidade de área construída nos setores residencial e comercial no Município de São Paulo, indicador em falta na literatura e dados oficiais publicados.

Palavras Chave: Eficiência Energética. Edificações. Setor Residencial. Políticas Públicas. Regulação. Código de Eficiência Energética. Código de Obras.

ABSTRACT

MATOS, Maria Inês. **The Building Code as a Energy Efficiency Regulatory Instrument in Residential Buildings: Propositions to São Paulo Municipality**. 275f. Master's Dissertation, Graduate Program on Energy, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

The national economic and population growth in association with the housing programs to combat housing deficit are expected to result in future increase of energy demand in the residential sector. Considering the already high contribution of the building sector in the electricity consumption of Brazil, the development of policy measures aiming to promote energy efficiency in the sector should be encouraged. The main objective of this research is to investigate the potential of the Building Code (BC) of São Paulo municipality as a regulatory instrument to promote energy efficiency and make suggestions to revise it. To this end, the paper is divided in three parts: factors that explain the energy consumption (direct and indirect) of buildings and strategies to minimize it; characterization of Building Energy Efficiency Codes (BEEC) and the Brazilian and international panorama regarding its adoption; energy consumption of São Paulo municipality and analysis of energy efficiency requirements in the current BC. As a mandatory and comprehensive regulatory instrument, Building Codes are adequate to promote energy efficiency given the local reality of high annual rates of construction and the significant stock of old buildings which could benefit from retrofitting. Suggestions to a revision process of the BC of São Paulo Municipality include segmentation of energy efficient requirements according to social economic profile of buildings, definition of overall heat transfer coefficient values (U-factor) for building envelope components (walls and roof) of conditioned and non-conditioned areas, and definition of minimum energy efficiency levels for buildings and equipments. Additional contribution of this research includes estimation of electricity use per square meter of building floor area, for the residential and commercial sectors in São Paulo municipality.

Keywords: Energy Efficiency. Buildings. Residential Sector. Public Policies. Building Code. Regulation. Energy Efficiency Code.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução do consumo de energia elétrica total e do setor residencial no Brasil.....	19
Figura 2 – Evolução do consumo de energia elétrica total e do setor residencial no Município de São Paulo.....	19
Figura 3 – Perfil setorial do consumo de energia elétrica no Brasil em 2010	20
Figura 4 – Fases do Ciclo de Vida de uma Edificação	30
Figura 5 - Consumo energético de dois apartamentos: um construído segundo padrões tradicionais e outro com pretensões de ser energeticamente eficiente no que respeita ao consumo de energia operacional.	30
Figura 6 – Solicitações ambientais da envolvente de uma edificação	42
Figura 7 – Carta Bioclimática	51
Figura 8 – Diagrama da trajetória do sol	53
Figura 9 - Estratégias para obter conforto em períodos frios	55
Figura 10 - Estratégias para obter conforto em períodos quentes	55
Figura 11 – Fontes de luz num ponto do plano de trabalho.....	64
Figura 12 – Carga Térmica de Aquecimento.....	68
Figura 13 – Carga Térmica de Arrefecimento	68
Figura 14 – Perfil de Energia Embutida num m ² de edificação em Espanha	77
Figura 15 - Consumo Energético em unidades residenciais unifamiliares na Dinamarca relativamente às exigências contidas no Código de Obras	113
Figura 16 – Estado de adoção e escopo de CEEE em 57 países.....	119
Figura 17 – Estado de adoção e escopo de CEEE em 81 países.....	121
Figura 18 – Municípios brasileiros com Código de Obras	196
Figura 19 – Famílias Residentes em domicílios articulares, por classe de rendimento nominal mensal familiar <i>per capita</i>	204
Figura 20 – Perfil Setorial do Consumo de Energia Primária do Estado de São Paulo 2010	207
Figura 21 - Consumo final de energia elétrica no Estado de São Paulo em 2010	208
Figura 22: Consumo Final de eletricidade em 2010.....	208
Figura 23 – Perfil do Consumo Residencial por fonte energética no Estado de São Paulo 2010.	209
Figura 24 – Taxa de Crescimento Anual do Consumo Energia Elétrica 2001-2010.....	210
Figura 25– Evolução da Taxa de Crescimento da Intensidade Energética (energia elétrica) <i>per capita</i> no Brasil	211
Figura 26– Evolução da Taxa de Crescimento da Intensidade Energética (energia elétrica) <i>per capita</i> no Estado de São Paulo	212
Figura 27 – Evolução da Taxa de Crescimento da Intensidade Energética (energia elétrica) <i>per capita</i> no Município de São Paulo	212
Figura 28 – Energia Embutida por partes da Edificação	215

Figura 29 – Matriz de Transportes Brasileira	217
Figura 30 – Participação dos Modais na Matriz de Transportes de Carga do Estado de São Paulo em 2000.....	217
Figura 31 - Venda de Edifícios Residenciais Novos na Cidade de São Paulo	221
Figura 32 - Evolução do Numero de domicílios com aparelhos eletrodomésticos	221
Figura 33 - Evolução da área construída no setor residencial	222
Figura 34 – Evolução do indicador de intensidade energética por unidade de área construída nos setores residencial e comercial do Município de São Paulo	245

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valor Energia Embutida em Edificações em alguns países	28
Tabela 2 – Objetivos a serem considerados por projetistas na concepção de edificações energeticamente eficientes	34
Tabela 3 – Valor da Transmitância Térmica de algumas soluções construtivas	45
Tabela 4 - Potenciais de aproveitamento do vento em função da rugosidade do local	57
Tabela 5 - Contribuição de cada elemento do projeto na carga térmica.....	69
Tabela 6 – Parâmetros de conforto em ambientes condicionado NBR 16402-2.....	70
Tabela 7 - Participação da Energia nos custos de produção industrial.....	78
Tabela 8 – Energia Embutida em materiais de construção comuns	81
Tabela 9 – Aberturas para Ventilação	188
Tabela 10 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa.....	189
Tabela 11 – Limites dos níveis de desempenho para condições de Inverno em função da zona bioclimática	193
Tabela 12 – Limites dos níveis de desempenho para condições de Verão em função da zona bioclimática	193
Tabela 13 – Transmitância térmica de paredes externas	194
Tabela 14 – Capacidade Térmica de paredes externas	194
Tabela 15 – Critérios de Coberturas quanto à transmitância térmica	194
Tabela 16 – Características Climáticas do Município de São Paulo	202
Tabela 17 - Perfil do Consumo de Energia Elétrica por Usos Finais	213
Tabela 18 – Valor de Energia Embutida nas Edificações Brasileiras.....	214
Tabela 19 – Participação de Materiais de Construção no valor de Energia Embutida numa Edificação	216
Tabela 20 – Indicadores de Perdas por serviço	219
Tabela 21 – Resultados da análise de casos de estudo	234
Tabela 22 – Propriedades térmicas exigidas às paredes externas nos CEEE analisados.....	238
Tabela 23 – Propriedades térmicas exigidas às coberturas nos CEEE analisados.....	239
Tabela 24 – Propriedades térmicas exigidas às janelas verticais nos CEEE analisados.....	241
Tabela 25 – Estimativa do impacto do Plano Municipal no consumo energético do	244
Município de São Paulo.....	244
Tabela 26 – Exigências de Transmitância Térmicas sugeridas para moradias de interesse social no Município de São Paulo	248
Tabela 27 – Exigências de Transmitância Térmicas sugeridas para Edificações de Mercado no Município de São Paulo	248
Tabela 26 – Exigências de Transmitância Térmicas sugeridas para moradias de interesse social no Município de São Paulo	256
Tabela 28 – Temperaturas características do Clima de São Paulo	274

Tabela 29 – Necessidades de Aquecimento e Resfriamento do Município de São Paulo avaliadas em Graus-Dia (HDD e CDD).....	274
Tabela 30 - Semelhanças climáticas dos países estudados face ao Município de São Paulo	275

LISTA DE SIGLAS

ABCB – Australian Building Code Board

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica

ACV – Avaliação de Ciclo de Vida

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning

ASBEA – Associação Brasileira de Escritórios de Arquitetura

BCA – Building Code of Australia

BEE – Bureau of Energy Efficiency

BEN – Balanço Energético Nacional

CABR – Chinese Academy of Building Research

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção

CCREUB – Critérios para Clientes de Racionalização de Energia em Edifícios

CCREUH – Critérios para Clientes de Racionalização de Energia em Residências

CEEE – Código de Eficiência Energética em Edificações

CEN – Comitê Europeu de Estandarização

CEV – Código de Edificación de Vivienda

CGIEE – Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética

CICE – Comissão Interna de Conservação de Energia

COE – Código de Obras e Edificações

CONAVI – Comissão Nacional de Habitação

CONPET – Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural

DCGREUH – Orientações de Projeto para Racionalização do Uso de Energia em Residências

DOE – Department of Energy

ECBC – Energy Conservation Building Code

ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

EPA – United States Environmental Protection Agency

EPF – Fator de Desempenho da Envoltória

EUA – Estados Unidos da América

GEE – Gases de Efeito de Estufa

HVAC – Heating, Ventilating and Air Conditioning

IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal

ICC – International Code Council

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

IIEC – International Institute for Energy Conservation

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IRAM – Instituto Argentino de Normalização

IRC – International Residential Code

ISO – International Standards Organization

LCA – Life Cycle Assessment

LEED – Leadership in Energy and Environmental Design

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

MEC – Model Energy Code

MINVU – Ministério de Vivienda e Urbanismo

MME – Ministério de Minas e Energia

MOHURD – Ministry of Housing and Urban and Rural Development

NatHERS – National Wide House Energy Rating Scheme

NBC – National Building Code

NCC – National Construction Code

NMX – Normas Mexicanas

NOM – Normas Oficiales Mexicanas

OCATEM – Ordenanza sobre Calidad Térmica de Edificaciones en Municipio Maracaibo

OCDE – Organização de Comércio e Desenvolvimento Econômico

OGUC – Ordenanza General de Urbanismos e Construcciones

OIA – Organismos de Inspeção Acreditado

OMPU – Oficina Municipal de Planificacion Urbana

OPEC – Organization of the Petroleum Exporting Countries

OTTV – Overall Transfer Thermal Value

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

PCA – Plumbing Code of Australia

PIB – Produto Interno Bruto

PIT – Programa de Inovação Tecnológica

PNASE – Programa Nacional para o aproveitamento Sustentável de Energia

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PRONUREE – Programa Nacional de Uso Racional e Eficiente de Energia

RAC-C - Requisitos de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

RAC-R - Requisitos de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

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 Edificações Residenciais

SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados

UE – União Europeia

UH – Unidade Habitacional

USAID – United States Agency for International Development

USGBC – United States Green Building Council

VTTG – Valor de Transmitância Térmica Global

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	18
1.1 Justificativa do Tema.....	18
1.2. Objetivos Principal e Secundários.....	21
1.3. Questão Central	22
1.4 Hipótese.....	22
1.5 Metodologia	22
1.6 Estrutura Capítular	24
2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES	25
2.1 O Consumo Energético em Edificações: Perspectiva de ciclo de vida	25
2.1.1 Consumo Direto	25
2.1.2 Consumo Indireto	27
2.1.3 Ciclo de Vida das Edificações.....	29
2.2 Edificações Energeticamente Eficientes.....	31
2.2.1. Estratégias de Redução do Consumo Direto	33
2.2.1.1 Minimizar as necessidades energéticas para condicionamento de ar e iluminação: a Arquitetura Bioclimática	34
2.2.1.2 Atender a carga térmica com sistemas prediais eficientes (condicionamento ambiental, iluminação e sistemas de aquecimento de água)	67
2.2.1.3 Instalar sistemas prediais de produção de energia renováveis que atendam às necessidades energéticas do edifício;	73
2.2.2 Estratégias de Redução do Consumo Indireto.....	75
2.3 Mercado de Eficiência Energética em Edificações	87
2.3.1 Barreiras ao Desenvolvimento de um Mercado de Eficiência Energética dos Edifícios	87
2.3.2. Políticas Públicas de promoção da eficiência energética em edificações	90
3. REGULAÇÃO ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES: O CÓDIGO DE OBRAS.....	92
3.1. Instrumentos regulatórios	92
3.1.1 O desenvolvimento de CEEE.....	96
3.2 O Código de Obras	111
3.3 Panorama Mundial da regulação energética em Edificações	115
3.3.1 Cenário mundial quanto à adoção de CEEE	116
3.3.1.1 Europa	122
3.3.1.2 América do Norte	128
3.3.1.3 Ásia e Oceania	136
3.3.1.4 África	154

3.3.1.5. América Latina	154
3.4 Eficiência Energética em Edificações no Brasil	172
3.4.1 Histórico da Eficiência Energética no Brasil	173
3.4.2 Instrumentos regulatórios e Programas Vigentes de promoção de eficiência energética	177
3.4.3 Outros instrumentos regulatórios do setor de edificações.....	195
4. MUNICIPIO DE SÃO PAULO	200
4.1 O Município.....	200
4.2 O consumo energético no setor de edificações.....	205
4.2.1 Setor de edificações.....	205
4.2.2 Consumo Energético Atual	206
4.2.3 Tendências futuras.....	220
4.3 O Código de Obras e Edificações: requisitos de eficiência energética	224
5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	229
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	253
REFERÊNCIAS.....	259
GLOSSÁRIO.....	271
APÊNDICE A – Metodologia de seleção de dados dos casos de estudo	274

1 INTRODUÇÃO

Neste primeiro capítulo, de natureza introdutória, são apresentados a justificativa e a relevância do tema escolhido, os objetivos principal e secundários a que se propõe a presente pesquisa, a questão central e hipótese que se pretende testar e por fim a metodologia escolhida e estrutura capitular para a concretização da pesquisa.

1.1 Justificativa do Tema

As construções induzem vários tipos de impacto ambiental pelo uso de materiais, geração de resíduos e mudança permanente no uso do solo (GOLDEMBERG; LUCON, 2008). Em particular no que diz respeito ao consumo de recursos energéticos, os edifícios destacam-se como grandes consumidores, tanto de fontes primárias de energia (como o gás natural) como de fontes secundárias (como a energia elétrica). Com efeito, em 2008 os edifícios (residenciais e comerciais) foram responsáveis por 32,2% do consumo mundial de fontes primárias de energia e por 50,8% do consumo de energia elétrica (IEA, 2011). Já no Brasil, segundo dados de 2010, a participação das edificações no consumo de energia primária e de energia elétrica foi de 15,1% e 46,9% respectivamente (EPE, 2011).

O Brasil, como parte dos chamados países emergentes, atravessa nessa primeira década do século XXI um período de expressivo crescimento econômico e melhoria de vida da sua população, que vem sendo acompanhado de um contínuo aumento da demanda por energia. De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) relativo aos anos de 2009 e 2010 (EPE, 2010; EPE 2011), a taxa de crescimento do consumo final de energia primária entre os anos 2000 a 2010, situou-se nos 3,6% ao ano. Quando considerados apenas os últimos cinco anos da referida década (2005 a 2010) o crescimento foi ainda mais expressivo atingindo uma taxa de 4,2% ao ano. A análise de dados apenas para o consumo de energia elétrica confirma a tendência de crescimento. Conforme se observa nos gráficos das figuras 1 e 2, onde se apresenta a evolução do consumo de energia elétrica total e do setor residencial, na última década (2001-2010) para o Brasil e Município de São Paulo, o consumo energético tem vindo a aumentar a um ritmo expressivo. Cabe destacar que relativamente ao setor

residencial, as taxas de crescimento anual para o Brasil e Município de São Paulo situaram-se em 4,4% e 4,2% respectivamente, para período em estudo, valores iguais ou superiores ao valor de crescimento de consumo de energia elétrica total (4,4% e 2,8%).

Figura 1 – Evolução do consumo de energia elétrica total e do setor residencial no Brasil

Fonte: Elaborado a partir de EPE, 2011

Figura 2 – Evolução do consumo de energia elétrica total e do setor residencial no Município de São Paulo

Fonte: Elaborado a partir de SEADE, 2011

Neste contexto, seja no Brasil ou no mundo como um todo, verifica-se que a sustentabilidade do atual paradigma de desenvolvimento depende cada vez mais da capacidade de conceber sistemas energéticos capazes de, por um lado, atender à crescente demanda por serviços energéticos por parte das populações e, por outro lado, minimizar os impactos ambientais adversos e os pesados investimentos tradicionalmente associados à

expansão da oferta de energia. Conforme ressaltam autores como Goldemberg e Lucon (2008), apesar de uma aparente relação direta entre desenvolvimento econômico e consumo de energia, esses parâmetros não estão ligados de forma indissolúvel, e existem caminhos alternativos para o desenvolvimento da sociedade sem um aumento correspondente de energia através do *leapfrogging*. Nesse sentido, a melhoria dos níveis de eficiência energética nos diferentes setores da sociedade, com consequente conservação de energia, pode dar um contributo valioso para um desenvolvimento mais sustentável, permitindo que países como o Brasil cresçam com menor pressão sobre a oferta energética.

De acordo com dados apresentados na figura 3, relativos ao perfil de consumo setorial de energia elétrica no Brasil em 2010, as edificações, quando considerados os setores residencial e comercial, são o setor que apresenta o maior consumo com uma participação de 46,9%, à frente do setor industrial com 44,2%. Dada o elevado peso dos edifícios, em particular dos residenciais, no consumo de energia elétrico no Brasil (23,8% conforme apresentado na figura 3), e à semelhança do que vem acontecendo a nível mundial, em especial a partir das crises energéticas da década de 70, o setor residencial deverá ser alvo de políticas públicas capazes de promover a melhoria de eficiência energética e reduzir seu elevado consumo.

Figura 3 – Perfil setorial do consumo de energia elétrica no Brasil em 2010

Fonte: Elaborado a partir de EPE, 2011.

Com base Eletrobras (2010), o potencial técnico de economia de energia no Brasil em edificações existentes é estimado em 25%, enquanto que em prédios novos pode alcançar até 50%, ou seja, quando se considera a eficiência energética nas edificações desde a fase de projeto. Uma vez que só o município de São Paulo contribui com um percentual de 10,3% do consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro, considera-se que a melhoria da

eficiência energética nas suas edificações residenciais poderá constituir um contributo importante para a redução do consumo energético nacional. Neste contexto, a presente pesquisa investigou o potencial do Código de Obras do Município de São Paulo como instrumento regulatório de promoção de eficiência energética.

1.2. Objetivos Principal e Secundários

A presente pesquisa tem como *objetivo principal* determinar a adequação do Código de Obras do Município de São Paulo enquanto instrumento regulatório de melhoria de eficiência energética em edificações e sugerir diretrizes para a implementação de requisitos de eficiência energética no referido documento, com foco no setor residencial.

Adicionalmente foram estabelecidos os seguintes *objetivos secundários*, necessários para a execução do objetivo principal:

- Listar os fatores explicativos do consumo energético nas edificações e identificar estratégias construtivas adequadas à minimização do seu consumo energético;
- Fazer um levantamento de Políticas Públicas voltadas à promoção de um mercado de eficiência energética no setor de edificações e caracterizar o Código de Obras enquanto instrumento regulatório de melhoria de eficiência energética;
- Identificar etapas do processo de desenvolvimento e implementação de Códigos de Eficiência Energética em Edificações;
- Apresentar um panorama internacional relativamente à adoção de Códigos de Eficiência Energética para Edificações;
- Apresentar um panorama das políticas de eficiência energética no Brasil, com destaque para o marco regulatório do setor de edificações;
- Caracterizar o consumo energético do setor de edificações no Município de São Paulo e diagnosticar tendências que impactam na evolução do referido consumo;

1.3. Questão Central

Atendendo ao contexto apresentado, a presente dissertação procura responder à seguinte questão central:

É vantajoso utilizar o Código de Obras como ferramenta de política pública voltada a uma maior eficiência energética no setor das edificações no município de São Paulo?

1.4 Hipótese

Para responder à questão definida, elaborou-se a seguinte hipótese, investigada ao longo desta dissertação:

O Código de Obras é uma ferramenta com potencial na promoção da melhoria da eficiência energética no setor residencial do município de São Paulo.

1.5 Metodologia

A presente pesquisa pode classificar-se como aplicada já que objetiva a solução de um problema específico, em particular a minimização do consumo de energia no setor de edificações residenciais do Município de São Paulo, através da inclusão de requisitos de eficiência energética no Código de Obras Municipal. A abordagem adotada é do tipo qualitativa e os seus objetivos são exploratórios.

De forma a atender aos diversos objetivos, foram empregues várias metodologias e instrumentos de coleta de dados. O estudo dos fatores explicativos do consumo energético em edificações e levantamento de estratégias adequadas à minimização desse consumo baseou-se na revisão da literatura relevante. A revisão da literatura foi também empregue como metodologia base para o levantamento de Políticas Públicas voltadas ao aprimoramento da eficiência energética em edificações, com foco no processo de desenvolvimento e implementação de padrões energéticos para edificações e vantagens e desvantagens da sua

inclusão no Código de Obras. Da revisão efetuada resultou o embasamento teórico necessário à compreensão e aprofundamento do tema.

Para elaboração do panorama internacional relativamente à adoção de Códigos de Eficiência Energética em Edificações efetuou-se a análise comparada de casos de estudo a partir de uma amostra de países selecionados. A escolha dos países estudados resultou de um conjunto de critérios, nomeadamente: a proximidade geográfica; nível de desenvolvimento; semelhanças climáticas; histórico no que diz respeito à regulação do consumo de energia em edificações. Juntam-se aos critérios apresentados, fatores limitantes da extensão da pesquisa tais como a disponibilidade de documentação sobre o tema (quer em formato de artigo quer através de sites, em particular sites governamentais dos Ministérios de Energia ou dos Ministérios de Habitação) nas línguas acessíveis à autora da dissertação (português, inglês e espanhol). Esta fase da pesquisa permitiu a identificação de padrões comuns e diferenças nos regulamentos analisados e a seleção de medidas com potencial de sucesso e adequação na promoção da eficiência energética no município de São Paulo.

Uma ultima fase da pesquisa focou o marco regulatório brasileiro e a caracterização do setor de edificações do Município de São Paulo. O histórico da eficiência energética no Brasil e descrição das principais políticas voltadas especificamente ao setor de edificações foram realizados a partir da análise de documentos. Já a caracterização do setor de edificações no Município de São Paulo, em particular no que diz respeito ao seu consumo energético, diagnóstico de tendência futuras e análise do Código de Obras e Edificações do Município de São Paulo, teve por base a análise de documentos, coleta e análise de dados e entrevistas. Os documentos e dados analisados foram obtidos juntos de diversas entidades (sitio eletrônico) da esfera governamental aos níveis federal, estadual e municipal, nomeadamente: Ministério de Minas e Energia (MME); Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE); Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); Secretaria de Energia e Secretaria de Habitação do Governo do Estado de São Paulo; Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE); Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO); Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e Prefeitura de São Paulo.

O embasamento teórico obtido relativamente ao consumo de energia no setor de edificações e ao desenvolvimento de padrões energéticos voltados à minimização desse consumo juntamente com a análise dos casos de estudo e a caracterização do setor de edificações do município de São Paulo permitiu a elaboração de uma lista de diretrizes e sugestões com vista à inclusão de requisitos de eficiência energética no Código de Obras

municipal, com foco no setor residencial.

1.6 Estrutura Capítular

A presente dissertação está dividida em 6 capítulos. O primeiro, de natureza introdutória apresenta a justificativa do tema, os objetivos principal e secundários a que se propõe o trabalho, a questão central e a hipótese testada ao longo do estudo efetuado, a metodologia aplicada para concretizar a pesquisa e a organização capitular dada ao trabalho.

No capítulo 2, dividido em três subseções, caracteriza-se o consumo energético de uma edificação ao longo do seu ciclo de vida, define-se o conceito de eficiência energética aplicado a edifícios e faz-se um levantamento de estratégias com vista à sua minimização, tanto do ponto de vista do consumo energético direto ou operacional como do consumo energético indireto.

Segue-se o capítulo 3 onde se apresentam os instrumentos regulatórios de promoção de eficiência energética em edificações com destaque para os Códigos de Eficiência Energética em Edificações (CEEE), suas características e processo de desenvolvimento, em particular quando incluídos no Código de Obras. Ainda no capítulo 3 é apresentado um panorama internacional quanto à adoção de CEEE e são descritos os principais instrumentos e programas vigentes no marco regulatório brasileiro de eficiência energética para edificações.

No capítulo 4 caracteriza-se o consumo energético no setor residencial do Município de São Paulo e diagnosticam-se tendências com impacto na sua evolução futura. Também neste capítulo analisam-se os requisitos de eficiência energética exigidos pelo atual Código de Obras e Edificações (COE) do Município de São Paulo.

A apresentação e discussão dos resultados encontram-se no capítulo 5, precedido do capítulo 6 onde se apresentam algumas considerações finais.

2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

O presente capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre eficiência energética em edifícios e aborda quatro tópicos principais: o consumo energético em edificações numa perspectiva de ciclo de vida, distinguindo consumo direto e consumo indireto; estratégias de redução de consumo energético em edificações; o mercado de eficiência energética no segmento das edificações; e, por fim, políticas públicas com potencial de promoção de eficiência energética em edifícios.

2.1 O Consumo Energético em Edificações: Perspectiva de ciclo de vida

As edificações têm como principal função abrigar o homem nas suas diversas atividades proporcionando conforto, segurança e satisfação. Durante o seu longo período de vida útil, tipicamente definido em 50 anos, as edificações são responsáveis por um consumo de energia que pode ocorrer de forma direta, quando resultante da operação e uso do edifício, e de forma indireta, que inclui o consumo energético atribuído a outros setores, mas que é fortemente influenciado por escolhas relacionadas com os edifícios, nomeadamente durante a sua construção.

2.1.1 Consumo Direto

O consumo direto numa edificação, também chamado de consumo operacional, está relacionado com a ocupação e função dos edifícios. Dentro desta definição cabem serviços energéticos como o condicionamento ambiental (aquecimento e resfriamento), iluminação e todos os tipos de aparelhos eletrônicos de uso doméstico, tais como geladeiras, aspiradores, ferro de passar, secador de cabelo, televisão e DVD, computadores, entre outros. A coleta de dados deste tipo de consumo é resultante dos valores publicado para o consumo energético dos setores Residencial, Comercial e Público, onde os gastos energéticos ocorrem

majoritariamente como consequência do uso dos edifícios. Desta forma, as fontes de dados são, em geral, os balanços energéticos dos países, estados ou municípios que apresentam detalhe do consumo final de energia por setor.

A demanda de serviços energéticos varia em função de um conjunto amplo de fatores nomeadamente a geografia, o clima, o tipo de edifício e a sua função (residencial ou comercial), seu design e localização, idade (se é novo ou antigo), se é privado ou público, se rural ou urbano, e até mesmo se alugado ou em uso pelo proprietário.

Relativamente ao setor residencial, outros tipos de fatores devem ser considerados, nomeadamente: características do agregado familiar, tais como dimensão e rendimento, e idade e nível de educação dos moradores. Segundo o estudo realizado por Lenzen et.al, (2006), onde é feita uma comparação multivariável das necessidades energéticas de agregados familiares em vários países (Austrália, Brasil, Dinamarca, Índia e Japão), conclui-se que o rendimento familiar é a variável com maior poder explicativo do seu consumo energético e que (com exceção do Brasil) a elasticidade-renda¹ da demanda familiar por energia é inferior a 1, o que significa que a energia é uma necessidade cujo peso no orçamento familiar decresce com o aumento do seu rendimento. Também no setor comercial distinguem-se outros fatores explicativos do seu consumo energético, em grande parte relacionadas com o tipo de atividade que nele ocorre (escritório, hotel, loja, supermercado, restaurante, escola, ou hospital).

Ainda no que diz respeito ao consumo direto, é importante destacar que apesar do consumo energético de um edifício depender fortemente da sua estrutura física e dos componentes arquitetónicos, é significativamente influenciado por outros fatores menos controláveis, tais como o uso pelos seus ocupantes, a operação e manutenção dos equipamentos e ainda variações climáticas (JANDA, 2008). O comportamento dos usuários, em particular, é um fator difícil de padronizar e que pode explicar que duas edificações com as mesmas características apresentem valores de consumo de energia muito diferentes. Uma parte substancial do enorme potencial de poupança em edifícios pode ser realizada através de estratégias não tecnológicas, que incluem o estilo de vida dos usuários. De acordo com WBSCD (2008), o comportamento dos usuários de um edifício pode ter um impacto no seu consumo energético comparável ao da eficiência energética dos equipamentos.

¹ Elasticidade renda da demanda – define-se como uma medida do quanto a quantidade demandada de um bem responde a uma variação na renda do consumidores, calculada como a variação percentual da quantidade demandada dividida pela variação percentual da renda (MANKIW, 2008).

2.1.2 Consumo Indireto

O consumo indireto de energia em edifícios inclui a energia gasta na produção e transporte dos materiais de construção, a energia consumida na próprio processo de construção do edifício, na manufatura dos equipamentos que nele operam e no fornecimento de água e infraestrutura sanitária, bem como as perdas de energia primária nos processos de conversão, transmissão e ou transporte da energia utilizada pelo edifício (URGE-VORSATZ, 2009). Harvey (2006) define Energia Embutida nas edificações como a quantidade de energia gasta na produção e transporte dos materiais de construção consumidos na construção do edifício, bem como no próprio processo de construção. Tavares e Lamberts (2005) consideram que a Energia Embutida deverá considerar não só a Energia Embutida inicial, gasta na produção dos materiais de construção e no processo de construção, mas também a Energia Embutida de Reposição ou Manutenção e a energia contida nos desperdícios associados às técnicas construtivas.

A revisão bibliográfica sobre o tema sugere a distinção entre dois conceitos - *consumo indireto* de uma edificação e *energia embutida* - que diferem na definição da fronteira de análise. No caso da energia embutida, incluem-se consumos relacionados apenas com a construção e manutenção do edifício, enquanto que no caso da energia indireta, a fronteira de análise estende-se também aos consumos indiretos relacionados com o setor das edificações (como a energia gasta no fornecimento de infraestrutura sanitária e nos processos de conversão e transmissão ou transporte da energia consumida nos edifícios).

A coleta de dados relativos ao consumo indireto é extremamente complexa uma vez que resulta da consolidação de informações de diversos setores, nomeadamente: do setor da construção civil; dos setores industriais relacionados com a produção de materiais de construção (como o cimento e o aço); de uma parcela do setor dos transportes associada com o deslocamento de materiais de construção; e parte do consumo de energia do setor energético que corresponde ao processo de produção, conversão e fornecimento de energia consumida nos edifícios. De acordo com Urge-Vorsatz (2009), não se encontram atualmente estatísticas mundiais relativas ao consumo indireto de energia nos edifícios sendo possível encontrar apenas alguns estudos de caso.

Na tabela 1, retirada de um estudo de Tavares e Lamberts (2006), são apresentados os

valores de energia embutida por metro quadrado para quatro países em comparação com o Brasil. Observa-se que, dos cinco países apresentados, o Brasil é o que apresenta menor valor com um consumo estimado em $3,9 \text{ GJ/m}^2$ pelos autores, enquanto a Austrália é o país com o valor mais elevado, avaliado em $6,0 \text{ GJ/m}^2$. A comparação dos dados sugere ainda que, com exceção da Austrália, a variação entre os países não é muito significativa (valores em torno de uma média de $4,35 \text{ GJ/m}^2 \pm 0,45$). Atendendo a que os valores apresentados incluem apenas a energia embutida na construção, sugere-se que a baixa variabilidade pode estar relacionada com a tendência à homogeneidade mundial nas técnicas construtivas, em particular no que diz respeito aos materiais utilizados (concreto, tijolo, aço, cerâmica, PVC, etc.).

Tabela 1 - Valor Energia Embutida em Edificações em alguns países

País	Energia Embutida Inicial* (GJ/m²)
USA	4,1
Austrália	6,0
Suécia	4,6
Canadá	4,8
Brasil	3,9

*Inclui apenas a energia embutida na construção

Fonte: Tavares e Lamberts, 2006

O consumo de energia indireta nas edificações resulta de um conjunto de fatores, nomeadamente a fonte de energia utilizada e os materiais de construção empregues. Relativamente às fontes de energia, de acordo com Urge-Vorsatz (2009), quando são usadas fontes primárias de energia diretamente no edifício (como o gás natural) o custo energético de extrair e transportar a energia para o edifício pode resultar inferior a 10%, contudo, se a fonte de energia for a eletricidade as perdas na conversão podem chegar a 70% caso a mesma seja produzida a partir de uma fonte primária fóssil².

Relativamente aos materiais de construção é interessante notar que nas construções ditas tradicionais eram utilizados materiais locais com baixo custo energético e reduzido impacto ambiental. Atualmente empregam-se os mesmos materiais a nível global, nomeadamente o cimento, o alumínio e o PVC, com significativo aumento do custo

² Tipicamente carvão, gás natural e petróleo.

energético, dados os processos de fabricação dos mesmos e o necessário transporte até ao local de construção.

2.1.3 Ciclo de Vida das Edificações

Tal como representado na figura 4, no ciclo de vida de um edifício distinguem-se as fases de construção (I,II e III), operação e manutenção (IV), e demolição (V). Conforme referido, apenas a energia de operação é contabilizada no consumo direto, dado comumente avaliado e divulgado nos balanços energéticos dos países. Já o consumo de energia indireta só é captado numa perspectiva de ciclo de vida. Para isso o emprego de metodologias *Life Cycle Assessment* (LCA) permite avaliar o uso de recursos energético nas fases de extração de matérias primas, produção, distribuição, uso e destino final, tornando-a uma ferramenta mais completa para compreensão do consumo de energia das edificações.

Tal como no caso de um eletrodoméstico ou de um automóvel, o desempenho de um edifício varia ao longo da sua vida útil, que se define em cerca de 50 anos (JANDA, 2008). O peso dos consumos direto e indireto no ciclo de vida das edificações depende de um conjunto de fatores tais como as necessidades de consumo operacional e o emprego de materiais mais ou menos intensos em energia. Segundo resultados de revisão de literatura realizada por Sartori e Hestnes (2007), a proporção de energia embutida pode variar de 9 a 45% em edifícios construídos com preocupações de eficiência energética de operação, e de 2 a 38% em edifícios convencionais.

Bribián, Usón e Scarpellini (2009) destacam a interação que parece existir entre as fases de vida do edifícios, nomeadamente o fato de menores investimentos na construção (como por exemplo isolamento de baixo desempenho), resultarem em maiores custos de operação. Para ilustrar a questão, apresenta-se de seguida na figura 5 um gráfico, extraído de Casals (2006), onde se mostra a evolução do consumo de energia direta e indireta ao longo da vida útil de duas residências com a mesma área: uma construída segundo padrões convencionais do setor de construção e outra com pretensões de ser energeticamente eficiente no que diz respeito ao consumo operacional. De acordo com o autor, para tornar mais eficiente o consumo de energia relativamente a equipamentos HVAC (aquecimento, ventilação e ar-condicionado) a residência eficiente foi construída usando materiais de maior

energia embutida, mas que permitiu uma redução de 30% na energia para aquecimento e resfriamento do ar. Os resultados mostram que, mesmo quando considerado um longo período de vida (100 anos), a residência eficiente consumiu maior quantidade de energia que a convencional.

Figura 4 – Fases do Ciclo de Vida de uma Edificação

Fonte: Bustamante G., 2009.

Figura 5 - Consumo energético de dois apartamentos: um construído segundo padrões tradicionais e outro com pretensões de ser energeticamente eficiente no que diz respeito ao consumo de energia operacional.

Fonte: Casals, 2006.

Estes resultados reforçam a necessidade de abordar o tema do consumo energético em

edifícios de uma perspectiva de ciclo de vida e não apenas no que diz respeito a consumo operacional. De acordo com um estudo da WBCSD (2008), a porcentagem de energia embutida nos edifícios tenderá a aumentar no futuro devido ao aumento da eficiência no consumo operacional e aos menores ciclos de vida dos edifícios.

2.2 Edificações Energeticamente Eficientes

De uma maneira geral a eficiência energética é a relação entre a energia útil e a fornecida ao sistema. Pode então afirmar-se que a eficiência energética aumenta quando se consegue realizar um serviço e/ou produzir um bem com uma quantidade de energia inferior à que era usualmente consumida.

Com base em Goldemberg e Lucon (2008) apontam-se um conjunto de vantagens da eficiência energética: o custo de economia de energia é inferior ao de geração; aumento da segurança de fornecimento, com poupança de recursos que são finitos; aumento da disponibilidade de acesso a serviços de energia e redução dos impactos ambientais, em especial a emissão de gases poluentes e de efeito de estufa. Liu, Meyer e Hogan (2010) acrescentam um conjunto de benefícios tais como a criação de empregos e o menor risco de pobreza em caso de aumento do preço da energia. Segundo Urge-Vorsatz, Novikova e Sharmina (2009) o valor dos benefícios não energéticos da eficiência energética é substancial e pode representar até 40% do valor da energia poupada.

Do lado das desvantagens, e conforme destaca Urge-Vorsatz (2009), a eficiência energética pode produzir efeitos não desejados na sociedade tais como o *rebound-effect*, designação dada quando o aumento da eficiência energética reduz o custo de um serviço energético resultando num aumento da demanda por esse serviço ou no desvio dos recursos poupados para consumos que requerem o consumo de energia. Contudo, embora o *rebound-effect* limite a efetividade de medidas de eficiência energética na redução da demanda, beneficia de argumentos económicos a favor na medida em que contribui para ultrapassar a pobreza energética e é potencialmente benéfico para o crescimento económico.

O conceito de eficiência energética aplicado às edificações significa que um edifício é energeticamente mais eficiente quando as mesmas condições de conforto e utilização são

atingidas ou melhoradas com menor consumo de energia. Às vantagens já apontadas à eficiência energética, somam-se um conjunto particular de benefícios resultantes de uma maior eficiência energética nas edificações, a saber: a redução de custos para os usuários, a redução de custos para a sociedade em resultado da menor demanda de energia de edifícios durante a hora de pico, maiores níveis de produtividade em edifícios comerciais resultantes da melhoria de conforto térmico e melhor qualidade do ar interior. Liu, Meyer e Hogan (2010) estimam que os benefícios em produtividade e saúde de edifícios ultrapassam em muito o valor das poupanças energéticas.

Uma chamada de atenção deve ser feita relativamente ao “público alvo” do mercado de eficiência energética. Este deve abranger não apenas edifícios destinados a classes socioeconômicas mais elevadas, mas também o segmento de habitação social onde o peso dos gastos energéticos familiares é mais elevado e medidas de poupança energética podem contribuir para aliviar a pobreza (WBCSD, 2008). Neste contexto, é interessante destacar que, em países em desenvolvimento o objetivo de programas de eficiência energética ou conservação de energia pode não resultar na redução absoluta do consumo de energia uma vez que os recursos poupados no programa podem ser direcionados para a melhoria dos níveis de serviço energético em outras áreas (URGE-VORSATZ, 2009).

No sentido de conceber edifícios que proporcionem níveis de conforto aceitáveis para o seu usuário com menor consumo de recursos energéticos é necessário compreender por um lado as variáveis que influenciam o consumo energético dentro da edificação e como ele pode ser minimizado, e por outro lado a dinâmica do mercado imobiliário e da construção que determinará a maior ou menor abertura para incorporar soluções mais eficientes. Nas próximas subseções abordam-se em primeiro lugar estratégias de redução de consumo direto e indireto de energia em edificações, e, em segundo lugar características do setor da construção que constituem barreiras ao desenvolvimento de um mercado de eficiência energética para edificações e instrumentos de política pública ao alcance das autoridades governamentais para as ultrapassar.

2.2.1. Estratégias de Redução do Consumo Direto

Conforme referido no ponto anterior, diversos fatores influenciam o chamado consumo direto ou ocupacional numa edificação. Os fatores relacionados com os usuários, em particular o padrão de uso da edificação e o comportamento dos usuários, são críticos no consumo energético efetivo do edifício. Contudo, tratam-se de fatores que não são controláveis por parte dos projetistas, e que apenas podem ser influenciados através de ações educativas e campanhas informativas.

Dos fatores “controláveis”, a adequação arquitetônica do edifício ao clima destaca-se enquanto fator explicativo do consumo energético ocupacional numa edificação. Na sua relação com o ambiente físico, o organismo humano recebe um conjunto de estímulos (luz, som, calor e ventos, entre outros) que desencadeiam reações de adaptação fisiológicas e psicológicas que resultam em sensação de conforto ou desconforto (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

A reação do edifício às variáveis do clima e às condições de ocupação determina uma atmosfera interna que pode ou não ser confortável aos seus ocupantes. O conforto ambiental apresenta diferentes vertentes, a saber: o *conforto higrotérmico* (relativo às condições de temperatura e umidade do ar); o *conforto visual* (relacionado com a iluminação, aparência dos ambientes, envoltória e aberturas para o exterior); o *conforto acústico* (resultante do nível de ruído); o *conforto tátil* (determinado pelas condições de eletricidade estática, rugosidade, umidade e temperatura da superfície); e, por último, parâmetros relativos à *qualidade do ar* e *presença de odores*. Caso a sensação de conforto não seja proporcionada de forma natural pela edificação, a tecnologia moderna e a disponibilidade de energia elétrica permitem agir sobre as condições ambientais, através de sistemas de condicionamento artificiais, de forma a criar as condições de conforto térmico e visual desejadas.

Neste contexto, a eficiência energética operacional numa edificação deve ser procurada tendo em conta os três objetivos apresentados na tabela 2, que deverão ser considerados por projetistas desde a fase de projeto, quando são tomadas as principais decisões arquitetônicas:

Tabela 2 – Objetivos a serem considerados por projetistas na concepção de edificações energeticamente eficientes

Objetivo	Ação
Objetivo 1	Minimizar as necessidades energéticas para condicionamento de ar (aquecimento, resfriamento e ventilação) e iluminação
Objetivo 2	Atender à carga térmica com sistemas prediais eficientes, nomeadamente no que diz respeito a condicionamento ambiental, iluminação e sistemas de aquecimento de água;
Objetivo 3	Procurar, tanto quanto possível, instalar sistemas prediais de produção de energia (preferencialmente com recursos a fontes renováveis) que atendam às necessidades energéticas do edifício

Fonte: Elaboração Própria

Nas próximas subseções, aprofundam-se as estratégias possíveis para atender a cada um dos objetivos listados.

2.2.1.1 Minimizar as necessidades energéticas para condicionamento de ar e iluminação: a Arquitetura Bioclimática

A minimização do consumo energético para condicionamento de ar e iluminação deverá ser procurada tendo em conta o conceito de Arquitetura Bioclimática, termo que surgiu na década de 60 do século XX, a partir de pesquisas de Aladar e Victor Olgyay. A Arquitetura Bioclimática tem como objetivo harmonizar a arquitetura com o clima e entorno proporcionando as condições de conforto adequadas ao ser humano (UNEP, 2010).

Projetar adequadamente, tendo em conta as condições climáticas locais como referência, é uma ciência que já foi dominada e amplamente aplicada por projetistas e arquitetos. Contudo, o desenvolvimento tecnológico e a disponibilidade de energia, em particular durante o século XX, deram lugar à concepção de que, independentemente do clima, uma edificação poderia ser implantada em qualquer região, com as mesmas características arquitetônicas e construtivas, promovendo o mesmo conforto aos seus usuários,

já que a energia, em especial a elétrica, garantiria um desempenho adequado. Esta concepção da arquitetura e da engenharia civil é extremamente onerosa do ponto de vista energético e consequentemente do ponto de vista ambiental, econômico e social.

Promover a eficiência energética sob o conceito da Arquitetura Bioclimática significa adaptar as variáveis arquitetônicas às características do clima (em particular do microclima) onde será localizada a edificação de forma a proporcionar conforto aos futuros usuários. Nos próximos pontos aprofundam-se estas três vertentes da arquitetura bioclimática: conforto, microclima e variáveis arquitetônicas.

- **Conforto**

Conforme referido, o conforto ambiental inclui diferentes vertentes das quais se destacam, no âmbito da promoção de eficiência energética, o conforto térmico, visual e qualidade do ar, pela possibilidade de recorrer à tecnologia e energia caso os mesmos não sejam proporcionados naturalmente pela edificação.

A ASHRAE 55³, (2004, p.2) define conforto térmico como “o estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico”. Trata-se de uma grandeza que é avaliada de forma subjetiva já que as condições ambientais que resultam em conforto não são as mesmas para todas as pessoas. Dessa forma, a norma especifica as combinações de fatores térmicos do ambiente interno e fatores pessoais que produzem condições térmicas ambientais aceitáveis para a maioria dos ocupantes de um ambiente. Os fatores ambientais considerados incluem a temperatura, radiação térmica, umidade e velocidade do vento. Já no que diz respeito aos fatores pessoais são incluídos a atividade metabólica e o vestuário. Os referidos fatores influenciam as trocas térmicas entre o corpo e o ambiente, que acontecem segundo processos de radiação, condução, convecção e evaporação sem suor ao nível da pele e das vias respiratórias.

Relativamente a conforto visual, Bustamante G. (2009) define que o mesmo é alcançado quando é possível ver os objetos dentro de um ambiente sem provocar cansaço e as cores são agradáveis. Para o desenvolvimento de atividades visuais, o olho humano necessita de condições de iluminação específicas que dependem da própria atividade: quantidade de luz, distribuição da luz pelo ambiente e a ausência de contrastes excessivos, como a

³ A versão mais recente data de 2010.

incidência de sol direto no plano de trabalho e reflexos indesejáveis (GONÇALVES; VIANNA; MOURA, 2011). Para obter um bom nível de conforto luminoso, é recomendável a iluminação natural, tanto pela qualidade da luz propriamente dita como pela necessidade de obter eficiência energética. Na ausência de iluminação natural, a partir de certas horas do dia, torna-se necessário adotar permanentemente a luz artificial, a qual deverá ser dimensionada e projetada com o mesmo objetivo de obter conforto visual com o uso eficiente de energia.

Por último, para se ter qualidade do ar dentro de um domicílio, este deve ser renovado de forma permanente a fim de evitar odores desagradáveis e riscos de contaminação pela presença de partículas, germens, gás carbônico, etc. O conforto relacionado com a qualidade do ar interior é um dos fatores diretamente relacionados com o uso racional de energia já que a renovação do ar implica consumo de energia para o uso de sistemas de ventilação mecânica e, em climas frios, para elevar a temperatura do ar exterior que é admitido para renovação (BUSTAMANTE G., 2009).

- **Microclima da edificação**

Conforme referido, projetar uma edificação de forma eficiente significa ter em consideração as condições climáticas a que a edificação está sujeita que devem orientar as técnicas construtivas e os materiais escolhidos com vista ao conforto dos usuários com mínimo de consumo de energia. As condições climáticas a que está sujeita a edificação dependem não só do clima da região em que estará localizada a edificação, mas também do entorno particular do local de implantação escolhido, nomeadamente as características urbanas da localidade e a presença no entorno de grandes edificações vizinhas.

Clima

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (1997), o tempo (no âmbito da meteorologia) é a variação das condições atmosféricas, enquanto que clima é a condição média do tempo em uma dada região, baseada em medições (geralmente durante trinta anos). O diagnóstico climático de uma região, no âmbito do projeto de uma edificação, compreende a identificação de um conjunto de parâmetros relativos ao clima que interferem, direta ou indiretamente, nas decisões de projeto.

De acordo com Romero (2000), para a compreensão do clima distinguem-se:

- *Fatores climático globais* (radiação, latitude, longitude, altitudes, ventos e as massas de água e terra);
- *Fatores climáticos locais* (topografia vegetação, superfície do solo);
- *Elementos climáticos* (temperatura, umidade, precipitações e movimentos do ar);

No primeiro grupo incluem-se fatores que condicionam, determinam e dão origem ao clima nos seus aspectos macro (ou mais gerais) enquanto o segundo grupo de fatores atua a nível micro (ou num ponto restrito). Já os elementos climáticos representam os valores relativos a cada tipo de clima. Os elementos e fatores atuam em conjunto, sendo que cada um deles é o resultado da conjugação dos demais, razão pela qual uma classificação climática geral ou uma tipificação é extremamente complexa.

Uma classificação climática utilizada mundialmente é o Sistema Koppen-Geiger, proposto em 1900 pelo climatologista alemão Wladimir Köppen, tendo sido por ele aperfeiçoada em 1918, 1927 e 1936 com a publicação de novas versões, preparadas em colaboração com Rudolf Geiger. A classificação é feita com base em dados mensais de temperatura e precipitação, em particular: temperatura média mensal do mês mais quente; temperatura média mensal do mês mais frio; amplitude térmica média entre o mês mais frio e o mais quente; número de meses em que a temperatura excede os 10°C e chuvas de verão e inverno. Trata-se do sistema da classificação climática mais utilizada em climatologia, geologia e ecologia.

Para estudar as características climáticas de uma localidade são também utilizadas as normais climatológicas⁴. Contudo, devido à variabilidade do tempo meteorológico de dia para dia, e pelo fato de a resposta térmica da edificação estar muitas vezes ligada ao dia anterior, a análise das normais, de dias típicos de verão e inverno, ou de temperaturas de projeto, não é suficiente para avaliar o desempenho energético de um edifício. Assim, de acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (1997), o ano climático de referência designado por TRY – *Test Reference Year*⁵ é a base de dados mais precisa para uma análise completa da adequação de uma edificação ao clima local. Consiste em dados horários para doze meses típicos, selecionados de um conjunto amplo de anos (por exemplo 20 ou 30 anos). Fornece a

⁴ Valor médio (mensal ou anual) de um elemento climático num local, correspondente a um número de anos suficiente para se poder admitir que ele represente o valor predominante daquele elemento no local considerado. A Organização Meteorológica Mundial (OMM) fixou para este fim 30 anos começando no primeiro ano de cada década (1901-30, 1931-1960, 1941-1970, 1971-2000). Os apuramentos estatísticos referentes a estes intervalos são geralmente designados por Normais Climatológicas (Instituto de Meteorologia, 2011).

⁵ Também chamado de *Standard Reference Year or Typical Meteorological Year*.

possibilidade de simulação horária do consumo de energia durante um ano, possibilitando a avaliação do custo-benefício de opções mais eficientes.

Para a correta adequação do projeto arquitetônico ao conforto dos seus ocupantes com minimização do consumo energético, Lamberts, Dutra e Pereira (1997) destacam as seguintes variáveis climáticas:

- *Radiação Solar* - A radiação solar é energia eletromagnética, de onda curta, emitida pelo sol, sendo parcialmente absorvida pela atmosfera terrestre (BARBIRATO; TORRES; SOUZA, 2011). O padrão diário e anual de energia solar incidente sobre a superfície da terra e das edificações depende da intensidade da radiação solar e da duração da presença do sol na abóbada celeste (horas de insolação). A intensidade da radiação que atinge a superfície, por sua vez, depende da densidade do ar relacionada com a transparência da atmosfera relativamente às nuvens e com a pureza do ar quanto a poeira, dióxido de carbono e vapor de água (ROMERO, 2000). Tanto como fonte de calor quanto de luz, o Sol é um elemento de extrema importância no estudo da eficiência energética na arquitetura. Atendendo aos fenômenos sofridos pela radiação ao chegar à superfície terrestre, distinguem-se cinco tipos de radiação que atinge a edificação: *radiação solar direta* (onda curta); *radiação solar difusa* (onda curta); *radiação solar refletida pelo entorno e pelo solo* (onda curta); *radiação térmica emitida pelo solo aquecido e pelo céu* (onda longa quando resultante da absorção da radiação direta ou onda curta quando refletida); *radiação térmica emitida pelo edifício* (onda longa) (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997). A radiação de onda curta entra pelos elementos translúcidos da edificação, como o vidro, e é absorvida pelos corpos que se aquecem e emitem em onda longa. Na medida em que o vidro é permeável à onda curta, mas impermeável à onda longa gera-se efeito de estufa, um dos mecanismos que mais contribui para os ganhos térmicos dentro da edificação.
- *Temperatura* - O sol ilumina de forma desigual as várias partes da superfície da terra. Esse fato, associado aos diferentes coeficientes de absorção da radiação solar dos vários tipos de solos e águas da superfície da terra, ocasiona uma desigual distribuição da energia solar, cujos efeitos são o aparecimento dos movimentos de massas de ar e de água (correntes marinhas) e as trocas de matéria e energia entre o ar, o mar e a terra. A relação entre as taxas de aquecimento e esfriamento da superfície da terra é o fator determinante da temperatura do ar (ROMERO, 2000).
- *Umidade* - A umidade relativa é a relação entre a pressão de vapor do ar e a pressão de

vapor do ar obtida em condições de equilíbrio ou saturação. A umidade do ar resulta da evaporação da água contida nos mares, rios, lagos e na terra, bem como da evapotranspiração dos vegetais. Trata-se da variável climática mais estável ao longo do dia. A umidade relativa tende a aumentar quando há diminuição da temperatura e a diminuir quando há aumento da temperatura. Em locais com ar muito seco, os dias tendem a ser muito quentes e as noites frias enquanto que em locais úmidos as temperaturas extremas tendem a ser atenuadas. A umidade do ar atua diretamente na capacidade da pele de evaporar o suor. Em altas umidades relativas temos mais dificuldade em evaporar o suor aumentando a sensação do desconforto térmico.

- *Ventos* - A diferença de pressão ou de temperatura entre dois pontos da atmosfera gera um fluxo de ar que se desloca das regiões mais frias (baixa pressão) para as regiões mais quentes (alta pressão). Além dos deslocamentos das massas de ar numa escala global, atuam também no clima os ventos locais, provocados pelos diferenciais térmicos gerados pelas presenças da terra e água, vale e montanha etc. Para o desenho urbano a maior influência resulta dos ventos locais (LAMBERTS, DUTRA; PEREIRA, 1997). As condições do vento local (direção, turbulência e velocidade) podem ser alteradas pela presença de vegetação, edificações e outros anteparos naturais ou artificiais. Pode tirar-se partido do perfil topográfico de um terreno para canalizar os ventos desviando-os ou trazendo-os para uma edificação. Em geral a velocidade do vento aumenta com a altitude e a sua turbulência e direção são mais variáveis na cidade que em campo aberto (LAMBERTS, DUTRA; PEREIRA, 1997).

Clima urbano

Para além das características do clima resultantes dos elementos climáticos, para o tema da presente dissertação interessa compreender o impacto da ocupação urbana como fator de alteração do clima. Define-se clima urbano como o sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização (MONTEIRO, 1976). O desenvolvimento de áreas urbanas resulta numa progressiva mudança da paisagem, com a substituição de áreas de solo e vegetação (tipicamente materiais permeáveis e úmidos), por edifícios, estradas e outros elementos de infraestrutura urbana (geralmente impermeáveis e secos).

A concentração de infraestrutura nos aglomerados urbanos origina um fenómeno designado por *Ilhas de Calor Urbano*, que descreve as maiores temperaturas registradas em regiões urbanas face às áreas rurais circundantes. De acordo com EPA (2008) a temperatura

média anual de uma cidade com um milhão ou mais de habitantes pode ser 1 a 3°C mais quente que a temperatura da área rural nos seus arredores, e em condições noturnas de céu claro e sem vento esta diferença pode atingir os 12°C.

Como base em EPA (2008) enumera-se a seguinte lista de fatores que explicam a formação de Ilhas de Calor Urbano:

- *Reduzida Vegetação nas áreas urbanas* - As árvores e vegetação contribuem para refrescar o ar já que proporcionam sombra e dissipam o calor do ambiente pela liberação de água para o ar no processo de evapotranspiração;
- *Propriedades dos materiais urbanos* - As propriedades radiantes e térmicas dos materiais de cobertura do solo, tais como a refletância solar, a emissividade e a capacidade térmica têm forte influência na forma como a energia do sol é refletida, absorvida e reemitida. No que respeita à refletância térmica ou albedo, cerca de 50% da energia do sol concentra-se na faixa do visível, pelo que o valor da refletância solar, principal determinante da temperatura de uma superfície, está fortemente correlacionado com a cor dessa superfície: superfícies escuras tendem a apresentar maiores valores de absorvância solar que superfícies claras que refletem grande porcentagem da radiação visível. As áreas urbanas tipicamente apresentam materiais de superfície (pavimentação e cobertura) com albedos inferiores aos materiais de superfície das regiões rurais, o que resulta numa maior absorção de energia e consequentes temperaturas de superfície mais elevadas que aquecem o ar. A emissividade também desempenha um papel relevante na medida em que uma superfície com emissividade mais elevada libera maior quantidade do calor por ela absorvido. A maioria dos materiais de construção, com exceção do metal, apresenta elevados valores de emissividade. Por último, no que diz respeito à capacidade térmica, sabe-se que muitos dos materiais de construção, tais como o aço e a pedra, têm capacidade térmica mais elevada que a vegetação pelo que as cidades são tipicamente mais eficazes a absorver e armazenar calor na sua infraestrutura;
- *Geometria Urbana* – Refere-se às dimensões e espaçamentos dos edifícios na cidade e impacta ao nível do fluxo de vento, da quantidade de energia absorvida e da capacidade das superfícies liberarem o calor de volta ao espaço através da emissão de radiação infravermelha. Estudos relacionados com o fenómeno de Ilhas de Calor Urbano geralmente focam os chamados *Canyons Urbanos* (ou “desfiladeiros urbanos”), expressão que designa ruas relativamente estreitas delimitadas por edifícios altos. A este tipo de organização urbanística são associados a dois tipos de efeitos: por um lado, os

edifícios altos proporcionam sombra reduzindo a temperatura das superfícies e gerando pontos da cidade que podem apresentar temperaturas até inferiores, mas, por outro lado, quando o sol atinge as superfícies destas ruas estreitas, a radiação é refletida e absorvida pelos edifícios podendo resultar num aumento de temperatura. À noite os desfiladeiros urbanos impedem o resfriamento já que os edifícios e estruturas obstruem a liberação de calor;

- *Calor Antropogênico* – Diz respeito ao calor produzido por atividades humanas. Uma boa estimativa do seu valor é o total de energia utilizada para aquecimento e resfriamento, calor libertado pela utilização de equipamentos, transportes e instalações industriais. O calor antropogênico tem pouco impacto durante o verão, mas no Inverno pode contribuir significativamente para o aumento da temperatura nas cidades.
- *Condições Climáticas locais* – Apontam-se dois elementos do clima com forte influência na formação de ilhas de calor urbano: o vento e a nebulosidade. Em geral as ilhas de calor formam-se durante períodos de pouco vento e céu claro, condições que maximizam a quantidade de energia solar que atinge a superfície urbana e minimizam a quantidade de calor dispersado. Contrariamente, as condições de céu nublado e ventos fortes dificultam a formação de ilhas de calor.
- *Topografia* – A presença de alguns elementos do relevo pode contribuir para acentuar ou amenizar as temperaturas, tais como: a proximidade a grandes quantidades de água (que contribui para amenizar as temperaturas e pode estar na origem da formação de ventos com efeito de convecção sobre o calor da cidade); a presença de áreas montanhosas (que podem bloquear ou favorecer fluxos de vento). A proporção entre as massas de terra e os corpos de água num dado território produz um impacto característico no clima, em resultado da sua diferente capacidade de armazenamento de calor. Uma vez que a água possui um elevado valor de calor específico, a sua presença reduz as temperaturas extremas diurnas e estacionais no seu entorno imediato. Come efeito, grandes massas de água possuem um pronunciado efeito estabilizador. As massas de terra possuem grandes diferenças de armazenagem de calor devido particularmente às características físicas do solo (ROMERO, 2000);

Os efeitos do fenómeno de “Ilhas de Calor Urbano” são na sua maioria negativos e como tal deverão ser alvo de políticas de mitigação. Para efeitos da atual pesquisa destaca-se o aumento do consumo de energia, em particular em dias muito quentes de Verão durante a tarde, quando escritórios e residências ligam os aparelhos de ar condicionado, equipamentos

domésticos e luzes, podendo gerar sobrecarga na a rede elétrica.

Entorno

O entorno particular de cada edificação determina alterações das variáveis climáticas e como tal, o seu estudo é um elemento chave para um bom projeto arquitetônico. Conforme representado na figura 6, entre as solicitações do entorno estão as que se relacionam com o clima e o microclima do lugar, com a geografia do sítio, com as atividades que acontecem no entorno e com o efeito das construções vizinhas. Em particular, as montanhas e construções vizinhas ao entorno do lote podem esconder a radiação solar direta; refletir os raios de Sol; obstruir e modificar o sentido ou a velocidade dos ventos dominantes (BARROSO-KRAUSE, 2011).

Figura 6 – Solicitações ambientais da envolvente de uma edificação

Fonte: Bustamante G., 2009

- **Variáveis Arquitetônicas**

O diagnóstico do microclima local não gera por si só os subsídios necessários para alimentar o desenvolvimento do projeto da edificação. É preciso que tais informações sejam interpretadas e resultem em decisões relativamente às variáveis arquitetônicas do projeto da edificação. No âmbito da presente pesquisa, definem-se variáveis arquitetônicas como elementos e sistemas da edificação que impactam na sua relação com o entorno e nas condições ambientais proporcionadas aos seus usuários. Trata-se de variáveis a que os projetistas podem recorrer para influenciar o resultado em termos de desempenho energético da edificação. Com base em Lamberts, Dutra e Pereira (1997) enumeram-se as seguintes variáveis arquitetônicas:

Forma e Orientação

A forma e orientação da edificação interferem na quantidade de radiação que incide sobre cada fachada e nos fluxos de ar no interior e exterior do edifício. Com efeito, uma edificação com o mesmo volume de ar interior pode ter formas diversas, apresentando comportamentos térmico e visual distintos. Quando comparamos um conjunto de moradias com a mesma área construída que um edifício vertical, o resultado em termos de conforto térmico e visual é diferente: nas moradias um número mais elevado de superfícies estão expostas à radiação solar e à ventilação (em particular a cobertura que está sempre exposta); já no prédio existem unidades mais expostas e outras menos expostas. No caso dos edifícios verticais, a mudança de orientação tem um maior impacto que nas moradias, onde a cobertura é a superfície com maior responsabilidade na definição das trocas térmica (LAMBERTS, DUTRA; PEREIRA, 1997).

Função

O estudo da função da edificação é um tema crucial na escolha de estratégias bioclimáticas a serem adotadas e na definição das variáveis arquitetônicas, já que as edificações residenciais, comerciais e públicas são distintas do ponto de vista do horário de funcionamento e do tipo de ocupação. Relativamente a edificações comerciais e públicas, utilizadas com maior frequência durante o dia, destaca-se o potencial de poupança energética associado à utilização da iluminação natural e à gestão da exposição à radiação solar, que pode ser aproveitada para reduzir a demanda de aquecimento ou que deverá ser evitada a fim de minimizar as necessidades de resfriamento. Além disso, é ainda interessante destacar que o tipo de ocupação das edificações comerciais se caracteriza por um maior número de ocupantes e de equipamentos em operação, o que tipicamente resulta em ganhos térmicos internos elevados.

Envoltória

A envoltória dos edifícios refere-se aos elementos da “carcaça” da edificação. De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (1997), a envoltória do edifício é o elemento central nas trocas de energia (tanto luz quanto calor) entre o exterior e o interior da edificação. A sua constituição inclui fechamentos opacos (piso, paredes e cobertura) e fechamentos transparentes ou translúcidos (como janelas e claraboias) que funcionam como uma barreira

às condições exteriores, nomeadamente ao calor e ao frio, à luz, à umidade, a infiltrações e ao barulho. A eficácia da envoltória de uma edificação depende de um conjunto de fatores tais como: os níveis de isolamento nas paredes, tetos e cave; a resistência à migração da umidade; propriedades térmicas e óticas dos materiais, em particular das janelas e portas; as trocas de ar entre o interior e exterior por infiltração e exfiltração; a partilha de paredes com outros edifícios.

Ao projetar os fechamentos (tipo de material, orientação, dimensão, etc.) o projetista deverá ter como objetivo controlar o fluxo térmico evitando as perdas de calor excessivas na estação fria e os ganhos elevados na estação quente, repetindo às necessidades de iluminação natural. A quantidade de calor captado e a forma de transmissão para o interior dependem das propriedades dos elementos da envolvente e do nível de sombreamento a que a moradia estará exposta (BUSTAMANTE G., 2009).

- *Fechamentos Opacos* – Nestes elementos, a transmissão de calor é induzida por uma diferença de temperatura entre a superfície externa e interna, com o fluxo sempre no sentido da superfície mais quente para a mais fria. Com base em Lamberts, Dutra e Pereira (1997), assumindo uma temperatura externa superior à interna, o fluxo térmico do fechamento acontece de acordo com três fases:
 1. Na primeira fase, a face externa recebe calor do exterior por convecção e radiação. Dependendo do valor da *resistência superficial externa* (R_{se}) o fenómeno de convecção provoca o aumento da temperatura da superfície. Relativamente à radiação, de acordo com o valor da absortividade e refletividade do material, uma parcela é refletida para o exterior e outra é absorvida provocando um aumento de temperatura da superfície. É importante destacar que a absortividade dos materiais depende fortemente da cor, sendo que quanto mais clara menor o seu valor. Para além dos ganhos térmicos, à superfície do fechamento ocorrem também perdas térmicas por emissão de radiação, que dependem da emissividade do material de superfície do fechamento e da sua temperatura. Vale destacar que materiais metálicos apresentam baixa emissividade ao contrário de materiais não metálicos, para os quais o valor de emissividade é mais elevado.
 2. Na segunda fase, o diferencial de temperatura que se estabelece entre a superfície externa e a superfície interna desencadeia uma transmissão de calor através do fechamento por fenómeno de condução. Este depende da

condutividade térmica do material (λ W/m.K) que por sua vez está relacionada com a sua densidade e representa a capacidade do material de conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo. A condutividade térmica e a espessura de cada material do fechamento permitem calcular o valor da resistência térmica (BARROSO-KRAUSE, 2011);

3. Na última fase, ocorre troca de calor entre a superfície interna do fechamento e o ambiente interno da edificação, novamente por convecção e radiação. As perdas de calor da superfície do fechamento dependem do valor da resistência superficial interna (R_{si}) e as perdas por radiação estão relacionadas com o valor da emissividade superficial do material.

Ainda com base nos mesmos autores, cada material do fechamento tem um valor de resistência térmica. O inverso da resistência térmica total (*valor R*) do fechamento (incluindo todas as resistências dos materiais e R_{se} e R_{si}) é o valor da transmitância térmica (*fator U*). Trata-se uma grandeza muito utilizada para avaliar o comportamento de fechamentos opacos e translúcidos face à transmissão de calor e permite comparar diversas opções de fechamentos.

Materiais comumente utilizados nos projetos de construção apresentam comportamentos bastante distintos na transmissão de calor por condução em função de suas propriedades físicas e de fabricação, como exemplificado nos valores de Transmitância Térmica da tabela 3 relativos a algumas soluções construtivas encontradas no Brasil.

Tabela 3 – Valor da Transmitância Térmica de algumas soluções construtivas

Tipo	U (W/m ² .K)
Parede de Concreto maciço (5 cm)	5,04
Parede de Concreto maciço (10 cm)	4,40
Paredes de Tijolos Maciços Aparentes	3,70
Paredes de Tijolos de 6 furos quadrados assentados na menor dimensão	2,48
Paredes de Tijolos de 8 furos quadrados assentados na menor dimensão	2,49
Paredes de Tijolos de 8 furos circulares assentados na menor dimensão	2,24
Parede de Tijolos de 6 furos circulares assentado na menor dimensão	2,28
Parede com 4 furos circulares	2,49

continua...

continuação

Tipo	U (W/m².K)
Parede de blocos cerâmicos de 3 furos	2,43
Paredes de tijolos maciços assentados na menor dimensão	3,13
Parede de Blocos cerâmicos de 2 furos	2,45
Parede de Tijolos com 2 furos circulares	2,43
Parede de Tijolos de 6 furos quadrados assentados na maior dimensão	2,02
Parede de Tijolos de 21 furos circulares	2,31
Parede de Tijolos de 6 furos circulares assentados na maior dimensão	1,92
Parede de Tijolos de 8 furos quadrados assentados na maior dimensão	1,80
Parede de Tijolos de 8 furos circulares assentados na maior dimensão	1,61
Parede dupla de Tijolos de 6 furos circulares assentados na menor dimensão	1,52
Parede Dupla de Tijolos Maciços assentados na menor dimensão	2,30
Parede Dupla de Tijolos Maciços assentados na maior dimensão	2,25
Parede Dupla de Tijolos de 21 furos circulares assentados na menor dimensão	1,54
Parede Dupla de Tijolos de 6 furos circulares assentados na maior dimensão	1,21
Parede Dupla de Tijolos de 8 furos quadrados assentados na maior dimensão	1,12
Parede Dupla de Tijolos de 8 furos circulares assentados na maior dimensão	0,98
Cobertura de Telha de Barro sem forro	4,55
Cobertura de telha de fibrocimento sem forro	4,60
Cobertura de telha de barro com forro de madeira	2,00
Cobertura de telha de fibrocimento com forro de madeira	2,00
Cobertura de telha de barro com forro de concreto	2,24
Cobertura de telha de fibrocimento com forro de concreto	2,25
Cobertura de Telha de barro com forro de laje mista	1,92
Cobertura de telha de fibrocimento com forro de laje mista	1,93
Cobertura de telha de barro com 2,5 cm de lã de vidro sobre o forro de madeira	0,95
Cobertura de telha de barro com 5 cm de lã de vidro sobre o forro de madeira	0,62

Fonte: ABNT, 2005

No que diz respeito a propriedades térmicas dos materiais constituintes da envoltória, para além da transmitância térmica, destaca-se ainda a inércia térmica: ao conduzir o calor

entre duas superfícies o material retém uma parte nos seu interior em resultado da sua massa térmica. Quanto maior a massa térmica maior o calor retido. Esta propriedade contribui para amenizar o clima interior face ao exterior amortecendo e retardando os extremos de temperaturas exteriores.

- *Fechamentos Translúcidos ou Transparentes* – Neste tipo de elementos da envoltória ocorre também transmissão de calor por convecção, condução e radiação. Os dois primeiro fenômenos ocorrem de forma semelhante aos fechamentos opacos, dependendo do valor de absorvidade, refletividade e transmitância térmica. A principal diferença prende-se com a parcela de radiação solar direta (de onda curta) que incide sobre a área translúcida que é transmitida para o interior transformando-se em calor ao ser absorvida no interior do ambiente e gerando efeito de estufa, principal fator de ganho térmico através de fechamentos translúcidos. Para além do seu papel no desempenho térmico da edificação, os fechamentos translúcidos são críticos no aproveitamento da luz natural e na ventilação da edificação.

Com base em Lamberts, Dutra e Pereira (1997), para saber a quantidade de calor que penetra no edifício através de uma abertura, calcula-se o Fator Solar que é característico para cada tipo de abertura e varia com o ângulo de incidência da radiação solar. No projeto bioclimático e para o conforto térmico, o controle das trocas de calor por radiação constitui talvez o mais poderoso instrumento para influenciar as condições higrotérmicas internas desejadas das edificações. Dada sua importância nesta troca, o uso dos elementos externos translúcidos deve ser pensado com cuidado e visando um objetivo previamente determinado. A captação solar através de janelas é favorável em períodos frios e desfavorável em períodos quentes. O controle do aporte de calor através de fechamentos transparentes pode ser executado atendendo à sua orientação e tamanho, tipo de vidro, uso de proteções solares internas e externas.

Sistema de Condicionamento de Ar

O condicionamento do ar dentro de uma edificação tem como objetivo tornar o ar compatível com as necessidades térmicas e ambientais de um recinto independentemente das condições externas. Para tal pode recorrer-se a estratégias passivas (sem uso de energia) ou ativas (com uso de equipamentos e tecnologia). De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (1997), as estratégias de condicionamento de ar mais comuns incluem: ventilação mecânica

(através de exaustores e ventiladores); aquecimento (passivo e ativo); resfriamento (ativo e passivo). As estratégias de condicionamento passivo são abordadas mais à frente nesta subseção, enquanto as estratégias de condicionamento artificial são apresentadas na subseção seguinte.

Sistema de Iluminação Artificial

Com base em Lamberts, Dutra e Pereira (1997), o objetivo do sistema de iluminação é fornecer a quantidade adequada de luz onde e quando ela é necessária enquanto minimiza o consumo de energia elétrica. A minimização do consumo de energia e o conforto dos usuários ditam que o projetista deverá ter em consideração a integração entre os dois tipos de fontes de luz: iluminação natural e iluminação artificial. A primeira é uma estratégia passiva e é abordada mais à frente nesta subseção enquanto a segunda é uma estratégia ativa, tema desenvolvido na próxima subseção.

Sistema de Aquecimento de Água

Os sistemas de aquecimento de água podem representar uma parcela muito significativa do consumo energético de uma edificação em particular em função do tipo de equipamento que é utilizado e o combustível que é consumido. Os sistemas mais comuns para aquecimento de água incluem: chuveiro elétrico, aquecedor elétrico de passagem, aquecedor elétrico por acumulação, aquecedor a gás de passagem, aquecedor a gás de acumulação; aquecedor solar de acumulação com *backup* elétrico. O tema é abordado com maior detalhe na próxima subseção.

Para além das variáveis arquitetônicas apresentadas, destacam-se outros elementos com impacto no entorno da edificação que podem ser considerados para melhoria do seu desempenho e minimização da carga térmica:

Vegetação

A vegetação tem um efeito estabilizador sobre o clima nos seus arredores imediatos reduzindo os extremos ambientais (quer na estação fria quer na quente) e criando um micro clima local por três vias: reduz a radiação que incide sobre o solo e na edificação, tem impacto nos ventos, e umidifica o ar. Funciona ainda como atenuador de ruído e de

contaminação visual, e agente purificante do ar através da manutenção do ciclo oxigênio-dióxido de carbono (BUSTAMANTE G., 2009; BARROSO-KRAUSE, 2011). A vegetação pode ser utilizada no entorno da edificação ou nos próprios elementos da edificação (fachadas e coberturas). Além da contribuição para a redução das cargas térmicas da cobertura, as superfícies revestidas de material vegetal (chamadas naturadas) propiciam uma redução da superfície impermeável das cidades e contribuem para a redução de sobreaquecimento dos bairros (BARROSO-KRAUSE, 2011).

Dados disponíveis na bibliografia comprovam o impacto da vegetação sobre o clima. ROMERO (2000) indica que, no Hemisfério Norte, uma floresta mista de carvalhos e álamos reduz em 69% a radiação solar incidente, fazendo com que as florestas sejam mais frias no verão e mais quentes no inverno. De acordo com o mesmo autor, uma fileira de árvores pode reduzir a velocidade do vento em 63%. Também segundo Lamberts, Dutra e Pereira (1997), em locais arborizados, a vegetação pode interceptar entre 60% e 90% da radiação solar, causando uma redução substancial da temperatura da superfície do solo. Para além disso o movimento de ar entre as folhas retira grande parte do calor absorvido do sol.

Urbanismo

As decisões relacionadas com o urbanismo, em especial nas cidades, têm impacto significativo no conforto térmico e visual proporcionado pelas edificações. A tentativa de melhoria do comportamento ambiental das edificações deve começar pela correta concepção do espaço público que circunscreve o local de implantação, gerando um bairro e, por conseguinte, uma cidade que ofereça bem estar às pessoas (BUSTAMANTE G., 2009). De acordo com Bustamante G. (2009) e Barroso-Krause (2011), apontam-se as seguintes recomendações relativamente aos planos urbanísticos:

- Promover o acesso equitativo ao sol para as edificações;
- O traçado das vias deve promover as orientações mais propícias para os edifícios;
- O loteamento deve ser flexível de forma a aumentar a possibilidade de manejar as forma dos lotes individuais, otimizando a sua orientação;
- A largura das ruas, a presença de árvores e de edifícios no entorno são fatores que deverão ser planeados já que têm impacto ao nível do acesso à radiação solar;

- Ao desenhar um conjunto de moradias, uma ferramenta útil para determinar as zonas de conflito de acesso ao sol, é o “padrão de sombras”, que está determinado para Inverno numa certa latitude e projeta a área na qual não existirá acesso ao sol durante um determinado dia. Uma ferramenta complementar é a determinação das zonas solares que permitem avaliar a área edificável de um lugar:
- O alinhamento dos lotes é também um fator com impacto na disponibilidade dos ventos, sua direção e velocidade;

- **Estratégias Bioclimáticas**

Conforme referido, a arquitetura bioclimática concebe o projeto de uma edificação tendo em conta as características do microclima particular do local de implantação com vista ao conforto dos usuários. As variáveis arquitetônicas são definidas fazendo uso dos recursos climáticos disponíveis para proporcionar condições adequadas de conforto térmico e visual. Por não fazerem uso de energia este tipo de estratégias são designadas de estratégias passivas.

O diagnóstico climático de determinada local permite a construção de dois instrumentos referidos na bibliografia como essenciais ao projetista que ambiciona tirar partido das técnicas passivas para proporcionar conforto térmico e visual aos ocupantes de uma edificação: a *Carta Bioclimática* e o *Diagrama Solar*.

De acordo com Romero (2000) a Carta Bioclimática, construída sobre um diagrama psicrométrico, indica a partir dos dados horários de temperatura e pressão de vapor para cada um dos meses do ano as estratégias de projeto que permitem tornar os ambientes termicamente agradáveis, utilizando para isso a própria edificação e seus elementos construtivos. O diagrama bioclimático utiliza as respostas dadas por vários usuários a diferentes situações de temperatura do ar e umidade para determinar zonas de resposta sobre o diagrama. Uma determinada combinação entre umidade e temperatura, que a maioria das pessoas aceita sem maior problema, é denominada “zona de conforto”. Fora de seus limites estão valores associados a situações de desconforto higrotérmico, caracterizadas por reações físicas imediatas (secura na boca, suor, frio “nos ossos”, ou frio úmido) ou em médio prazo (fadiga, desatenção, retesamento muscular) que podem ser corrigidas ou minoradas se

aplicadas determinadas estratégias em função das potencialidades climáticas locais (BARROSO-KRAUSE, 2011).

A Carta Bioclimática fornece as primeiras informações para ao projetista iniciar o processo de concepção do projeto. Tais indicações podem contribuir para a fase de concepção do projeto arquitetônico, mas, necessariamente a avaliação do desempenho térmico do mesmo precisará ser realizada após detalhamento do projeto básico (BARROSO-KRAUSE, 2011). Com base em Lamberts, Dutra e Pereira (1997), a carta bioclimática mais adaptada ao clima brasileiro é a versão de Givoni de 1992 que, conforme se pode observar a partir da figura 7, distingue 9 estratégias de acordo com as condições climáticas, todas estratégias passivas com exceção da 5 e da 9:

Figura 7 – Carta Bioclimática

Fonte: Givoni, 1992

1. *Zona de conforto* - compreende temperaturas entre 19°C e 29°C e umidade relativa entre 20% e 80%. Tais valores diferem dos valores definidos para os chamados países desenvolvidos já que hábitos culturais (como vestuário) e controle de ventilação permitem a aclimatização das pessoas até limites de temperatura e umidade relativa mais amplos;
2. *Zona de ventilação* - Estratégia para melhorar o conforto térmico acima dos 80% de umidade (com temperaturas acima dos 20°C) ou para temperaturas acima dos 29°C desde que a umidade seja inferior;
3. *Resfriamento Evaporativo* – Estratégia utilizada para baixar a temperatura em

climas quentes e secos (temperaturas elevadas e níveis baixos de umidade);

4. *Massa térmica para resfriamento* - Uso da inércia térmica de uma edificação para diminuir a amplitude da temperatura interior em relação à exterior, evitando os picos em climas com condições climáticas perto da zona de conforto;
5. *Ar condicionado* – Estratégia necessária em climas com temperaturas para os quais o uso de sistemas naturais de resfriamento pode não ser suficiente para garantir o conforto dos usuários;
6. *Umidificação* – Estratégia a ser promovida quando a umidade é muito baixa e a temperatura situa-se abaixo dos 27°C;
7. *Massa térmica e aquecimento solar*. Para temperaturas entre os 14° e os 20°C é possível recorrer à inércia térmica dos fechamentos conjugada com aquecimento solar passivo para compensar as baixas temperaturas e ao isolamento térmico para evitar as perdas de calor da edificação para o exterior;
8. *Aquecimento Solar passivo* – Para temperaturas entre os 10°C e os 14 °C deverá ser usado isolamento térmico rigoroso com superfícies envidraçadas viradas para o sol e aberturas reduzidas nas orientações menos favoráveis;
9. *Aquecimento Artificial* - Quando as temperaturas se situam abaixo do 10°C, devem ser usadas técnicas ativas de aquecimento complementares ao aquecimento solar de forma a minimizar o consumo de energia para condicionamento.

O segundo instrumento útil ao projetista na fase de projeto da edificação é o Diagrama Solar, representado na figura 8. Trata-se de um instrumento específico para cada latitude e permite conhecer a posição do sol em qualquer hora e dia do ano. Os círculos concêntricos representados representam a altura solar⁶ e as linhas concêntricas representam o ângulo azimutal. O diagrama solar permite ao projetista trabalhar a geometria do projeto de forma a maximizar o uso do sol como fonte de iluminação e, usando as informações do diagrama de Givoni, estabelecer as melhores relações da edificação com a insolação através das variáveis arquitetônicas. Complementarmente ao Diagrama Solar faz-se necessário um estudo, sobre planta de relevo, para verificar as mudanças ocasionadas por topografia, cobertura vegetal, densidade urbana, etc.

⁶ Sendo que o círculo externo representa o horizonte para o qual o ângulo solar é 0° enquanto que o ponto central representa uma altura solar de 90°.

Figura 8 – Diagrama da trajetória do sol

Fonte: Bustamante G., 2009

Em função deste conhecimento é possível administrar o projeto (distribuição dos espaços interiores, tamanho e disposição das janelas, proteções solares, distribuição de sistemas de aproveitamento de energia solar, e outros) e sua relação com o entorno de forma a captar a radiação solar nos momentos em que ela se adéque às estratégias levantadas no diagrama de Givoni para um período determinado (BARROSO-KRAUSE, 2011).

De seguida apresenta-se com maior detalhe as estratégias bioclimáticas de condicionamento ambiental e de iluminação passivas.

• **Condicionamento Ambiental Passivo**

As condições térmicas proporcionadas pela edificação dependem do desempenho térmico da mesma e do balanço energético que se estabelece no edifício. O balanço energético do edifício resulta do cômputo de perdas e ganhos térmicos e representa a demanda de aquecimento ou resfriamento da edificação. De acordo com Bustamante G. (2009), Krigger e Dorsi (2009) e Lamberts, Dutra e Pereria (1997), o balanço energético do edifício deve ter em consideração os seguintes fenômenos que variam instante a instante em um período de tempo em função da variabilidade das condições metrológicas do exterior e das atividades que ocorrem no interior da moradia:

- *Transmissão de Calor* através de elementos opacos e translúcidos da envolvente do edifício;
- *Ganhos ou Perdas de calor* por trocas de ar entre o interior e o exterior (ventilação e infiltrações);
- *Ganhos solares* através de elementos opacos e translúcidos;

- *Ganhos Internos* resultantes do número de ocupantes e da sua atividade física e dos equipamentos que operam dentro da edificação (ex. lâmpadas, televisões, computadores, etc).

O edifício deve ser concebido como um sistema capaz de proporcionar conforto térmico aos seus ocupantes, fazendo uso de estratégias que necessitem do menor consumo de energia possível (BUSTAMANTE G., 2009). É importante destacar que o edifício deve apresentar bom comportamento térmico durante todo o ano, pelo que as estratégias escolhidas devem ser compatíveis entre si, ou seja, uma boa estratégia para o período quente deve, pelo menos, não afetar o conforto nos períodos de frio (BUSTAMANTE G., 2009). Um edifício ideal maximiza a retenção de calor na estação fria e minimiza os ganhos de calor durante a estação quente, de forma a reduzir as necessidades de aquecimento e resfriamento (KRIGGER; DORSI, 2009). Para obter conforto numa edificação em períodos frios, conforme apresentado na figura 9, é necessário:

- Captar a energia proveniente do sol através da presença de materiais translúcidos na envolvente;
- Conservar a energia gerada no interior e captada através de materiais isolantes na envolvente;
- Armazenar a energia gerada e captada por intermédio de materiais com alta inércia térmica;
- Permitir a distribuição do calor no espaço interior de maneira a que a temperatura se torne homogênea dentro dos ambientes da moradia.

Já nos períodos de calor do ano, de acordo com a figura 10, para obter conforto com mínima demanda de energia, as edificações devem ser capazes de:

- Proteger a envolvente (tanto opaca como transparente) dos ganhos solares;
- Minimizar os ganhos de calor internos;
- Extrair o calor que entrou na edificação ou que se gerou no seu interior através de ventilação;
- Se necessário esfriar-se por outra estratégia natural.

Figura 9 - Estratégias para obter conforto térmico em períodos frios

Fonte: Bustamante G., 2009

Figura 10 - Estratégias para obter conforto térmico em períodos quentes

Fonte: Bustamante G., 2009

Para obter as condições higrotérmicas adequadas, o projetista poderá lançar a mão a um conjunto de estratégias, entre as quais as citadas no Diagrama de Givoni. Cabe referir que Lamberts, Dutra e Pereira (1997) destacam que a arquitetura residencial tem maior potencial de utilização de recursos naturais de condicionamento e iluminação e, como tal, de aplicação de estratégias passivas de condicionamento tais como ventilação, resfriamento evaporativo, umidificação, massa térmica, e aquecimento solar de seguida detalhadas.

Ventilação

A ventilação é uma estratégia que pode ter como objetivo o resfriamento das edificações (em climas quentes) e/ou a renovação do ar interior (UNEP, 2010). A ventilação para efeitos de qualidade do ar interior é essencial para a habitabilidade das edificações já que são as trocas de ar que garantem a manutenção da qualidade do ar para os usuários. As taxas de ventilação são baseadas na necessidade de renovação de ar em particular de oxigênio, remoção de odores, CO₂, vapor de água e poluentes, em função da atividade ali exercida. O seu valor é um fator determinante no projeto de dimensões, tipos e posição das aberturas nas edificações (BARROSO-KRAUSE, 2011). Para o Brasil, a Norma da ABNT NBR 15.220-3: 2005 define o valor das taxas de renovação do ar que devem ser conseguidas para garantir a qualidade do ar (ABNT, 2005).

Quanto à ventilação para resfriamento, em climas quentes e úmidos, quando o corpo perde pouco calor por radiação e por condução (porque as temperaturas das superfícies do ambiente também estão elevadas) e se refresca pouco através da transpiração (devido à alta umidade relativa do ar) as correntes de ar controladas podem contribuir significativamente para o conforto higrotérmico nas edificações (BARROSO-KRAUSE, 2011). A ventilação pode ser promovida de forma natural (sem recurso a fontes energéticas) ou mecânica (em climas frios ou onde os ambientes sejam artificialmente condicionados). Com base em Bittencourt e Cândido (2010), a ventilação natural pode ser produzida por diferença de pressão estática ou dinâmica nas paredes que separam os espaços internos e externos de uma edificação em função de diferenças de temperatura (também conhecida como ventilação por efeito chaminé) ou pelo movimento do ar que ocorre em função das pressões dinâmicas produzidas pelo vento ao atingir as edificações (mais conhecida como ventilação natural devido a ação dos ventos). Já a ventilação mecânica faz uso de equipamentos como exaustores e ventiladores.

Relativamente à ventilação natural para resfriamento, distingue-se ventilação diurna e ventilação noturna. A primeira deve ser evitada quando a temperatura se situa acima dos 29°C e a umidade é inferior a 60%, condições em que o fluxo térmico resultante da convecção acabaria resultando em ganhos de calor indesejáveis. O inverso também pode acontecer quando as temperaturas exteriores e/ou o fluxo de ar resultante implica em desconforto por perda térmica excessiva. Este gerenciamento da relação entre condições externas e internas para ventilação implica o envolvimento do usuário, em parte responsável pela eficácia deste tipo de estratégia.

O vento é um elemento climático com forte impacto ao nível das possibilidades de ventilação natural. Em locais onde o vento possui direção estável e velocidade acima 3,00 m/s, a ventilação proporcionada pela força do vento é a estratégia de refrigeração mais simples e eficiente (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010). Conforme referido no tópico dedicado ao clima e aos fatores que o explicam, as características do vento podem ser alteradas pela presença de vegetação, edificações e outros anteparos naturais ou artificiais. Em zonas muito urbanizadas (com muitos obstáculos), o vento não é disponibilizado com a intensidade que se mede na estação meteorológica, mas sim geralmente com valores reduzidos, e eventualmente até em direção contrária. A tabela 4 apresenta potenciais de aproveitamento do vento em função da rugosidade do local. Demonstra-se que a urbanização compromete a utilização dos ventos para estratégias de ventilação.

Tabela 4 - Potenciais de aproveitamento do vento em função da rugosidade do local

Tipo de entorno	% de aproveitamento
Planície, zona rural de plantio, lagos, etc.	100
Subúrbios de casas, urbanismo pouco forte	66
Centro de cidade, áreas densamente construídas	33

Fonte: Barroso-Krause (2011)

De acordo com Barroso-Krause (2011), a configuração do fluxo de ar no interior de uma construção é determinada por três fatores principais: o tamanho e a localização das aberturas de entrada do ar na parede; o tipo e a configuração das aberturas usadas; a localização de outros componentes arquitetônicos nas proximidades das aberturas, tais como divisórias internas, painéis verticais ou horizontais adjacentes a elas (protetores solares e marquises, por exemplo), vegetação, captadores de vento, pátios, peitoril ventilado, pérgulas, pilotis entre outros.

No que diz respeito às aberturas, um bom projeto de esquadria e a posição de aberturas devem permitir ao usuário resfriar ou aquecer seu ambiente em caso de queda de temperatura, em caso de chuvas ou à noite, mantendo a obscuridade e a renovação de ar mínima necessária ao desenvolvimento de suas atividades. A correta escolha do tipo de abertura, componentes móveis e posição no ambiente projetado é que determina o melhor aproveitamento dos ventos incidentes e garante a permeabilidade da edificação (BARROSO-KRAUSE, 2011).

Elementos que direcionam o fluxo de ar para o interior tais como elementos que se

salientem da volumetria ou no entorno podem ser usados para incrementar ou reduzir o volume e velocidade do fluxo de ar para o espaço interno. Com base em Bustamante G. (2009), também a forma da edificação é capaz de modificar os efeitos do vento em alguns casos acelerando e em outros casos criando correntes de vento secundário ou até desviando-o tanto em altura como em superfície, criando zonas de calma denominadas “sombras de vento”. As sombras de vento podem ser aumentadas ou diminuídas em função da altura e da largura do edifício ou pela presença de quebra ventos (barreiras de proteção). Fechamentos como muros de alvenaria, arbustos, cobogós, gradis, possuem diferentes níveis de permeabilidade e modificam a qualidade do acesso aos ventos pela edificação.

É importante considerar que, quando o resfriamento por ventilação for empregado, deverá prever-se algum esquema de ventilação mecânica para fazer frente aos períodos de calmaria. Deverá igualmente prever-se formas de controle da ventilação para períodos indesejáveis (condições de muito frio ou calor extremo) (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010). Mesmo quando a ventilação não é uma estratégia suficiente para proporcionar conforto aos usuários de uma edificação ela não deve ser descartada, pois pode significar uma redução do tempo de uso de outros sistemas mais intensivos em consumo de energia.

Resfriamento Evaporativo

A evaporação da água pode reduzir a temperatura e simultaneamente aumentar a umidade relativa de um ambiente. De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (1997), distinguem-se estratégias de resfriamento evaporativo direto e indireto. As primeiras incluem: uso de vegetação, fontes de água ou outro recurso que se fundamente na evaporação de água diretamente no ambiente que se quer resfriar. Já as estratégias indiretas incluem: tanques de água sombreados no telhado (com a evaporação a água perde calor diminuindo a temperatura do teto e a temperatura média do interior); o uso de telhas não vitrificadas que sendo porosas absorvem a água da chuva e do sereno que posteriormente é evaporada com incidência do sol. Na ausência de chuva pode provocar-se o umedecimento periódico do telhado com tubulações perfuradas instaladas e/ou forrar as paredes externas da edificação com vegetais (do tipo trepadeiras) sendo que em climas frios devem ser usadas plantas de folha caduca que permitam a exposição solar da edificação na estação fria. Esta estratégia exige uma boa taxa de ventilação para evitar o acúmulo de vapor de água.

Massa Térmica

A estratégia de massa térmica faz uso da propriedade de inércia térmica dos materiais da envoltória e permite retardar as oscilações de temperatura interna face às temperaturas exteriores (UNEP, 2010). O calor armazenado na estrutura térmica do edifício durante o dia é devolvido somente à noite quando as temperaturas externas diminuem. De forma complementar, a estrutura térmica resfriada durante a noite mantém-se fria durante a maior parte do dia, reduzindo as temperaturas interiores neste período. Além do uso da massa térmica dos fechamentos, o arquiteto pode tirar vantagens das propriedades de inércia térmica da terra para amenizar as temperaturas no interior da edificação (o solo mantém-se em temperaturas mais amenas que o ar exterior). O calor armazenado no solo pode ser útil em locais onde as noites são frias, mas os dias são quentes, ou seja, onde há grande amplitude diária de temperaturas (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997). Assim como a escolha dos revestimentos externos, a escolha dos materiais constituintes de paredes externas e coberturas é muito importante para as trocas térmica, pois afeta o desempenho de uma edificação e a oscilação horária de sua temperatura interna. Um material de grande capacidade térmica, como o concreto, pode atrasar a passagem do fluxo de calor de um ponto a outro, alterando o desempenho térmico final. Do mesmo modo, outro de baixa capacidade térmica, como o vidro ou o aço, transferirá, quase que imediatamente, as condições de temperatura da face externa para a interna (BARROSO-KRAUSE, 2011).

Umidificação

A umidade do ar, conjugada com a temperatura, é um elemento crítico no conforto higrotérmico. A umidade pode ser modificada nas escalas mais próximas à edificação ou mesmo dentro da edificação na presença de água ou de vegetação (umidificação do ar pela presença de massas de água, como lagos e fontes, ou pela evapotranspiração resultante da presença de vegetação).

Aquecimento solar

Pode ser conseguido de forma direta permitindo o acesso da radiação solar através de aberturas laterais ou zenitais promovendo o efeito de estufa. Estratégias indiretas incluem a inclusão na edificação de jardins de inverno que captam a radiação solar distribuindo-a aos ambientes interiores ou através de uma estratégia do tipo *Parede Trombe* que é uma parede

com elevada massa térmica nas orientações expostas à insolação à qual é acrescentado um vidro que evita que a parede perca calor por convecção a radiação para o exterior. Forma-se uma convecção induzida pelo aquecimento do ar o espaço entre o vidro e a parede.

Sombreamento

O sombreamento é uma estratégia crucial no desempenho do edifício em particular em climas quentes (úmidos e secos) onde a radiação solar é uma variável climática indesejável provocando sobreaquecimento dos ambientes. Relativamente aos climas temperados e frios os ganhos de calor solar são desejáveis no inverno para aquecimento solar, mas podem ser indesejáveis no verão (UNEP, 2010). Trata-se de uma estratégia que serve ao propósito de desempenho térmico da edificação ou de uma divisão particular e para efeitos de disponibilidade de luz.

O sombreamento pode ser conseguido com recursos a proteções solares, mas também pelo projeto de elementos externos à edificação tais como muros e vegetação. As proteções solares podem ser do tipo horizontal (ex. beirais) ou vertical (ex. cobogós), fixas (ex. varanda) ou móveis (ex. persiana) e internas (ex. cortina) ou externas (ex. toldo). Podem ainda estar incorporadas na arquitetura da moradia ou ser projetadas através de algum elemento exterior a ela como vegetação e barreiras externas (ex. muros) (BUSTAMANTE G., 2009). Os diferentes tipos de proteções solares podem ser combinados e dimensionados para cada necessidade particular, fazendo uso dos diagramas e cartas solares correspondentes à latitude do lugar onde se vai implantar a edificação.

No hemisfério sul, para latitudes mais baixas e para orientação Norte, a proteção de elementos translúcidos voltados para Norte é possível através de beirais ou elementos horizontais por cima das janelas. Para obter uma maior efetividade de proteção e captação solar através da janela, podem desenhar-se elementos horizontais móveis que permitem 100% de proteção e captação (BUSTAMANTE G., 2009). Para orientações oriente e poente, é recomendável que a proteção solar seja do tipo vertical exterior. As proteções horizontais não são eficazes para estas orientações uma vez que não obstruem a radiação do sol na sua totalidade (os ângulos solares aumentam até 90° durante a manhã e reduzem-se até valores perto do zero durante a tarde).

As proteções solares externas evitam que a radiação solar incidente se transfira para o interior, impedindo que aconteça efeito de estufa. Contudo, a sua colocação deverá ter em conta as necessidades de iluminação e o regime de ventos. Elementos protetores móveis

poderão ser mais efetivos se utilizados durante todo o ano, sendo adaptáveis a diversas condicionantes do clima exterior. Lamberts, Dutra e Pereira (1997) destacam a *light shelf* que é um tipo de proteção solar que divide a abertura em duas porções horizontais, sendo a superior destinada à iluminação e a inferior à visão e ventilação. Na sua operação intercepta a radiação direta do sol e redireciona a luz para o forro, reduzindo os ganhos de calor solar e uniformizando a distribuição de luz natural no interior.

A proteção solar em elementos opacos da moradia (fachadas ou lajes) também é recomendável para evitar o sobre aquecimento do espaço interior. Dada a maior dificuldade de serem tratadas com sombreamento integrado, como beirais e brises, podem sê-lo através do uso de elementos vegetais (BARROSO-KRAUSE, 2011)

Outras estratégias ao alcance dos projetistas

- Atendendo a que as superfícies apresentam diferente emissividade em função do material e da cor, a escolha das cores dos fechamentos deverá estar de acordo com as necessidades de captação de calor para o interior da edificação;
- A minimização das trocas térmicas através de fechamentos opacos pode ser promovida através da escolha de materiais com valores baixos de Transmitância Térmica e da projeção de fechamentos com múltiplas camadas⁷;
- A escolha do tipo de material translúcido nas aberturas influencia fortemente a quantidade de radiação direta que atinge o interior da moradia provocando aquecimento por efeito de estufa. Os diferentes tipos de vidro apresentam diferentes valores de transmissividade. Com base em Lamberts, Dutra e Pereira (1997) destacam-se os principais tipos de vidro utilizados na construção civil: *vidro simples* que permite boa visibilidade e apresenta alta transmissividade à radiação solar (de onda curta); *vidro verde* que apresenta menor transmissividade que o vidro simples; *películas e vidros absorventes* que permitem reduzir a transmissividade à onda curta, mas implicam numa forte redução da radiação para iluminação para além de serem altamente absorventes de onda longa e pouco reflexivos; *películas e vidros reflexivos* que apresentam diferentes grau de reflexividade para onda longa e onda curta (quando reflexivos à onda curta reduzem o ingresso de calor e quando reflexivos à onda longa

⁷ Podendo uma delas ser uma câmara de ar dentro das quais as trocas ocorrem por convecção e radiação em vez de condução.

reduzem as perdas de calor para o exterior); *plásticos* são transparentes à onda longa que o vidro simples permitindo a redução do efeito de estufa; *camadas múltiplas* é uma solução que resulta da combinação de dois ou mais tipos de vidro para produzir as condições desejadas;

- As perdas e ganhos de condução de calor em fechamento translúcidos podem ser minimizados dobrando o número de vidros de uma janela e colocando uma camada de ar entre eles. Tal medida é requisito legal em muitos países para evitar trocas de calor através de um vidro simples em ambientes condicionados artificialmente (BARROSO-KRAUSE, 2011);
- No hemisfério sul, para evitar sobreaquecimento nos períodos de elevada radiação solar, é recomendável orientar as janelas para Norte e evitar as janelas orientadas a oriente-poente (BUSTAMANTE G., 2009);
- Minimizar as infiltrações de ar (definidas como o ar que penetra por frestas e que não tem objetivos de ventilação) que têm impacto negativo uma vez que o ar infiltrado geralmente está em condições indesejáveis de temperatura e umidade relativa podendo causar a diminuição da eficiência do equipamento de climatização;
- Distribuição dos ambientes da edificação de acordo com a orientação adequada. Para o setor residencial, de acordo com Bustamante G (2009), assumindo um critério de obter o máximo acesso ao sol nos períodos frios do ano, os recintos que são utilizados pela família na maior parte do dia (salas e dormitórios) devem localizar-se referencialmente na fachada Norte, e a distribuição dos restantes cômodos na fachada sul (cozinha, banhos, entrada, circulação e escadas);
- Em cidades de elevada densidade e em climas quentes, a opção por telhados frios⁸ para a cobertura pode constituir um diferencial significativo nos ganhos térmicos da edificação;
- Para assegurar um bom comportamento térmico da envolvente é importante, em caso de necessidade de isolamento térmico, que este seja bem instalado evitando pontos sem proteção. Além disso, é importante evitar a presença de pontes térmicas através das quais passa um maior fluxo de calor face ao que passa na envoltória quando esta

⁸ De acordo com EPA (2008) os telhados frios são constituídos por materiais altamente refletivos e com elevada emissividade que conseguem manter-se de 28-33°C mais frescos que materiais tradicionais num período de pico de calor no Verão;

está devidamente isolada.

- **Iluminação Natural**

O uso da luz natural em edificações, em especial as de uso principalmente de dia pode produzir uma contribuição significativa para a redução do consumo de energia elétrica, melhoria do conforto visual e bem estar dos ocupantes pela substituição da luz artificial. A luz natural possui uma variabilidade e qualidade mais agradáveis e apreciadas que as proporcionadas pela iluminação artificial (ABNT, 2005b). Lamberts, Dutra e Pereira (1997) destacam que a iluminação natural apresenta uma eficácia em geral maior quando comparada com outras fontes de luz artificial e introduz menor quantidade de calor por lúmen para o interior de um edifício.

A disponibilidade de iluminação natural dentro de uma edificação vai depender da adequação do projeto luminotécnico às condições geográficas e climáticas locais e do conhecimento do entorno do edifício. Um bom projeto de iluminação natural tira proveito e controla a luz disponível, maximizando suas vantagens e reduzindo suas desvantagens. As decisões mais críticas a este respeito são tomadas nas etapas iniciais de projeto. O primeiro passo no desenvolvimento de projeto de sistemas de iluminação natural consiste no conhecimento da disponibilidade de luz natural.

Um projeto de iluminação natural deverá considerar como variáveis a *radiação solar direta e difusa*, a *nebulosidade* e os níveis externos de *iluminância e luminância* dependentes do tipo de céu e da latitude do lugar (GONÇALVES; VIANNA; MOURA, 2011; BUSTAMANTE G, 2009). A *luz direta* é constituída pela radiação solar que atravessa a atmosfera e atinge a superfície diretamente em forma de feixe de raios paralelos. Outra fração da radiação é difundida pelas camadas da atmosfera, nuvens e outros elementos (como a própria composição do ar), constituindo a chamada *luz difusa*. Esta última por ser emitida pelo céu em todas as direções, é homogênea e explica a possibilidade de existência de luz sem a presença direta dos raios solares, ampliando as chances de se projetar com a luz natural, sem riscos de se ter aquecimentos desvantajosos. Tanto a luz direta como a luz difusa compõem a luz natural diurna. Para efeito de simplificação de conceitos e cálculos, o céu, estabelecido para os estudos de trajetória do Sol, é considerado como sendo uma grande luminária em

forma de meia esfera chamada de abóbada celeste (GONÇALVES; VIANNA; MOURA, 2011).

De acordo com a bibliografia estudada, a iluminação proveniente da luz difusa (abóbada celeste) possui características mais apropriadas para a iluminação de ambientes. Enquanto a radiação solar direta pode resultar em alta carga térmica e ofuscamento para além de apresentar variações mais acentuadas e imprevisíveis, a luz do céu é mais uniforme e oscila em uma faixa menor, sendo, portanto, mais compatível com as tarefas em interiores. Assim, embora a luz do sol seja a fonte fundamental de luz natural, os métodos de cálculo, normalmente consideram apenas a iluminação que entra pelas aberturas, proveniente da parcela de céu visível, recomendando o controle e obstrução da luz solar direta (GONÇALVES; VIANNA; MOURA, 2011 e BUSTAMANTE G., 2011).

Neste contexto, para efeitos de um projeto luminotécnico, a luz que atinge um determinado ponto no plano de trabalho (num ponto interior do ambiente), representado na figura 11, provém de três fontes: componente de céu corresponde à luz proveniente da abóbada celeste; componente de refletância exterior da radiação solar sobre as superfícies exteriores; componente de refletância interior que corresponde à reflexão interna dos componentes anteriores nas superfícies do espaço analisado (depende da natureza das paredes e da claridade e cores). O somatório dessas três parcelas constitui o *Fator de Luz Diurna* que representa a parcela de luz difusa proveniente do exterior que atinge o um ponto posicionado no plano de trabalho. É um número constante e característico de cada ambiente, que caracteriza a eficiência do local quanto à iluminação natural.

Figura 11 – Fontes de luz num ponto do plano de trabalho

Fonte: Bustamante G., 2009

Outra variável a ser considerada é a nebulosidade. As condições climáticas regionais

exercem ação direta na determinação da configuração básica dos tipos de céu: em regiões de *clima temperado* o céu é predominantemente nublado; no clima *quente e seco*, o céu é claro e pouco brilhante pela pouca quantidade de partículas de água na atmosfera; no *clima quente e úmido*, o céu aparece como parcialmente nublado e com muita luminosidade, em decorrência, principalmente, de alta quantidade de vapor de água na atmosfera. É interessante destacar que, em especial no meio urbano as camadas de poluição agem como barreiras aos raios luminosos, refletindo-os de volta para o espaço superior. De acordo com Gonçalves, Vianna e Moura (2011), a redução de luz natural que atinge uma edificação numa cidade em que as camadas próximas de ar estão carregadas de partículas e gases poluentes é de até 60%.

A norma ABNT NBR 15215-2:2005 estabelece procedimentos para estimar a disponibilidade da luz natural em planos horizontais e verticais externos, para condições de céu claro, encoberto e parcialmente encoberto ou intermediário. Os valores determinados de acordo com a metodologia apresentada na norma apresentam boa confiabilidade, pois levam em conta aspectos da órbita solar relativa a cada latitude, dia e mês do ano, assim como distintas condições atmosféricas. A ABNT NBR 15215-3:2005, versão corrigida 2007, descreve um procedimento de cálculo para a determinação da quantidade de luz natural incidente em um ponto interno num plano horizontal, através de aberturas na edificação.

Bustamante G. (2009) aponta um conjunto de passos a ser seguidos para conceber uma estratégia eficiente de aproveitamento de iluminação natural:

1. *Captar a quantidade adequada de luz natural (de acordo com o uso do ambiente) considerando a porção de iluminação que efetivamente será transmitida para o interior através da janela.* Ao chegar ao entorno da edificação, a luz possui características de intensidade, direção, cor, duração e mutabilidade ao longo do tempo (não passível de controle). Antes de atingir a abertura, essa mesma luz recebe a influência do próprio entorno do edifício nomeadamente das superfícies que o rodeiam (obstruções construídas ou naturais e até o próprio piso do entorno imediato à abertura) que são responsáveis por fenômenos de reflexão e absorção, em função da sua cor e textura, com impacto na disponibilidade de luz para as aberturas da edificação. Ao se aproximar da abertura, a luz pode ainda ser influenciada por elementos construtivos do próprio edifício que a impeçam de incidir diretamente, total ou parcialmente, no plano da abertura, tais como as já referidas proteções solares (GONÇALVES; VIANNA; MOURA, 2011);
2. *Ingressar para o interior da moradia a quantidade de luz natural que se deseja de acordo com o objetivo do projeto.* Ao atingir uma abertura, a luz natural encontra outros

elementos que determinam a sua alteração em particular a posição e inclinação da abertura (lateral ou zenital), sua dimensão e a dos caixilhos, o tipo de vidro, sua manutenção e a espessura do paramento na qual esta contida a abertura, que pode contribuir para graduar a luz, ou pode não opor nenhuma resistência a sua passagem. A iluminação lateral (por janelas) corresponde a um tipo de iluminação dirigido, mas limitado em profundidade contrariamente ao que sucede com a iluminação zenital que é mais uniforme. O dimensionamento das janelas laterais com vista à boa distribuição da iluminação deve ter conta que um espaço estará potencialmente bem iluminado para uma profundidade máxima (distância) correspondente a 2 vezes a altura da janela, medida desde o piso, valor que pode ser reduzido para 1,5 vezes a altura para condições de céu nublado. Relativamente às clarabóias (janelas horizontais que utilizam a iluminação zenital) são aberturas que aproveitam o ângulo de maior luminância do céu pelo que o potencial de captação de luz é três vezes superior por unidade de superfície face às aberturas horizontais. Contudo, geralmente apresentam o problema de produzir elevados ganhos térmicos no Verão, incrementando o risco de sobreaquecimento. Relativamente ao tipo de vidro é importante considerar a transmissividade: o vidro simples transmite aproximadamente 85% da luz incidente enquanto que para o vidro duplo este valor é de 70%. O efeito da sujidade também pode reduzir a transmissividade em cerca de 10% (GONÇALVES; VIANNA; MOURA, 2011);

3. *Distribuir adequadamente a luz natural para o interior dos ambientes da moradia*, tendo em atenção o reflexo das paredes, teto e mobiliário, e obstáculos que estes possam representar. Neste ponto é necessário ter um cuidado especial com as cores das diferentes superfícies que influenciam a distribuição da luz e o tipo de vidro utilizado (nível de transparência);
4. *Proteger do excesso de iluminação natural*, fenómeno que pode reduzir significativamente as possibilidades de conforto visual interior. Para controlar o ingresso de luz natural dentro de um ambiente pode recorrer-se a proteções solares móveis (como cortinas e persianas) ou elementos fixos (como beirais, toldos e parreiras) (GONÇALVES; VIANNA; MOURA, 2011);
5. *Focar maior intensidade de iluminação em lugares associados a um requisito específico* como, por exemplo, um escritório.

2.2.1.2 Atender a carga térmica com sistemas prediais eficientes (condicionamento ambiental, iluminação e sistemas de aquecimento de água)

- **Condicionamento Ambiental Artificial**

Tal como anteriormente mencionado, a aplicação de estratégias passivas de condicionamento de uma edificação traz como vantagem a redução no consumo de energia. Contudo, em determinadas condições climáticas os sistemas naturais de condicionamento podem não ser suficientes para proporcionar as adequadas condições de conforto. Nesse caso, deverão ser projetadas estratégias ativas, ou seja, as que fazem uso de uma fonte de energia (primária ou secundária) que complementem as estratégias passivas.

O balanço térmico da edificação vai ditar a necessidade de uso de estratégias ativas de condicionamento ambiental de forma a promover as condições adequadas de conforto térmico. Para manter o conforto, os sistemas de condicionamento fornecem ou retiram calor do ambiente a uma taxa aproximada do fluxo que atravessa a envoltória do edifício (KRIGGER e DORSI, 2009). Com base em Krigger e Dorsi (2009), e conforme a figura 12, a carga térmica de aquecimento durante a estação fria é dada pela soma das perdas por transmissão de calor (através do chão, paredes externas e teto supondo-se uma maior temperatura interior que exterior) com as perdas por ventilação e infiltração de ar, às quais se retiram os valores dos ganhos térmicos resultantes dos ganhos solares e da produção de calor interna.

Figura 12 – Carga Térmica de Aquecimento

Fonte: Krigger e Dorsi, 2009

Já no período quente, tal como apresentado na figura 13, a carga térmica de arrefecimento é determinada pelos ganhos solares, ganhos internos, infiltrações e ventilação e transmissão através dos elementos da envoltória. Verifica-se que as perdas de calor por transmissão através da envolvente transformam-se em ganhos de calor tal como a ventilação, quando o ar exterior está a uma maior temperatura que o interior.

Figura 13 – Carga Térmica de Arrefecimento

Fonte: Krigger e Dorsi, 2009

A tabela 5 apresenta um perfil da carga térmica de arrefecimento com base na fonte de calor. Destaca-se a contribuição das aberturas, responsáveis por 63% dos ganhos de calor da edificação.

Tabela 5 - Contribuição de cada elemento do projeto na carga térmica

Elemento	Contribuição de Calor
Parede Externa	9%
Abertura	63%
Ocupantes	7%
Iluminação Artificial	10%
Equipamentos	7%
Infiltração	4%

Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 1997.

Conforme visto anteriormente, a minimização da carga térmica de uma edificação pode ser conseguida em grande parte devido à qualidade do projeto de envoltória. Em teoria deveria ser possível compensar o aumento de custo do exterior do edifício pelas poupanças resultantes de necessidade equipamento de aquecimento e resfriamento de menor dimensão. De acordo com Harvey (2006), na prática, equipamento com menor dimensão pode ser mais caro devido ao baixo nível de produção (baixa procura) em alguns casos o equipamento com a capacidade adequada pode nem estar disponível.

Estratégias ativas de condicionamento de ar incluem ventilação mecânica, aquecimento e resfriamento. Quanto ao aquecimento, existe uma enorme diversidade de equipamentos que vão desde os mais simples como o aquecimento local e direto proporcionado por lareiras, passando por radiador incandescente, painel radiador de baixa temperatura, convetor elétrico (ventilação forçada ou natural), bomba de calor e aquecedor central.

Relativamente ao resfriamento, de acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (1997) os sistemas tipicamente utilizados incluem: ar condicionado de janela, minicentraís, minicentraís do tipo *multisplit*, *self contained*, *chiller* e *fan coil*. Dependendo do tipo de equipamento, os sistemas podem ser usados apenas para refrigerar ou para refrigerar e aquecer. As especificações de um sistema de condicionamento de ar devem ponderar o custo/benefício. Os sistemas de ar central consomem menos energia que a solução equivalente com aparelhos de janela, não comprometem a fachada, apresentam maior durabilidade e confiabilidade e menor nível de ruído. Já os equipamentos de janela apresentam grande simplicidade de instalação (uma vez que não precisam de um projeto específico) e permitem climatizar apenas algumas divisões. Estas razões justificam a escolha deste último tipo de equipamento para o setor residencial. A comparação do nível de eficiência energética entre os aparelhos de resfriamento

podem ser feita com base no seu EER (*Energy Efficiency Ratio*).

No Brasil, a norma ABNT 16401-2: 2008 *Instalações de Ar-Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários Parte 2: Parâmetros de Conforto Térmico* especifica parâmetros do ambiente interno que proporcionem conforto térmico aos ocupantes de recintos providos de ar-condicionado. No documento são estipulados os parâmetros ambientais suscetíveis de produzir sensação aceitável de conforto térmico em 80% ou mais das pessoas, de um grupo homogêneo em termos de atividade física e tipo de roupa usada. Os parâmetros ambientais considerados são a temperatura operativa, a velocidade do ar e a umidade relativa do ar. Por sua vez, estes fatores ambientais dependem dos seguintes fatores pessoais tais como: tipo de roupa usado pelos ocupantes que determina a resistência média à troca de calor do corpo com o ambiente; nível de atividade física das pessoas que determina sua taxa de metabolismo (geralmente expressa em met^9).

A tabela 6 apresenta os parâmetros definidos pela Norma ABNT 16401, que se enquadram nas zonas de conforto estipuladas pela ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) no livro “*Handbook Fundamentals 2005*”, capítulo 8 – Thermal Comfort.

Tabela 6 – Parâmetros de conforto em ambientes condicionados NBR 16402-2

Estação	Temperatura	Umidade Relativa	Velocidade Média do Ar (não direcional)		Roupa (clo^{10})
			Distribuição Ar Convencional	Distribuição de Ar por Sistema de Fluxo de Deslocamento	
Verão	22,5°C a 25,5°C	65%	= $\leq$ 0,20 m/s (grau de turbulência 30% a 50%)	= $\leq$ 0,25 m/s (grau de turbulência = $\leq$ 10%)	0,5 clo
	23,0°C a 26,0°C	35%			
Inverno	21,0°C a 23,5°C	60%	= $\leq$ 0,15 m/s (grau de turbulência 30% a 50%)	= $\leq$ 0,20 m/s (grau de turbulência = $\leq$ 10%)	0,9 clo
	21,5°C a 24,0°C	30%			

Fonte: ABNT, 2008.

Por fim, relativamente à ventilação mecânica, conforme já referido, é aplicada com recurso a ventiladores e exaustores. Apontam-se como vantagens: economia de energia, baixo custo, facilidade de instalação, o fato de refrescar o usuário sem alterar a temperatura do ar (a convecção criada ajuda na evaporação do suor e na remoção do calor da pele aumentando a

⁹ 1 met =58,2 W/m²

¹⁰ 1 clo =0,155 m².K/W

sensação de conforto).

A eficiência energética de sistemas de condicionamento ativos deve ter em conta alguns parâmetros tais como o correto dimensionamento, escolha por equipamentos de alta eficiência, manutenção regular e monitoramento do isolamento de dutos de ar e tubulações de água.

- **Aquecimento de Água**

Conforme já referido quando se abordaram os tipos de variáveis arquitetônicas, os sistemas mais comuns para aquecimento de água incluem: chuveiro elétrico, aquecedor elétrico de passagem, aquecedor elétrico por acumulação, aquecedor a gás de passagem, aquecedor a gás de acumulação; aquecedor solar de acumulação com *backup* elétrico. O chuveiro elétrico é fortemente utilizado no setor residencial pelo seu baixo preço, facilidade de instalação e manutenção. Já os sistemas de aquecimento elétrico de passagem e de acumulação exigem investimentos elevados em infraestrutura elétrica tanto por parte do usuário quanto por parte da concessionária de energia (sobrecarga na instalação elétrica e pela concentração do consumo em horário de ponta).

Em termos de eficiência energética os aquecedores a gás são a melhor opção. Também os sistemas de aquecimento solar e o aquecimento por bomba de calor estão entre as opções a serem promovidas em edificações eficientes. Relativamente ao aquecimento solar recomenda-se orientar os coletores a Norte, com inclinação dependente da disponibilidade de sol da região e do período do ano (em geral valor próximo à latitude local) (BUSTAMANTE G., 2009; BARROSO-KRAUSE, 2011). Um ponto que contribui para redução do desperdício de energia é exigir o isolamento térmico nas instalações incluindo reservatórios.

Para além das questões relacionadas com o dimensionamento do sistema, outros fatores relacionados com o projeto arquitetônico devem ser levados em conta que podem representar uma poupança energética de combustível convencional significativa, tornando o sistema projetado mais eficiente, nomeadamente o ponto de consumo (banho e cozinha) deve estar o mais perto possível dos sistemas de captação e acumulação, permitindo diminuir as perdas de calor resultantes do transporte do fluido através das tubulações.

- **Iluminação Artificial**

Qualquer moradia, mesmo fazendo uso eficiente da luz natural precisar de recorrer a sistemas artificiais, em particular para o período noturno. De forma geral, os sistemas de iluminação artificial devem ser capazes de satisfazer por completo as necessidades de iluminação nas horas noturnas e servir de complemento à iluminação natural sempre que esta não seja suficiente. As condições de iluminação de um ambiente são baseadas na norma *ABNT NBR 5413:1992 – Iluminância de interiores*. Esta norma estabelece os valores de iluminância média mínimos em serviço para iluminação artificial em interiores onde se realizem atividades de comércio, indústria, ensino, esporte e outras de forma a garantir que se tenha iluminância suficiente, boa distribuição de iluminâncias, ausência de ofuscamento e contrastes adequados (distribuição de iluminâncias).

Projetar um sistema de iluminação artificial energeticamente eficiente implica projetar a potência instalada adequada à função a ser executada nos diversos ambientes com equipamentos com elevada eficiência no uso da energia (lâmpadas, reatores e luminárias). De acordo com Gonçalves, Vianna e Moura (2011), a escolha da lâmpada a ser utilizada deve ter em conta os seguintes fatores: sua potência, fluxo luminoso e rendimento, suas características de reprodução, temperatura e aparência de cor, vida útil, custo e sua relação com o sistema adotado (principalmente a curva de distribuição de luz do conjunto lâmpada-luminária). Os principais tipos de lâmpadas são: incandescentes comuns; halógenas a baixa tensão; halógenas dicróicas; halógenas a tensão de rede; fluorescentes tubulares; fluorescentes compactas (simples, dupla, tripla, longa, flat, circulares); lâmpadas a vapor de mercúrio; lâmpadas mistas; lâmpadas de vapor de sódio; lâmpadas multivapores metálicos e LEDs. O equipamento mais comum é a lâmpada incandescente muito utilizada pelo seu baixo custo e pequena dimensão e, de certa forma, enraizamento cultural. No entanto trata-se de um equipamento com um elevado nível de desperdício de energia e uma vida útil curta.

Atendendo a Gonçalves, Vianna e Moura (2011), quando se avalia o custo da energia consumida durante a vida útil das instalações, verifica-se que na maioria dos casos o gasto operacional é várias vezes superior ao investimento inicial. Assim, a eficiência energética dos equipamentos deve ser um fator de decisão fundamental no momento de selecionar as alternativas para atingir os objetivos de projeto, considerando a possibilidade de integrar componentes de tecnologia mais avançada e maior eficiência energética, mesmo que representem um investimento inicial maior.

Ainda de acordo com Gonçalves, Vianna e Moura (2011), a avaliação da eficiência de uma lâmpada realiza-se em função da quantidade de fluxo luminoso emitido pela fonte (em unidades Lumen) e a potência elétrica consumida, medida em Watts (W). Para tal é necessário conhecer as características básicas (incluindo a eficiência) das fontes luminosas disponíveis no mercado para poder tomar uma decisão de desenho informada.

Um último tema de destaque na literatura são os sistemas de controlo ou regulação da iluminação artificial, os quais, dependendo da sua função podem representar uma poupança importante de energia operacional. Neste grupo incluem-se medidas tais como: instalação de sensores de ocupação, controlos programadas por horário, sensores fotoelétricos e divisão de circuitos. Contudo, estes sistemas muitas vezes justificam-se apenas para edifícios de uso intenso de iluminação artificial, não compensando para o caso de moradias residencial. No caso do setor residencial torna-se essencial apostar na educação dos usuários, ou seja, os seus hábitos de eficiência energética. Desta forma, o nível de eficiência da iluminação natural e de consumo energética da iluminação artificial está fortemente relacionado com o comportamento dos usuários (GONÇALVES, VIANNA E MOURA, 2011).

- **Outros equipamentos de uso doméstico consumidores de energia**

Aos sistemas de condicionamento de ar e de iluminação artificiais juntam-se os aparelhos eletrodomésticos enquanto consumidores de energia, em particular energia elétrica, com peso significativos na matriz de consumo de agregados familiares e edifícios de serviços. Nestes casos, a escolha de aparelhos de elevada eficiência por parte do consumidor é facilitada pela existência de programas de etiquetagem que contribuem para criar no mercado a consciência da eficiência energética.

2.2.1.3 Instalar sistemas prediais de produção de energia renováveis que atendam às necessidades energéticas do edifício;

Como último objetivo a ser considerado na fase de projeto para obtenção de uma edificação energeticamente eficiente, recomenda-se, tanto quanto possível, a instalação de sistemas prediais de produção de energia (desejavelmente com recursos a um fonte de energia

renovável) que atendam às necessidades do edifício. Dentro dos sistemas prediais de produção de energia incluem-se, entre outros, os sistemas solares (térmico para aquecimento de água e fotovoltaico para produção de eletricidade), sistemas eólicos e cogeração.

Este tipo de sistema, chamados de sistemas de produção distribuída apresentam como vantagens: a redução da conta mensal de energia proveniente da concessionária (em alguns países acompanhada da possibilidade de venda para a concessionária em caso de produção excedente); diminuição das perdas energéticas na transmissão da eletricidade desde o centro de produção até ao centro de consumo; postergação das necessidades de grandes investimentos de expansão do sistema de oferta de energia, tais como centrais termoelétricas e grandes hidroelétricas, onerosas do ponto de vista econômico, social e ambiental. As principais desvantagens prendem-se com os custos iniciais da tecnologia que ainda condicionam a sua adoção em larga escala. Contudo, tal como se tem observado, o seu preço deverá continuar a diminuir, acompanhando a chamada “curva de aprendizagem”.

O dimensionamento deste tipo de sistemas é um tema que sai fora do escopo desta dissertação, pela extensão e especificidade.

Atingir os três objetivos abordados nas subseções 2.2.1.1, 2.2.1.2 e 2.2.1.3 é um desafio que só poderá ser conseguido se considerados por projetistas desde a fase de projeto. Para tal, tal como destacam Lamberts, Dutra e Pereira (1997), é essencial promover o entrosamento e integração das diferentes especialidades de projetistas tais como arquiteto, engenheiro civil, engenheiro mecânico, engenheiro eletricitista entre outros. O processo tradicional de desenvolvimento de projeto de edifícios é linear e segue uma sequência de passos que impede a análise e concepção do edifício como um sistema integrado. Nesta abordagem, os passos iniciais não são reconsiderados à luz dos resultados de passos seguintes, e as decisões são tomadas com base em custos iniciais, requisitos de tempo e qualidade desejada do produto. Poupanças energéticas significativas podem ser atingidas através de um processo integrado e iterativo envolvendo todos os membros da equipe de projeto (HARVEY, 2006). A integração de decisões significa que o resultado da segunda decisão é tido em conta na decisão do primeiro passo. O foco muda de um processo compartimentado para um processo multidisciplinar. O recurso a *software* de simulação energética é de grande utilidade já que permite estimar previamente o impacto de estratégias de construção no consumo energético permitindo optar pela escolha mais adequada para determinado clima.

2.2.2 Estratégias de Redução do Consumo Indireto

Conforme referido na subseção 2.1.2, o consumo indireto de energia em edifícios inclui a energia “embutida” devido à produção e transporte dos materiais de construção, à energia consumida na própria construção do edifício, na manufatura dos equipamentos que nele operam e no fornecimento de água e infraestrutura sanitária, bem como às perdas de energia primária nos processos de conversão, transmissão e ou transporte da energia utilizada pelo edifício (URGE-VORSATZ, 2009).

Dado o elevado número de fatores que contribuem para o valor da energia indireta consumida numa edificação, a sua minimização pode ser conseguida através de medidas dirigidas a diferentes setores. Porém a dificuldade prende-se com o fato de se tratar de áreas que, na sua grande maioria, saem fora do escopo de atuação do projetista de um edifício. Nos próximos pontos, a presente pesquisa destaca alguns temas relacionados com os materiais de construção empregues no edifício e a fonte de energia utilizada na sua operação.

- **Materiais**

A energia embutida nos materiais de construção de uma edificação resulta de diversos fatores tais como: a extração das matérias primas e o processo produtivo do material; as quantidades utilizadas; meio de transporte e distância percorrida para colocá-lo no local de construção da edificação; período de vida útil e destinação final dada na demolição do edifício.

Determinar a energia embutida total de um edifício, em particular nos materiais de construção, requer a contabilização de uma larga cadeia de ligações. De acordo com Harvey (2006) definem-se duas metodologias: medir diretamente cada ponto da larga cadeia produtiva ou através de uma análise input-output da economia. A análise input out implica dividir a economia em setores (número que pode atingir a centena), sendo que um setor pode apresentar inputs de qualquer outro setor e o seu output pode, por sua vez, ser input de qualquer setor. A totalidade de relações possíveis entre os diferentes setores pode ser representada por uma matriz $N \times N$ onde N representa o número de setores. Relativamente à

opção de medição física direta dos fluxos energéticos envolvidos, determinam-se, em primeiro lugar, os consumos de energia embutida na construção (ordem zero), e, em segundo lugar, os consumos de energia embutida em decorrência da produção dos materiais envolvidos na construção e do seu transporte para o local de construção (primeira ordem).

Ambas as abordagens apresentam limitações: o processo baseado na medição física dos fluxos de energia dificilmente inclui a totalidade das ordens de consumo pelo que o resultados considera pouco mais de metade do valor total de energia embutida. Já a análise input-output considera a totalidade dos fluxos de energia embutida, mas com base em fluxos monetários e a relação média entre fluxo monetário e fluxos energéticos para cada setor. Trata-se de uma abordagem que pode levar a erros significativos para produtos individuais (HARVEY, 2006).

Com base em Agopyan e John (2011), a totalidade de energia embutida num material pode ser quantificada com maior confiabilidade a partir de metodologias do tipo *Life Cycle Assessment* (LCA) ou *Avaliação de Ciclo de Vida* (ACV) definida na série de normas ISO 14000. Este tipo de metodologia baseia-se na quantificação dos fluxos de entrada e saída de energia associados a um material/produto ao longo da sua vida útil. A sua adoção em massa enfrenta algumas barreiras nomeadamente o fato de o modelo, tal como proposto pelas normas, requerer uma enorme quantidade de informações e medidas que encarecem e tornam trabalhosa e demorada a sua realização (AGOPYAN e JOHN, 2011).

A figura 14, extraída do estudo de Bribrán, Capillas e Usón (2011) apresenta o perfil de energia embutida num m² de edificação em Espanha, de acordo com os materiais. Destacam-se a cerâmica, o aço e o cimento com peso total de 58,7% e pesos individuais de 21,5%, 25,5% e 11,7%, respectivamente. Outros tipos de materiais com peso significativo incluem as argamassas e o alumínio (9,1% e 7,7% respectivamente).

No estudo de Tavares e Lamberts (2006) relativo à energia embutida numa edificação brasileira, também o cimento (Portland neste caso), cerâmica (tijolo de 8 furos) e aço se destacam como principais responsáveis pela energia embutida edificação com peso total de 80% e particular de 45%, 19% e 16%, respectivamente. Apesar da relação entre o peso dos diferentes materiais variar de acordo com cada edificação e país, parece realista supor que estes materiais assumem um papel de destaque no consumo indireto de uma edificação. No sentido de reduzir o uso indireto de energia numa edificação deverão ser procuradas alternativas a estes materiais ou medidas de conservação de energia nas indústria responsáveis pela sua produção (REDDY; JAGADISH, 2003).

Figura 14 – Perfil de Energia Embutida num m² de edificação em Espanha

Fonte: Bibrián, Capillas e Usón, 2011.

Geralmente os materiais utilizados na estrutura do edifício representam mais de 50% da energia embutida no edifício. O tipo de estrutura do edifício influencia fortemente a sua avaliação ambiental. Em resultado de uma análise do tipo ACV de duas construções com diferentes estruturas, aço e concreto, os autores Bibrián, Capilla e Usón (2011) concluíram que, apesar da energia (por metro quadrado) utilizada para produzir a estrutura de aço ser 25% inferior à utilizada para produzir a estrutura de concreto, devido ao seu mais elevado coeficiente de transferência térmica, o edifício com estrutura de aço tem um maior impacto em termos de energia primária e emissões de Gases de Efeito de Estufa (GEE). Ainda de acordo com os mesmos autores, tomando como exemplo o caso de um edifício de escritórios no Canadá, a energia embutida na estrutura de aço é 1,61 vezes superior que numa estrutura em concreto, que por sua vez é 1,27 vezes superior que na estrutura em madeira. Também Reddy e Jagadish (2003) concluem que as residências em madeira são preferíveis face a outros tipos de construções no que diz respeito ao critério de minimização de energia embutida e emissões de GEE.

De acordo com Harvey (2006) existe um grande potencial de redução da intensidade energética nos setores Industrial e de Transportes. A matriz energética mundial (e as da maioria dos países em particular) apresenta o setor industrial como um grande consumidor de energia, tanto primária como elétrica, 38,2% e 44,3% respectivamente (IEA, 2011). Existe uma enorme variedade de tipos de indústrias e uma parte significativa dedica-se à produção

de insumos para a construção civil, nomeadamente as de cimento, ferro e gusa, e cerâmica. A energia embutida num material de construção em resultado da sua fabricação depende por um lado do seu processo produtivo particular e, por outro, do grau de eficiência da fábrica que o produz já que diferentes fábricas (e em diferentes países) podem apresentar graus de eficiência energética distintos especialmente em função da tecnologia adotada. Também o tipo de fonte energética utilizado impacta nas quantidades de energia primária consumida, uma vez que os processos de conversão energética apresentam diferentes graus de eficiência.

A tabela 7 apresenta a participação da energia nos custos de produção de produtos e em processo de indústrias. Destacam-se as indústrias de Ferro e Aço e de Cimentos, que se situam entre as quatro indústrias com maior custo energético para manufatura do seu produto final, e para os quais um percentual significativo da sua produção se destina à construção de edificações.

Tabela 7 - Participação da Energia nos custos de produção industrial

Atividade	Peso dos custos energéticos
Agricultura: cereais, frutas, etc.	3-5
Plantas ornamentais e flores	4
Açúcar	16
Malte de Fumo	5-7
Destilaria e Refino de Óleo	55-70
Metalurgia e Alumínio	20-30
Ferro e Aço	25-40
Cimento (via úmida)	40-50
Cimento (via seca)	30-35
Trabalho com vidro	10-20
Papel e Papelão	12-20
Editoras	25
Montadoras (automóveis)	2-3
Produtos Eletrônicos	2-3
Serviços de Banco, Seguros, Gerais	0,5-1,
Transporte Aéreo	20-30

Fonte: Informação Informal¹¹

O estudo da eficiência energética no setor industrial é um tema que sai fora do escopo da presente pesquisa. Em termos gerais, medidas de melhoria de eficiência energética incluem medidas de gerenciamento do processo e mudanças nos processos (equipamentos e

¹¹ Tabela fornecida nas aulas da disciplina ENE 5703 Uso Finais de Energia, ministrada pelo Prof. Ildo Sauer no programa de Pós Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, 2º trimestre do ano letivo 2009.

tecnologias de produção). Faz-se interessante destacar, a título de exemplo, que existem opções tecnológicas que podem resultar em processos produtivos mais ou menos eficientes: relativamente à indústria do cimento o processo produtivo pode seguir a via tecnológica seca ou úmida, sendo que a primeira apresenta um grau de eficiência superior (tal como pode ser constatado pelo custo de energia apresentado na tabela 7); já no que diz respeito à indústria da cerâmica, o seu nível de eficiência energética está em parte relacionado com o tipo de forno usado no processo e no tipo de combustível usado para aquecer o forno.

Quanto à parcela relacionada com o deslocamento dos materiais, o seu valor dependerá da intensidade energética dos modais de transportes utilizados no deslocamento de mercadorias e das distâncias percorridas. A distância percorrida por um material até chegar ao local de construção de uma edificação depende de edifício para edifício em função do tipo de material e do fornecedor, sendo que areias e materiais cerâmicos em geral viajam menores distâncias que o cimento, cujas fábricas são geralmente em menor quantidade e como tal encontram-se, em média, a distâncias maiores (REDDY; JAGADISH, 2003).

Relativamente à intensidade energética dos modais de transporte, o seu valor está relacionado com o tipo de transporte de carga. Distingue-se transporte rodoviário (carros, caminhões, camionetas, etc.), ferroviário (trem), aquaviário (barco) – marítimo ou fluvial – dutos e aéreo (avião). A sua utilização depende de um conjunto de fatores tais como o tipo de produto a ser transportado, a distância, características topográficas do caminho, entre outros. Para transportes internacionais recorre-se a avião e barco enquanto que para percursos dentro dos países distinguem-se percursos de curta e de longa duração. No primeiro caso é típico o uso de caminhões leves enquanto para longa distância as opções alargam-se a caminhões, barco, trem e avião.

Os diferentes modais de transporte distinguem-se no que diz respeito a temas como intensidade energética, fonte de energia, capacidade de carga, investimentos em infraestrutura, flexibilidade física de acesso aos locais de carga e descarga, tempo de transporte, entre outros. A análise energética dos transportes deve ter em conta índices de eficiência, tais como a quantidade de energia consumida por unidade de massa transportada (MJ/Kg/km). Também a fonte de energia é importante, em especial na determinação do impacto ambiental dos diferentes modais. Barcos distinguem-se enquanto modais para transporte de mercadorias pela sua elevada capacidade de carga que resulta em valores de energia por Kg transportado relativamente baixo quando comparado com outros modais tais como o rodoviário e o aéreo. Porém a sua utilização está restringida aos mares e à presença de

grandes rios navegáveis, tornando-se inviável, na maioria dos casos, para transportes dentro dos países e em curtas distâncias.

Neste contexto, as opções dos países quanto à matriz de transportes têm forte influência na energia consumida para transportar mercadorias. Apesar do projetista poder influenciar a escolha do fornecedor usando como critério a sua proximidade ao local de construção do edifício (contribuindo desta forma para que os materiais percorram menores distâncias desde o local de compra até à sua entrega), dificilmente consegue ter acesso a dados relativos à distância total percorrida pelo material desde a sua produção, o que resulta numa decisão baseada em dados de energia embutida incompletos que pode induzir em escolhas mais onerosas do ponto de vista energético. Além disso, em princípio está fora do alcance do projetista a decisão quanto ao tipo de transporte utilizado para entrega dos materiais no local de construção dos edifícios.

Atendendo aos fatores que explicam a quantidade de energia embutida nos materiais de construção, apresentam-se de seguida algumas estratégias para reduzir o seu valor em particular: escolha de materiais com menor energia embutida, mistura de materiais, aproveitamento de materiais de demolição e reciclagem, opção por materiais com elevada vida útil.

- Escolha de materiais

Conforme referido, a eficiência energética das indústrias produtivas de materiais de construção e a matriz de transportes do país em causa são temas complexos que saem do escopo de atuação do projetista de uma edificação. Na procura de eficiência energética, o projetista pode optar por materiais com maior ou menor valor de energia embutida. Na tabela 8 apresentam-se os valores de energia embutida (em MJ por Kg) ou de volume (m^3), em alguns dos materiais de construção mais comuns de acordo com duas fontes distintas.

Tabela 8 – Energia Embutida em materiais de construção comuns

Material	Dados de Energia embutida (MJ/Kg)	
	Bibrián, Capilla e Usón (2011)	Alcorn (2003)
Tijolo Tradicional	3,6	2,7
Bloco de Concreto		0,9
Azulejo cerâmico	15,6	6,7
Telha	4,6	
Telha de Concreto	2,7	
Telhado de Fibro-cimento	11,5	9,4
Solo-cimento		
EPS	105,5	58,4
Lã de Rocha	26,4	
Lã de Vidro		32,1
Espuma de poliuretano	103,8	
Fibra celulose	10,5	
Prancha de Cortiça	51,5	
Lã de madeira	20,3	4,3
Cimento	4,2	6,2
Argamassa de cimento	2,2	
Concreto reforçado	1,8	
Concreto	1,1	0,9-1,4
Aço reforçado	24,3	31,3
Alumínio	136,8	192,0
Vidro	15,5	15,9
Cobre	35,6	97,6
PVC	73,2	60,9
Pinheiro seco		3,0
Pinheiro seco a gás		9,7
Madeira laminada		13,6
Gesso cartonado		7,4
Aço inoxidável		74,8
Tinta		
Aço Reciclado		8,6
Alumínio Reciclado		9,0
Cobre Reciclado		2,4

Fonte: Elaboração própria a partir de Bibrián, Capilla e Usón (2011) e Alcorn, (2003).

Da análise dos dados da tabela cabe comentar em primeiro lugar as diferenças entre as fontes citadas que podem ser explicadas por diversos fatores tais como as diferenças de metodologias, em particular a fronteira de análise, e os países base para o estudo. Relativamente aos valores dos diversos materiais destaca-se a elevada energia embutida nos materiais metálicos (com destaque para o alumínio, aço e cobre) e outros como o vidro e o PVC, materiais muito utilizados na construção de edificações. Os valores apresentados sugerem também que os materiais de construção ditos modernos (tais como concreto, tijolos cerâmicos, aço, alumínio, isolantes térmicos industriais) tendem a conter mais energia embutida do que os materiais tradicionais. Por fim cabe comentar o valor energético de materiais químicos como tintas, que apesar de muito elevado, acabam por ter pouca contribuição no consumo indireto de energia da edificação já que são utilizados em quantidades reduzidas quando comparados com outros materiais como concreto, aço e cerâmicos.

Ainda no que concerne à escolha de materiais, Agopyan e John (2011) destacam que a quase totalidade das listas disponíveis com recomendações para seleção de materiais de construção foca apenas um critério (ex. a reciclagem ou a emissão de CO₂) e deixam de fora todos os demais, em particular os sociais. Os autores apontam um conjunto de erros comuns em estratégias de seleção de produtos para projetos mais sustentáveis: desconsideração dos aspectos sociais; foco em apenas um aspecto do problema; comparação de produtos com funções diferentes; utilização de dados fora do contexto; desconsideração da durabilidade ou vida útil das condições de uso; desconsideração do impacto do transporte; priorização de materiais tradicionais; energia incorporada com desconsideração do impacto no consumo energético do edifício ou “tipo” de energia incorporada; desconsideração das perdas durante a construção; decisão baseada em declarações não verificadas e não abrangentes; desconsideração do efeito durante o uso da construção; esquecimento das implicações para os usuários ou operadores.

Um instrumento que pode contribuir para ajudar na escolha dos materiais por parte dos projetistas é o uso de etiquetagem de produtos atribuída por uma entidade independente que forneçam informação padrão baseada em análises do tipo ACV. Esta medida estimularia a competição entre os fabricantes de materiais para produzir materiais mais sustentáveis para o mercado (BIBRIÁN; CAPILLA; USÓN, 2011).

– *Mistura com materiais alternativos*

A substituição de parte dos materiais modernos por misturas com outros materiais menos intensivos em energia pode ser benéfica em termos energéticos sem perda de resistência e confiabilidade (HARVEY, 2006). O estudo de Bribián, Capilla e Usón (2011) destaca que a energia embutida que pode ser poupada pela substituição de materiais altamente energéticos como o cimento reforçado por materiais alternativos, tais como cimento “oco”, blocos de solo comprimido ou cinzas de carvão, pode atingir os 20% numa avaliação de ciclo de vida num horizonte de 50 anos.

No caso do aço e alumínio está provado, por metodologia ACV que, na maioria dos casos, produtos que contêm resíduos têm menor impacto ambiental, e, desde que processados adequadamente, não apresentam desvantagens técnicas. O caso da substituição do clínquer do cimento *Portland* por resíduos (como a escória de alto forno) e as cinzas volantes produzidas na calcinação do carvão mineral ou mesmo *filler* calcário, respeitando os limites técnicos, é também vantajosa do ponto de vista ambiental (AGOPYAN e JOHN, 2011).

– *Demolição e Reciclagem*

A demolição pode desempenhar um papel fundamental na redução do consumo energético de materiais de construção, na medida em que oferece a oportunidade de reaproveitar e reciclar materiais. Agopyan e John (2011), chamam a atenção para o fato de apesar das vantagens da reciclagem pela economia recursos naturais não renováveis e redução do acúmulo de materiais em aterros, ela não pode ser considerada como o único critério de escolha. Deverão ser feitos ensaios que atestem outras características dos materiais tais como o seu desempenho e resistência a ataques de agentes químicos.

Atualmente, a demolição de edifícios no fim da sua vida útil torna difícil a separação dos diferentes materiais e a maioria acaba por ser depositado em aterros ou incinerado. Para que a reciclagem de materiais de construção seja possível é necessário que se promova uma mudança radical no projeto dos edifícios a favor do desmantelamento dos materiais de construção no fim da vida útil. Para este fim, as juntas entre os diferentes materiais deverão tornar-se reversíveis, tal como já acontece na indústria automobilística (BIBRIÁN; CAPILLA; USÓN, 2011). A segregação dos resíduos em diferentes fases permite controlar os

impactos associados à demolição e reduz o custo da gestão, pois viabiliza a comercialização das frações, como plásticos, metais e papel, e reduz os riscos de saúde associados à reciclagem (AGOPYAN E JOHN, 2011). Sistemas construtivos que permitem a desmontagem ou que sejam integralmente recicláveis certamente têm um enorme mercado potencial em um futuro mais sustentável.

– *Quantidades de material*

Para além do tipo de material aplicado nas construções, também as quantidades consumidas impactam na energia embutida da edificação. O projeto da edificação, a sua dimensão e as técnicas aplicadas na sua construção são fatores que explicam as quantidades de materiais consumidos. Outro fator é o nível de desperdício no canteiro de obras, tema que pode ser alvo de regulação com vista à sua minimização.

À medida que os materiais são movidos ao longo do seu ciclo de vida, são gerados resíduos. De acordo com Agopyan e John (2011) estima-se que entre $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ dos materiais extraídos da natureza retornam como resíduos em um período de 1 ano. O que chamamos de resíduos da construção e demolição é apenas uma pequena parcela do que a cadeia produtiva gera: cada processo de mineração ou industrial que alimenta a atividade de construção e manutenção contribui para o todo. Um desafio do futuro destacado pelos mesmo autores é a desmaterialização da construção, com redução da massa de materiais necessária e volume de resíduos gerado, o que exigirá um grande esforço de inovação. Medidas de reciclagem do lixo, manejo e a gestão dos resíduos ao longo da obra podem proporcionar economias expressivas em relação ao consumo de energia

– *Vida útil dos materiais*

Um último ponto relacionado com os materiais de construção e merecedor de destaque é a sua vida útil. Citando Agopyan e John (2011), “não existe sustentabilidade sem durabilidade”. A degradação dos materiais é inevitável e resulta da sua interação com o ambiente, em particular de fatores como: temperatura, carregamento, esforços de abrasão, contato com produtos químicos e ações de seres vivos. Com o conhecimento atual é possível tomar medidas para aumentar a vida útil das construções, pela seleção de materiais mais resistentes aos fatores de degradação ou pela incorporação de medidas de projeto que

protejam os materiais dos fatores de degradação mais importantes.

O aumento da vida útil de um material apresenta benefícios ambientais, econômicos e sociais. No primeiro grupo incluem-se a redução do fluxo de materiais com consequente diminuição da demanda por matérias primas, geração de resíduos e todos os impactos associados ao seu processamento e transporte. Quanto ao aspecto econômico é de referir o aumento da atratividade dos materiais já que reduz-se o custo por ano de serviço daquele material. Mesmo que o custo inicial aumente, a análise de atratividade deve ter em conta o menor custo global. Por fim, quanto a benefícios sociais pelo aumento da vida útil dos materiais, refere-se a redução de custos com manutenção e troca de materiais, postergação das desvalorização do imóvel e da sua perda e até para efeitos de taxas de juro e garantias associadas aos imóveis em empréstimos bancários.

Agopyan e John (2011) destacam o desenvolvimento de uma metodologia consolidada na série de normas ISO 15686 – *Building and Constructed asset – Service Life*. A sua aplicação permite estimar a vida útil de materiais e componentes tradicionais ou inovadores, e incorporar essas informações no planeamento de atividades de manutenção e, até mesmo fazer a previsão do seu custo ainda na fase de projeto.

Atendendo aos fatores que explicam e promovem a redução da energia embutida nos materiais de construção, conclui-se tratarem-se, em grande parte, de temas com pouca ou nenhuma ligação ao projetista da edificação já que remetem para opções tecnológicas e políticas relacionadas com outros setores económicos, em particular do setor industrial e setor dos transportes. Agopyan e John (2011) defendem que, a análise de ciclo de vida, combinada com a seleção de fornecedores com base em critérios de sustentabilidade e formalidade é a única estratégia consistente para a seleção de materiais e fornecedores com critérios de sustentabilidade.

- **Fonte Energética**

Conforme referido, outro tema relacionado com o consumo indireto de energia nas edificações é o tipo de energia consumido na sua operação. Os usos finais em edificações são fortemente dependentes do fornecimento de energia elétrica para operação de equipamentos

elétricos tais como luminárias, geladeiras, televisões, ar condicionado, entre outros. A eletricidade consumida nos edifícios pode ser fornecida pela rede elétrica ou ser produzida localmente em sistemas prediais.

No primeiro caso, a produção de eletricidade está a cargo do sector elétrico que consome uma fonte primária de energia e, através de um processo de conversão numa unidade produtora, converte-a em eletricidade, que é depois transmitida e distribuída por linhas de transmissão até ser entregue no local de consumo. O processo de conversão de energia primária em eletricidade é caracterizado por uma eficiência que determina o maior ou menor desperdício da fonte de energia primária. Destacam-se como tradicionais centros produtores as usinas termelétricas, hidrelétricas, e nucleares.

As opções nacionais relacionadas com a matriz de produção de energia elétrica (e seus impactos ambientais) é um tema também fora do escopo de atuação do projetista de uma edificação e como tal, o seu desenvolvimento não cabe no âmbito da presente dissertação. A título de exemplos referem-se as usinas termelétricas, onde calor sob pressão gera energia mecânica, numa turbina, que é convertida em energia elétrica. A geração de calor é tipicamente feita pela queima de um combustível (geralmente de origem fóssil como o carvão e gás natural) para geração de vapor (Ciclo Rankine) ou gases de exaustão (Ciclo Brayton) que fazem girar uma turbina, a vapor ou a gás respectivamente, produzindo energia mecânica que é então transformada em energia elétrica num gerador. O processo de eletricidade em termelétricas deste tipo apresenta uma eficiência de conversão de energia primária em eletricidade baixa, situada entre 35-40%, com enorme desperdício da fonte primária e impactos ambientais elevados pela emissão de GEE e outros poluentes. O valor da eficiência pode ser melhorado para cerca de 55% se for utilizada a tecnologia de ciclo combinado, que produz eletricidade em resultado de um ciclo Brayton seguido de um ciclo Rankine. Já nas usinas hidrelétricas a fonte de energia primária é a energia potencial e/ou cinética da água convertida em energia mecânica numa turbina e posteriormente em energia elétrica, com elevada eficiência (em torno de 95%).

Para além dos referidos desperdícios de energia primária e impactos ambientais associados à produção de eletricidade em usinas, também o transporte dessa eletricidade através das linhas de transmissão é um processo acompanhado de perdas de energia que em certos países, dependendo da qualidade das linhas de transmissão e da distância a ser percorrida entre o centro produtor e o consumidor, pode superar os 15%.

De forma a minimizar as perdas energéticas relacionadas com a produção de

eletricidade e seu transporte até às edificações, deverão ser promovidos usos finais que façam uso direto de fontes primárias de energia, tais como condicionamento ambiental a gás ou sistema solar térmico, e sistemas de produção descentralizados, como os sistemas de produção de eletricidade prediais, tema já abordado na subseção 2.2.1.1.3.

2.3 Mercado de Eficiência Energética em Edificações

2.3.1 Barreiras ao Desenvolvimento de um Mercado de Eficiência Energética dos Edifícios

Apesar das vantagens apontadas à Eficiência Energética, um conjunto de barreiras impede a adoção de soluções técnicas mais eficientes no setor das edificações. De acordo com a bibliografia consultada, as barreiras à eficiência energética no mercado das edificações podem ser de natureza organizacional, financeira e comportamental (WBCSD, 2008). Urge-Vorsatz (2009) refere que o valor das barreiras à eficiência energética no setor de edifícios pode chegar a 20% dos custos dos projetos de eficiência energética e totalizar 10-15% da energia conservada em resultado de tais projetos.

No que diz respeito a *barreiras organizacionais*, e segundo OECD (2003) o setor da construção apresenta um conjunto de características particulares que dificultam o desenvolvimento de um mercado de eficiência energética, entre elas o longo período de vida dos seus produtos, a extensa e fragmentada cadeia de abastecimento, a discrepância entre proprietários e utilizadores, a natureza fixa em termos espaciais dos seus produtos e do processo produtivo, a heterogeneidade dos edifícios, os elevados custos de capital, o domínio do mercado por um elevado número de pequenas empresas e o seu elevado conservadorismo. Existe consciência do tema dentro da indústria, mas há falta de *know-how* e liderança e é necessária ação relativamente ao marco regulatório.

Quanto a *barreiras financeiras*, destacam-se o elevado custo inicial das tecnologias, a dificuldade de acesso a crédito associada com elevadas taxas de juro aplicadas a pessoa física e a não inclusão dos custos ambientais no preço da energia (URGE-VORSATZ, 2009). Referem-se ainda barreiras comportamentais, tais como a difícil comunicação entre

intervenientes nos projetos (como é o caso de arquitetos e engenheiros cuja diversidade de competências se manifesta em diferentes focos no projeto), a falta de conhecimentos e informação da população e das empresas no que diz respeito ao setor energético, e a falta de qualificação dos profissionais da área para os assuntos energéticos (engenheiros civis e arquitetos) (WBCSD, 2008).

Das *barreiras organizacionais* referidas cabe destacar a elevada fragmentação da indústria da construção e a heterogeneidade/segmentação do setor das edificações. A elevada fragmentação da indústria da construção civil e da cadeia de valor do segmento das edificações constitui uma barreira à promoção da eficiência energética porque os diferentes intervenientes em geral visam diferentes objetivos. Em primeiro lugar têm-se as autoridades governamentais que têm poder para estabelecer padrões de desempenho através de normas e códigos, mas muitas vezes optam por dar prioridade ao baixo custo como incentivo ao crescimento do mercado imobiliário. Em segundo lugar, têm-se os empreendedores e construtores para quem os investimentos em eficiência energética são pouco atrativos já que o podem implicar no acréscimo de custos e o proveito fica com o utilizador, resultando em perda de rentabilidade. É importante referir que, no caso de ser possível repassar os eventuais custos de construção adicionais para o preço de venda das edificações ou para o valor do aluguel, a atratividade dos investimentos para o construtor/empreendedor não é posta em causa pela inclusão de requisitos de eficiência energética.

Outro conjunto de intervenientes são os arquitetos e engenheiros cujo papel na promoção da eficiência energética do edifício poderia ser importante já que estão na posse dos conhecimentos necessários ao desenvolvimento edifícios de baixo consumo. Porém, em geral é um grupo sem poder de decisão tendo que se submeter a restrições de financiamento impostas pelas construtoras e empreendedores. Além disso, os projetistas tendem recorrer a soluções pré-determinadas (*“rule of thumb equipment sizing”*) no dimensionamento de equipamento e por questões de confiabilidade acabam optando por soluções construtivas tradicionais, resultando, muitas vezes, em sistemas superdimensionados com aumento do consumo de energia e maior custo inicial (HARVEY, 2006).

Por último, enquanto beneficiário da redução do consumo de energia, o utilizador apresenta à partida um elevado incentivo à procura de maiores níveis de eficiência energética. Contudo, na maioria dos casos o seu envolvimento com a edificação surge quando a mesma já está pronta e a possibilidade de influenciar o seu nível de consumo energético é nula. Além disso, os custos energéticos constituem em geral uma pequena parte do valor de aluguel das

edificações, não atingindo um peso no orçamento familiar que torne a eficiência energética um critério prioritário na escolha de um apartamento.

Quanto à elevada segmentação do setor das edificações, surge como barreira ao desenvolvimento de um mercado de eficiência energética dada a heterogeneidade de soluções e de sub-mercados resultantes. Apontam-se como fatores de segmentação do mercado o tipo de edifício, o grau de desenvolvimento do país e o clima. Relativamente ao tipo de edifício distingue-se entre o segmento comercial e o residencial, edifícios urbanos e rurais e ainda edifícios já construídos de edifícios em fase de projeto.

Relativamente ao grau de desenvolvimento do país, segundo WBCSD (2008), os países em desenvolvimento apresentam maiores taxas de crescimento de novas construções, menores níveis de urbanização, indicadores de área construída per capita de valor mais baixo, e um mix de energia com maior incidência da biomassa. A elevada taxa de crescimento de novas construções, em geral observada em países em desenvolvimento, deve ser encarada pelos governos como uma oportunidade de decisão por políticas de promoção de eficiência energética na medida em que, na fase de concepção e construção, as soluções técnicas disponíveis são de mais fácil aplicação e rentabilidade. Essa é uma área muito promissora, pois a experiência mostra que para construir um prédio mais eficiente custa apenas um pouco mais do que um prédio convencional, o que pode ser acelerado através das normas que regulam as construções de edifícios em diversas áreas (GOLDEMBERG; LUCON, 2008). Nos países industrializados, onde o problema de moradia da população já foi em boa parte resolvido, observa-se em geral um elevado estoque de edifícios tecnologicamente ultrapassados e com potencial de redução de consumo de energia com ações de *retrofitting*¹². Ainda de acordo com WBCSD (2008), o cenário de promoção de eficiência energética para edifícios já construídos é menos atrativo e os desafios colocam-se ao nível técnico e financeiro.

Por último, mas não menos importante, refere-se o clima enquanto fator de segmentação de mercado. Cada região do globo apresenta características particulares relativamente a temperaturas, umidade, radiação solar e ventos que definem o seu clima, e que têm forte impacto sobre as condições de conforto proporcionadas pelas edificações. Desta forma não é possível criar uma única solução técnica de eficiência energética que resulte em todos os mercados e culturas, sendo indispensável promover a pesquisa local.

¹² O *retrofit* é definido como a remodelação ou atualização do edifício ou de sistemas do edifício, pela incorporação de novas tecnologias e conceitos, visando normalmente à valorização do imóvel, mudança de uso, aumento da vida útil e melhoria da eficiência operacional e energética (JOKILEHTO, 1999).

2.3.2. Políticas Públicas de promoção da eficiência energética em edificações

Nas subseções anteriores mostrou-se, por um lado, a existência de diversas tecnologias e *know-how* que podem contribuir para a redução do impacto dos edifícios no consumo energético dos países, e, por outro lado, que um conjunto alargado de barreiras coloca-se à utilização dessas tecnologias. Nesse sentido, é importante o desenvolvimento de políticas de promoção de eficiência energética em edificações que permitam ultrapassar as referidas barreiras.

Segundo Ryghaug e Sørensen (2009), e no seguimento das idéias de Latour no seu livro “*Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers through Society*” de 1987, é preciso ter em conta que as transformações tecnológicas são um processo social, e que escolhas mais ou menos eficientes acontecem como resposta a oportunidades e pressões. Não se trata apenas de uma questão de transferência de tecnologia, mas também do emprego de estratégias que possam convencer o utilizador dos potenciais ganhos com as novas tecnologias. No sentido de minimizar ou mesmo remover barreiras à promoção da eficiência energética, contam-se um conjunto de instrumentos ao serviço de políticas das autoridades nacionais (governos, agências de energia, autoridades locais). Distinguem-se instrumentos de *natureza regulatória*, tais como códigos de construção, de *natureza informativa*, como programas de etiquetagem e certificação, e de *natureza econômica e fiscal*, tais como a isenção ou redução de impostos e facilidade de crédito (URGE-VORSATZ, 2009).

Segundo Goldemberg e Lucon (2008), os principais instrumentos financeiros usados a fim de superar as barreiras que impedem a melhoria da eficiência energética são: novos impostos ou mudanças em impostos existentes refletindo em alguns casos externalidades, incentivos e empréstimos comerciais normais ou que incluem alguma forma de subsídio (*soft loan*), políticas de preços já que ao incluir externalidades os preços da energia refletem de forma mais completa o custo social real do fornecimento e a utilização final e, com isso, o uso da energia seria desencorajado e os usuários poderiam responder substituindo-a por outros recursos naturais ou mudando os seus padrões de consumo.

Ainda de acordo com os mesmo autores, os principais instrumentos regulatórios usados são regulamentos ambientais, padrões de desempenho de equipamentos, política de

compra de governo (*procurement*) que privilegia certos tipos de equipamentos ou fontes de energia, imposição de uma porcentagem mínima de fontes renováveis de energia no *portfolio* das empresas distribuidoras, planejamento integrado de recursos e programas informativos.

Atendendo aos estudos e comparações efetuadas por Urge-Vorsatz (2009), entre os instrumentos com melhor custo-benefício contam-se a obrigatoriedade de níveis mínimos de eficiência em equipamentos, programas de gestão pela demanda (DSM) e isenções fiscais. Já no que diz respeito a efetividade na conservação de energia são de adicionar aos instrumentos citados, o desenvolvimento de códigos de obra. De uma maneira geral, os autores concluem pelos instrumentos regulatórios como os de maior potencial enquanto política de conservação de energia.

3. REGULAÇÃO ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES: O CÓDIGO DE OBRAS

No capítulo anterior foram abordados três temas relativos à eficiência energética em edificações: fatores que explicam o consumo de energia em edifícios; estratégias para reduzir esse consumo energético das edificações; características do mercado de edificações que funcionam como barreiras ao desenvolvimento de um mercado de eficiência energética e instrumentos de políticas pública voltados à remoção dessas barreiras e promoção de maiores níveis de eficiência energética no setor em estudo.

No presente capítulo abordam-se os instrumentos de regulação energética no setor de edificações com destaque para o Código de Obras. Começa-se por definir instrumentos regulatórios de eficiência energética em edifícios, com destaque para Códigos de Eficiência Energética em Edificações e seu processo de desenvolvimento. Definido como objeto central de estudo desta dissertação, o trabalho segue com um ponto dedicado à caracterização do Código de Obras, apresentando suas vantagens e desvantagens na promoção de um estoque de edifícios mais eficiente. Adicionalmente apresenta-se um panorama geral da regulamentação energética em edificações a nível mundial, a partir do qual são formuladas algumas considerações que contribuem para a sustentação dos principais resultados deste trabalho. Finaliza-se o presente capítulo com uma breve contextualização das Políticas Públicas de promoção da eficiência energética no Brasil com foco no setor de edificações.

3.1. Instrumentos regulatórios

O desenvolvimento de políticas energéticas constitui um meio de influenciar a decisão de indivíduos e organizações no processo de maximização do seu benefício próprio, a favor de um determinado objetivo (LEE; YIK, 2004). Conforme referido no tópico anterior, contam-se diferentes tipos de instrumentos de política para promoção da eficiência energética no setor de edificações. Urge-Vorsatz (2009) destaca o potencial dos instrumentos regulatórios, alvo de estudo da presente pesquisa.

De acordo com Berg (2008) define-se Regulação como um processo pelo qual a autoridade governamental designada fornece supervisão e estabelece regras para empresas em

uma indústria. Já o World Energy Council (2008) alarga a definição para além da esfera governamental e a instrumentos não obrigatórios referindo que a regulação energética impõe padrões de eficiência energética mínimos através de lei ou decreto governamental, introduz práticas de eficiência energética (técnicas ou comportamentais) ou fornece informação sistematizada aos consumidores (ex. auditorias energéticas, etiquetas). Ainda de acordo com a mesma fonte, a Regulação é tipicamente introduzida quando é reconhecido que falhas de mercado impedem que os instrumentos económicos só por si atinjam os objetivos desejados da política de energia ou ambiental.

Neste contexto, definem-se *Instrumentos Regulatórios de Eficiência Energética* como o conjunto alargado de instrumentos de origem governamental ou da esfera privada que objetivam a promoção da eficiência energética através de *standards* ou padrões. Com efeito, o termo padrão ou *standard* energético é muito utilizado na literatura para designar o que podem ser considerados Instrumentos Regulatórios de Eficiência Energética. Atualmente estão em vigor um número elevado de instrumentos regulatórios com o objetivo de controlar o consumo energético de edificações. De acordo com a literatura analisada, a sua classificação é difícil dada a falta de nomenclatura que identifique claramente as políticas que assim podem ser consideradas (JANDA e BUSCH, 1994; JANDA, 2009).

O *Council Of American Building Officials* (1997) define um padrão ou norma (*standard*) como um conjunto prescrito de regras, condições ou requisitos com o objetivo de: definir termos; classificar componentes; delinear procedimentos; especificar dimensões, materiais, desempenho, projeto ou operações; medir a qualidade ou quantidade na descrição de materiais, produtos, sistemas, serviços e ensaios. Existem atualmente muitos *standards* que focam diversos produtos, metodologias de produção, qualidade de materiais e procedimentos para várias operações e processos.

Já o Comitê Europeu de Estandarização (CEN) (2011) define um standard como uma publicação técnica que é utilizada como uma regra, guia ou definição. Na sua essência, trata-se de uma forma de fazer alguma coisa que pode ser repetida e é desenvolvida por consenso. Os *standards* são desenvolvidos reunindo todas as partes interessadas, incluindo produtores, consumidores e reguladores de um material, produto, serviço ou processo.

Shove e Moezzi (2002) destacam que os *standards* atuam como uma força de estabilização: fornecem referências dentro das inúmeras e complexas relações que se estabelecem num mercado e constituem uma leitura das práticas e soluções que devem ser adotadas. Ainda de acordo com os mesmos autores, apontam-se quatro razões principais para

o desenvolvimento e implementação de *standards*: facilitam as relações comerciais no mercado; criam condições para a produção em massa com benefício decorrente de economias de escala; minimizam risco e promovem a reprodução de boas práticas; contribuem para o bem estar coletivo pela reprodução de boas práticas. A promoção de *standards* que contribuam para melhoria do nível de eficiência energética em edificações enquadra-se na última justificativa, o bem estar coletivo, quer pela redução dos impactos ambientais tipicamente associados ao consumo de energia, quer por razões de segurança nacional dada a sua contribuição para a redução de dependência energética.

Santos e Souza (2011), enumeram os seguintes *standards* ou instrumentos regulatórios para melhoria de desempenho energético de edifício: códigos, critérios, guias, normas, leis, protocolos, provisões, regras, diretivas, recomendações, requerimentos, regulamentos ou regulamentações, classificações (*ratings*), benchmarkings, certificações e sistemas de etiquetagem.

Para efeitos da presente pesquisa, procurou-se definir os seguintes tipos de instrumentos regulatórios: Códigos, Normas Técnicas e Diretrizes. De acordo com Santos e Souza (2011), Códigos podem ser definidos como “um conjunto explícito de requerimentos mínimos, que fazem parte de uma lei (nacional, estadual ou local) e são associados a procedimentos de conformidade”. Dependendo do país, um código pode constituir um documento independente, estar contido num documento mais abrangente ou incluir diversos documentos. Em termos formais, as exigências relativamente a eficiência energética podem ser integradas no Códigos de Obras, geralmente já estabelecido e que reúne exigências relativas a outros aspetos da construção, ou podem ser implementadas como legislação independente, o que se poderia chamar de “Código de Eficiência Energética para Edificações” (CEEE) ou “Códigos Energéticos para Edificações”. Na primeira opção as exigências são em geral curtas mas o seu cumprimento é garantido juntamente com todas as outras exigências de aprovação de uma construção. Já o segundo caso permite definir regras mais abrangentes e detalhadas mas torna necessária a implementação de um sistema de execução e fiscalização particular. CEEE são o instrumento mais utilizado a nível global para melhoria da eficiência energética em edifícios (LEE; YIK, 2004).

Outro tipo de instrumento regulatório estudado é a Norma Técnica. Uma norma técnica pode ser definida como um “documento estabelecido por consenso e aprovado por um organismo reconhecido que fornece [...] regras, diretrizes ou características para atividades ou para seus resultados, visando à obtenção de um grau ótimo de ordenação em um dado

contexto” (CNI, 2011). As normas técnicas são aplicáveis a produtos, serviços, processos, sistemas de gestão, pessoal, nos mais diversos campos. O seu objetivo pode ser o de estabelecer requisitos de qualidade, de desempenho, de segurança bem como o de estabelecer procedimentos, padronizar formas, dimensões, tipos, usos, fixar classificações ou terminologias e glossários, definir a maneira de medir ou determinar as características, como os métodos de ensaio. Tipicamente, as normas são de uso voluntário, isto é, não são obrigatórias por lei, o que significa que pode ser fornecido para o mercado um produto ou serviço que não siga a norma aplicável.

Por referência em Códigos, as normas tornam-se parte da regulamentação para edificações (LISTOKIN; HATTIS, 2004), adquirindo caráter obrigatório. Para efeitos de definição de requisitos em CEEE, interessam os *standards* que contribuem para a institucionalização de práticas construtivas. Um requisito de qualidade ou quantidade definido num Código construtivo combinado com um *standard* (para definição do procedimento e condições de medição desse requisito) contribui para simplificar o texto de um código e tem a vantagem de fazer uso do conhecimento dos especialistas envolvidos no desenvolvimento desses *standards*. Com base em CABO (1997), definem-se três tipos básicos de normas utilizadas em Códigos de Obras: *Normas de Projeto* que definem métodos para projetar, fabricar e construir e, especificam estratégias construtivas reconhecidas, fórmulas de engenharia, métodos de cálculo e boas práticas construtivas; *Especificações para materiais* que definem requisitos de qualidade e propriedades físicas de materiais ou produtos manufaturados; *Normas de Ensaio Padrão* que definem condições para testes estruturais, de durabilidade e contra incêndio.

Para além de Códigos e Normas Técnicas, existem Diretrizes (também chamadas de guias de procedimentos), definidas como um tipo de instrumento regulatório menos rigoroso que normas e códigos mas que constitui uma importante fonte de informação para o mercado (SANTOS; SOUZA, 2011).

Além das já referidas vantagens das políticas de promoção de eficiência energética, a adoção de padrões energéticos para edificações apresenta um conjunto de benefícios particulares. Em primeiro lugar refere-se a redução do consumo de energia com benefício para o proprietário/usuário pela redução dos custos de operação do edifício. Em segundo lugar, ajudam a evitar a perda de oportunidades de melhoria de eficiência energética nas edificações capturando poupanças de longo prazo associadas ao longo ciclo de vida dos edifícios e baixa frequência de renovação (WEC, 2008). Além disso, os padrões energéticos contribuem para

ultrapassar barreiras que se colocam a produtos de eficiência energética por estimularem o mercado a produzir em conformidade com determinado padrão adotado e aumentarem a visibilidade do tema junto dos profissionais da construção e sociedade em geral. Por estas razões, conforme defendido na literatura, padrões energéticos, particularmente no que diz respeito ao setor não residencial, desempenharão um papel crescente no futuro de políticas de eficiência energética nos países e a nível internacional (JANDA e BUSCH, 1994; JANDA, 2008; JANDA 2009).

Apesar das vantagens, a revisão da literatura levanta também potenciais desvantagens resultantes da adoção de padrões energéticos para edificações. De acordo com Shove e Moezzi (2002), dependendo do tema alvo de padronização, sua extensão e impacto, os *standards* podem sofrer oposição por parte do mercado, em particular se o seu cumprimento implicar num aumento de custos de construção. O envolvimento e participação dos diversos *stakeholders* no processo de desenvolvimento e aprovação de *standards*, é uma estratégia que deverá resultar numa maior aceitação dos mesmos e maior graus de adoção e conformidade.

Conforme definido, o objetivo da presente pesquisa é estudar a inclusão de padrões de eficiência energética em Códigos de Obras, tornando-o um instrumento regulatório de promoção de eficiência energética em edificações. Para efeitos da presente pesquisa, a designação Códigos de Eficiência Energética para Edificações (CEEE) será usada com sentido alargado, incluindo todo o tipo de instrumentos regulatórios que objetivam o controle do desempenho energético de edificações.

3.1.1 O desenvolvimento de CEEE

De acordo com Santos e Souza (2011), o desenvolvimento de CEEE contempla quatro fases fundamentais ao seu sucesso: *Elaboração, Implementação, Execução e Revisão/Atualização*. Trata-se de um processo complexo que implica a definição de um conjunto de variáveis que deverão ter em conta as características do mercado alvo. Não é um instrumento cuja definição possa resultar da simples importação de práticas internacionais, que embora possam contribuir com experiências válidas devem ser interpretadas à luz da realidade nacional e local. Dessa forma, antes de tomar decisões, é necessário um processo completo e metódico de avaliação da estrutura social, económica, política e cultural locais

na medida em que esta afeta o desempenho do instrumentos regulatório (URGE-VORSATZ, 2009).

- **Elaboração**

Relativamente ao processo de elaboração de um CEEE é necessário tomar decisões relativamente aos seguintes temas: escopo, requisitos técnicos a serem incluídos, método de conformidade, natureza quanto à obrigatoriedade.

Escopo

O escopo de um CEEE define quais os tipos de edifícios que são abrangidos pelo código. Tipicamente os códigos focam o setor residencial e/ou setor comercial. Outra classificação, seguida pela *American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning* (ASHRAE), é a divisão entre edifícios verticais (onde se incluem edificações comerciais e residenciais multifamiliares) e edifícios unifamiliares ou de até 3 pavimentos. Também no escopo fica definido se o Código aplica-se apenas a novos edifícios ou também a edifícios existentes. Tradicionalmente, os padrões energéticos para edificações são introduzidos para exigir requisitos mínimos de eficiência energética a novas construções. Como os novos edifícios representam uma percentagem pequena do estoque de edifícios em grande parte dos países CEEE têm um impacto lento no curto prazo, mas que se torna significativos no longo prazo. Uma tendência recente consiste em estender o escopo de CEEE a edifícios existentes que passem por reforma e ampliação, situação verificada particularmente nos países europeus (JANDA, 2008; URGE-VORSATZ, 2009; WEC, 2008).

Requisitos Técnicos

Outra decisão inerente ao processo de desenvolvimento de CEEE diz respeito aos requisitos técnicos a serem incluídos. Conclui-se pela análise de casos de estudo e da bibliografia relevante que a regulamentação para edificações pode abranger uma variedade de temas. Usualmente contempla o desempenho térmico da envoltória ao qual se associa a análise de eficiência energética de equipamentos instalados na edificação, nomeadamente Sistema de Iluminação, Condicionamento de Ar (Aquecimento, Resfriamento e Ventilação), Aquecimento de Água, Sistema Elétrico e sistemas de produção de Energias Renovável, entre

outros. O desempenho térmico da envoltória do edifício têm sido historicamente o primeiro componente da edificação a ser alvo de instrumentos regulatórios de eficiência energética nos países e é hoje um tema contemplado em quase todas as regulamentações com vista à eficiência energética em novos edifícios (LAUSTEN, 2008).

De acordo com Lausten (2008), a extensão dos temas abrangidos pela regulamentação reflete o seu grau de desenvolvimento e sofisticação. Instrumentos regulatórios nos primeiros estágios de desenvolvimento tipicamente focam a envoltória do edifício e eventualmente o sistema de Condicionamento de Ar. Já a regulamentação mais avançada trata dos diversos sistemas prediais citados, situação desejável quando o objetivo é maximizar a eficiência energética das edificações resultantes.

Para Liu, Meyer e Hogan (2010), a extensão dos temas abrangidos pela regulamentação está também relacionada com o tipo de edificações a que se referem (residencial ou comercial) e com as características do setor imobiliário e da construção. Por exemplo, no que diz respeito ao sistema de iluminação, ele é tipicamente avaliado em Edifícios Comerciais, onde o sistema opera durante muito mais horas num dia e a potência instalada é, em geral, mais elevada. Quando se trata do setor residencial a prática do setor da construção quanto ao tipo de acabamentos entregues no ato da venda é um tema a ter em conta. Em países onde os apartamentos são entregues sem qualquer acabamento interior, deixando ao critério do proprietário de cada unidade a escolha do revestimento de paredes, piso, aquecedores de águas sanitárias, equipamentos de iluminação, entre outros, é comum que a regulamentação foque apenas o desempenho da envoltória. Já nos casos em que os apartamentos são entregues ao cliente em condições de ocupação imediata, como nos Estados Unidos da América, os referidos temas são todos abrangidos na regulamentação em vigor.

A determinação dos parâmetros a serem regulados para minimizar o consumo de energia do edifícios deverá resultar, necessariamente, de juízo profissional ou estudos com modelos computacionais já que é muito cara a opção de construir protótipos que possam servir de teste para cada tipo de edifícios (JANDA, 2008). Um critério que deverá estar presente é a minimização dos custos incrementais de construção resultantes do cumprimento dos requisitos do código. Ainda relativamente à decisão de quais requisitos incluir e qual o seu grau de exigência, é interessante destacar Urge-Vorsatz (2009) que defende que os requisitos incluídos no Código devem ter um impacto positivo na sociedade como um todo, ou seja os custos adicionais de implementação das medidas de eficiência energética mais os custos de implementação e manutenção dos programas devem ser compensados pelas

poupanças energéticas e outros benefícios durante a vida útil do edifício.

Métodos de Conformidade

A revisão da literatura sobre regulação energética de edifícios distingue dois métodos opostos no que respeita à definição de requisitos: Prescritivo e de Desempenho. No primeiro grupo são definidos requisitos individuais para os diferentes componentes de cada tipo de sistema do edifício (ex. valor limite de Transmitância Térmica (U) para paredes externas). Já no segundo tipo recorre-se a programas de simulação para estimar o consumo de energia do edifício como um todo que é comparado com um valor de referência. Entre estes dois modelos encontram-se um conjunto de modelos híbridos mais ou menos aproximados dos modelos puramente Prescritivos ou puramente de Desempenho.

Com base em Liu, Meyer e Hogan (2010) e Lausten (2008) referem-se as seguintes categorias de métodos:

- a. **Prescritivo.** Conforme referido, este modelo define requisitos específicos para cada sistema do edifício e para cada material e componente do sistema. Cada componente ou material tem que atender ao seu requisito particular. Medidas comuns neste tipo de modelos incluem: a definição de valores máximos de Transmitância Térmica (U) ou mínimos de Resistência Térmica (R) para componentes da Envoltória; definição de limites à Densidade de Potência por unidade área para o Sistema de Iluminação; definição da eficiência energética mínima para equipamentos do Sistema de Condicionamento de Ar;
- b. **“Trade-Off”.** Definem-se valores para conjuntos de elementos do edifício. Tendo por base o nível de agregação desses elementos definem-se três possibilidades de *trade-off*:
 - **Desempenho de Componentes.** Nesta opção são definidos requisitos para conjuntos de materiais que constituem um componente de um sistema. Exemplos comuns deste tipo de exigências são a definição de valores máximo de Transmitância Térmica (valor-U) para paredes com isolamento e a definição de Fator Solar (FS) máximo para janelas (vidro e esquadrias);
 - **Desempenho parcial de um Sistema.** Os requisitos definidos de acordo com esta filosofia de conformidade focam mais que um componente de um sistema. Um exemplo muito comum é a definição de um Valor Máximo de Transferência Térmica Global (conhecido na literatura pela sua sigla em língua inglesa - OTTV) que considera o ganho térmico total através dos elementos opacos e translúcidos da

envoltória;

- **Desempenho de Múltiplos Sistemas.** Este tipo de modelo contempla mais que um sistema do edifício, mas não a sua totalidade. Exemplos comuns focam em conjunto o desempenho térmico da envoltória e do sistema de condicionamento de ar através da definição de valores máximos para consumo de energia para aquecimento e/ou resfriamento de ar. O projetista tem a possibilidade de compensar maiores perdas de calor através da envoltória (devido a uma abertura de grandes dimensões) com um equipamento de aquecimento mais eficiente;
- c. **Desempenho do Edifício.** Esta abordagem considera o consumo de energia total do edifício. O requisito é tipicamente definido sob a forma de Consumo Total de Energia ou Custo total de Energia. Neste tipo de regulamentação, a demonstração de conformidade geralmente exige o recurso a *software* de simulação (como o *Energy Plus*). A conformidade pode ser determinada com base em uma de duas opções;
- **“Orçamento Fixo”** na qual o edifício deverá apresentar um indicador de consumo por unidade de área (kWh/m^2) inferior a um valor fixado na regulamentação. Neste caso é necessário que a regulamentação especifique todas as condições e premissas base aos cálculos tais como horas de ocupação, cargas internas resultantes da ocupação de pessoas e da operação equipamentos, temperaturas de referência do sistema (temperatura de *set point*) de aquecimento e resfriamento do ar, entre outras. A desvantagem deste tipo de abordagem é que as premissas fixas necessárias aos cálculos de conformidade podem não corresponder ao edifício proposto.
 - **“Orçamento Customizado”** na qual o consumo do edifício em estudo é comparado com o de um edifício de referência similar ao edifício em avaliação e que está em conformidade com critérios prescritivos;
- d. **Sistema de Pontuação.** Nesta última opção, a regulamentação atribui uma pontuação a diversas medidas de eficiência energética com base na poupança energética proporcionada. A conformidade é atingida incluindo no projeto do edifício um conjunto de medidas de eficiência energética que perfaça um valor mínimo de pontuação regulamentado.

Apontam-se vantagens e desvantagens aos diferentes métodos apresentados. Os métodos de natureza prescritiva, dada a sua objetividade, são mais fáceis de compreender e aplicar por parte dos projetistas e fiscalizadores. Também para os produtores e fornecedores

de matérias de construção e equipamentos este tipo de método traz vantagem na medida em que dá orientação clara dos requisitos a serem oferecidos nos seus produtos. A principal desvantagem dos métodos prescritivos destacada pela literatura é a sua pouca ou nenhuma flexibilidade (LIU; HOGAN; MEYER, 2010; LAUSTEN, 2008).

Já no que diz respeito aos **métodos** de desempenho, a sua principal vantagem prende-se com a maior flexibilidade dada aos projetistas para cumprir os requisitos da legislação e encontrar soluções adequadas a cada edifício em particular. Contudo, a aplicação deste método de conformidade é mais complexa exigindo maior sofisticação de conhecimentos por parte dos profissionais do setor, o que, em determinados países, pode ser um entrave ao cumprimento da regulamentação (LIU; HOGAN; MEYER, 2010; LAUSTEN, 2008).

Com base na literatura, os modelos de regulação que seguem metodologias de conformidade baseadas no desempenho do edifício são considerados preferenciais, uma vez que conferem ao mercado maior liberdade e como tal dão maior incentivo à inovação (WBCSD, 2009). Porém, de acordo com Liu, Meyer e Hogan (2010), a escolha do método de conformidade deverá ter em atenção o mercado alvo do instrumento regulatório. Os autores recomendam que sejam adotadas medidas simples de caráter prescritivo no caso de países que decidem implementar regulamentação energética para edificações pela primeira vez, os quais devem caminhar gradualmente para metodologias de desempenho à medida que o setor de construção (em particular os profissionais e fornecedores de materiais) se torna mais sofisticado e capaz de atender a requisitos de eficiência energética mais exigentes. Tal abordagem permite uma **transformação progressiva do mercado incentivando maiores níveis de conformidade com a regulamentação**. De acordo com Lausten (2008), este é historicamente o caminho escolhido pelos países no processo de adoção de regulamentação de eficiência energética em edificações.

Também o tipo de edificação a ser regulamentada pode constituir um critério de escolha para o tipo de método a ser adotado. A flexibilidade na concepção de projetos e escolha de soluções construtivas que cumpram os requisitos da legislação é um ponto que traz maiores benefícios a determinado tipo de edificações, como grandes edifícios de escritórios. Neste tipo de edificação, o volume de consumo energético de cada ocupante (tipicamente empresas) é elevado o suficiente para tornar rentável o investimento em soluções inovadoras que tragam maior eficiência energética. Já no caso de edifícios de apartamentos com diversos proprietários, o custo das soluções construtivas é geralmente um fator limitante para projetistas, sendo mais comum a implementação de códigos mais simples e de fácil aplicação

(LAUSTEN, 2008).

Alguns países optam por adotar um *mix* dos modelos apresentados (LAUSTEN, 2008). Uma metodologia de *trade-off* pode ser aplicada ao Sistema da Envoltória enquanto que para os equipamentos instalados são definidos requisitos prescritivos. Outra mistura comum de metodologias é o caso em que é dada a possibilidade de escolha entre um método simples, com requisitos prescritivos, e um mais complexo baseado no desempenho do edifício. Tal abordagem é uma solução para harmonizar a heterogeneidade do mercado de edificações, permitindo abranger com a mesma regulamentação construções mais simples e projetos com soluções construtivas inovadoras. Exemplos dessa abordagem são a série de norma 90.1 – *Energy Standard for Buildings Except Low-rise Residential Buildings* da ASHRAE, referência mundial para o desenvolvimento de regulamentação para edificações, que apresenta duas metodologias de demonstração da conformidade, uma prescritiva e outra de desempenho do edifício que recorre à simulação computacional.

Obrigatoriedade

Outro tema discutido na literatura diz respeito à escolha entre implantar CEEE de forma obrigatória ou voluntária. Apontam-se como critério de decisão por um lado a capacidade de implementação e fiscalização existente no país e por outro a capacidade da indústria da construção de atender os requisitos de eficiência energética exigidos. Em países onde já estão implementados Códigos para Edificações obrigatórios visando outros temas, tais como códigos estruturais, elétricos, de incêndio etc., os CEEE podem ser implementados logo de forma mandatória (após um período adequado de adaptação) e o esforço de fiscalização dos requisitos de eficiência energética adicionado ao esquema já existente (LIU, MEYER E HOGAN, 2010). Países sem este enquadramento e/ou países em que a indústria da construção carece de capacitação e oferta de produtos capazes de atender aos requisitos exigidos pela regulamentação, a implantação de forma voluntária dá tempo ao mercado para se adaptar.

De acordo com os referidos autores, a opção de introduzir requisitos de eficiência energética em edificações de forma obrigatória traduz o comprometimento político com o tema e apresenta a vantagem de passar uma mensagem clara e forte no sentido da transformação das práticas do setor construtivo, mesmo que o processo demore a produzir níveis satisfatórios de conformidade. Urge-Vorsatz (2009) acrescenta que, em geral, medidas que podem ser implementadas de forma voluntária ou mandatória, têm-se revelado mais efetivas quando mandatórias.

Com base em Liu, Meyer e Hogan (2010) enumeram-se um conjunto de atividades que devem ser executadas no processo de concepção de CEEE:

- Estudo de casos de estudo internacionais para identificar exemplos relevantes para a(s) localidade(s) em questão;
- Estudo do estoque de edifícios atuais e o seu consumo energético para determinar um edifício típico e definir *benchmarks* e requisitos de exigência razoável. O estudo dos edifícios atuais é ainda importante para a definição de uma *baseline* que permita ações de monitoramento com vista à avaliação do sucesso de medidas adotadas;
- Levantamento de informações sobre o clima local;
- Levantamento dos custos associadas à indústria da construção;
- Execução de análises técnicas, energéticas e econômicas (incluindo simulações computacionais) que permitam determinar a poupança energética e viabilidade econômica dos requisitos a serem introduzidos e, dessa forma, optar pelas medidas mais benéficas e rentáveis.
- Constituição de comitês com forte envolvimento com especialistas locais e organizações relevantes que contribuam para o processo de elaboração e fornecendo recomendações¹³;
- Disponibilização do documento para consulta pública antes da sua publicação, para que diferentes *stakeholders* possam contribuir para melhorar a sua qualidade.

• **Implementação e Execução**

A fase de implementação e execução tem como objetivo garantir que um edifício está em conformidade com um código energético. O nível de conformidade com o CEEE diz respeito a se a indústria da construção atende os requisitos do código tanto na fase de projeto quanto na fase de construção. Embora seja responsabilidade dos profissionais do setor da construção obedecer aos requisitos exigidos, as agências responsáveis pela fiscalização partilham desta responsabilidade. A escolha do esquema de execução e fiscalização merece

¹³ A abertura e transparência para o mercado do processo de desenvolvimento de CEEEs é crítica para a sua aceitação (U.S DOE BECP, 2010). Dessa forma é importante o envolvimento de todos os interessados no tema, incluindo: projetistas (arquitetos, engenheiros civis, mecânicos e elétricos, tecnólogos, etc); inspetores e outros colaboradores de agências de regulação dirigida a edificações; proprietários; pessoas envolvidas na operação de edifícios; fornecedores e produtores da indústria de construção; concessionárias de energia; comunidade acadêmica; advogados atuantes no setor de energia;

especial atenção na medida em que dele depende, em grande parte, a obtenção de um elevado grau de conformidade, objetivo último de qualquer medida de regulamentação.

Implementação é um termo utilizado para descrever todas as atividades necessárias à preparação da organização institucional (ex. agências locais) e da indústria da construção para garantir a conformidade com CEEE (OCEAN, 2011). De acordo com Liu, Meyer e Hogan (2010), os principais desafios que se colocam ao processo de implementação incluem: alcançar os principais *stakeholders*, que em muitos casos desconhecem os requisitos técnicos incluídos no CEEE e os benefícios de construir edifícios energeticamente mais eficientes; garantir o treinamento adequado dos inspetores responsáveis pela execução e fiscalização do Códigos bem como dos profissionais do setor da construção; estabelecer e operacionalizar a infraestrutura e instrumentos que garantam elevados níveis de execução e conformidade. No que diz respeito ao treinamento de inspetores e profissionais do setor da construção, é importante que a obtenção e manutenção dos registros profissionais exijam conhecimento e atualização relativamente ao CEEE vigente.

Execução é o processo pelo qual as organizações responsáveis pela fiscalização de CEEE garantem que os projetos e construção de edifícios obedecem aos requisitos exigidos (OCEAN, 2011). Sem a adequada ênfase na fase de execução, os níveis de conformidade baixam, resultando em menores níveis de poupança energética.

Relativamente ao esquema de execução de CEEE, destacam-se dois pontos: o arranjo institucional e o nível governamental responsável pelo desenvolvimento e adoção de CEEE. De acordo com Liu, Meyer e Hogan (2010), distinguem três opções relativamente ao arranjo institucional, com diferentes custos para os governos e diferentes potenciais de não conformidade resultante no mercado:

- *Agência Reguladora*;

Define-se Agência Reguladora como uma Agência Governamental que supervisiona e ajusta regras para um tipo específico de negócio num setor (BERG, 2008). A opção de deixar a execução e fiscalização de CEEE sob a responsabilidade de uma entidade governamental apresenta como vantagem o baixo risco de não conformidade (uma vez garantido o financiamento adequado). A desvantagem apontada a esta abordagem é o elevado custo resultante da necessidade de treinar e formar inspetores, o qual pode, contudo, ser recuperado através de cobrança ao construtor.

- *Entidades terceiras do setor privado;*

O envolvimento de entidades terceiras do setor privado (organizações independentes do construtor e do proprietário) no processo de implementação e execução de CEEE exige a definição de um processo de certificação das mesmas que ateste a sua capacidade de executar o processo e que as autorize para tal. Esta opção oferece baixo risco de descumprimento na medida em que a receita da organização fiscalizadora depende da realização de processos de fiscalização. Tal fato pode, contudo, dar lugar a falta de rigor e corrupção por parte da organização fiscalizadora a fim de atrair clientes e garantir a sua satisfação. O custo governamental associado a esta opção é considerado moderado, resultando da necessidade de certificação das potenciais organizações fiscalizadoras e treinamento de inspetores governamentais.

- *Certificação pelo construtor ao proprietário ou agência pública;*

Nesta última opção o próprio construtor emite uma declaração de conformidade para o proprietário ou para o governo. O risco de não cumprimento resultante é elevado quando o certificado é entregue ao proprietário, a não ser que o mesmo valorize fortemente a eficiência energética. Caso o mesmo certificado seja entregue a uma entidade governamental o risco de descumprimento torna-se moderado. A certificação da construtora é uma opção para reduzir o risco de descumprimento, mas eleva os custos de execução para o governo.

De acordo com a literatura, verifica-se que os recursos disponíveis para garantir a conformidade de CEEE são, de uma forma geral, insuficientes e inadequados. Para fazer frente a esta questão e reduzir o excesso de regulamentação, cada vez mais países optam por envolver o setor privado. Tal estratégia deverá ser acompanhada de medidas que motivem os proprietários a exigir que os seus edifícios cumpram os requisitos de eficiência energética, contribuindo, dessa forma, para a redução do risco de descumprimento, apontado como uma desvantagem do envolvimento do setor privado no esquema de execução de CEEE. Medidas que acrescentem valor de mercado às edificações de alto desempenho energético, tais como incentivos, contribuem para o interesse de proprietários e empreendedores pelo tema.

Quanto ao nível governamental responsável pelo desenvolvimento e adoção dos CEEE, distinguem-se três níveis de implementação: o nível nacional (ou federal), regional (ou estadual) e local. De acordo com Liu, Meyer e Hogan (2010), na maioria dos países onde estão em vigor CEEE, o seu desenvolvimento e adoção acontecem ao nível nacional, mas a sua execução é feita a nível municipal. A proximidade das agências de execução e

fiscalização aos locais de construção e comunidade de projetistas permite um controlo mais regular (US DOE BECP, 2010). Exceções geralmente ocorrem em países com Constituições federais, tais como os Estados Unidos da América, Canadá e Bélgica onde os códigos nacionais são apenas códigos-modelo, os quais deverão ser adotados a nível estadual para se tornarem obrigatórios (LIU, MEYER e HOGAN, 2010). Segundo Lausten (2008) o modelo de desenvolvimento e implementação a nível local é já raro em países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) e em geral reflete a baixa prioridade dada à eficiência energética no segmento das edificações. Já o modelo estadual aplica-se em geral a países com vasto território e com um governo federal, sendo que este último define um modelo base para o país e os estados ou regiões adaptam-no individualmente às condições locais. Em grandes países, esta abordagem é a mais efetiva já que permite ajustes em função da região (URGE-VORSATZ, 2009).

Relativamente ao processo de fiscalização da conformidade, este geralmente acontece através de inspeções que podem acontecer em diferentes fases de desenvolvimento do edifício: na fase de projeto; durante a construção; e antes da ocupação do edifício (LIU, MEYER e HOGAN, 2010). Enquanto o primeiro tipo de inspeção é em geral exigido como requisito para aprovação da construção do edifício pelas autoridades competentes, o segundo e terceiro tipos de inspeção são pouco implementados. A fiscalização após a construção e antes da ocupação é fortemente recomendada na medida em que durante o processo de construção vários itens podem não ser executados conforme o projeto.

Tal como atrás referido, requisitos de natureza prescritiva facilitam a fiscalização por parte dos inspetores, dada a sua simplicidade e objetividade. Já no caso de requisitos baseados no desempenho, que regulam o desempenho do edifício como um todo, as metodologias empregues são mais complexas, requerem mais informação e usualmente cálculos computacionais. Embora se defina um critério final de conformidade (ex. consumo de energia por unidade de área) há um conjunto de grandezas intermédias que contribuem para este resultado. Dessa forma, é mais fácil cometer erros e esconder problemas dificultando a sua inspeção. No caso de CEEE baseados no desempenho do edifício, as autoridades responsáveis pela fiscalização dos requisitos necessitam de conhecimentos sofisticados e tempo para fazer conferência de dados e cálculos.

Ainda no que diz respeito à escolha do sistema de implementação e execução de CEEE, de acordo com Liu, Meyer e Hogan (2010), especialistas no estudo de regulamentação energética em edificações concordam quanto à vantagem de associar a fiscalização dos

requisitos inseridos nos CEEE a eventuais esquemas já implementados para fiscalização de outros códigos de edificações. Esta abordagem torna desnecessário o desenvolvimento de um novo esquema de fiscalização, opção que acarreta custos e contribui para o aumento do número de inspeções necessárias na fase de pré-ocupação do edifício com consequente aumento de burocracia e demora na entrega do edifício aos seus ocupantes. Desvantagens apontadas à centralização do processo de fiscalização de requisitos exigidos a edifício numa mesma autoridade fiscalizadora incluem o risco de desvalorização das questões energéticas face a outros requisitos, como a segurança.

O grau de conformidade atingido pelos CEEE pode ser encarado como uma medida do sucesso de implementação dos mesmos. Apesar de empregues desde a década de 70, o potencial de poupança energética total de CEEE não tem sido atingido em consequência de deficiências no processo de execução e elevada não conformidade (URGE-VORSATZ, 2009). Existe um *gap* entre as declarações políticas e a ação efetiva ou entre o projeto e construção dos edifícios.

As principais razões para deficiente execução de CEEE são os elevados custos de execução e a falta de recursos das agências governamentais (incluindo para treinamento dos recursos humanos), a falta de qualificações e conhecimentos dos inspetores, e, ainda, a percepção de que a regulamentação relacionada com a poupança energética não é tão importante como a regulamentação relacionada com a segurança dos edifícios (LIU; MEYER; HOGAN, 2010; URGE-VORSATZ, 2009). Já no que diz respeito a explicações para o descumprimento, apontam-se: desvios entre o projeto e o edifício construído resultantes do processo de construção; aplicação de materiais com desempenho inferior; substituição de equipamento; instalação defeituosa ou incompleta (URGE-VORSATZ, 2009). Faz-se ainda importante destacar que a informalidade do setor da construção é um problema comumente encontrado em países em desenvolvimento, com elevado crescimento populacional, que reduz fortemente a força da regulamentação como instrumento de promoção de eficiência energética.

Com base em Liu, Meyer e Hogan (2010) e em Urge-Vorsatz (2009) apontam-se um conjunto de estratégias no sentido de promover um maior grau de conformidade com CEEEs:

- Imposição de metas políticas de poupança energética que abranjam diversas facetas da esfera governamental, elevando a importância dos assuntos relacionados com a eficiência energética;
- Definição de requisitos de forma clara e simples;

- Disponibilização de recursos suficientes às agências governamentais envolvidas no processo de execução de CEEE, recorrendo ao patrocínio de concessionárias e recursos resultantes de multas aplicadas como penalidade por não conformidade;
- Disponibilização de treinamento especializado aos recursos humanos envolvidos na fiscalização e aos profissionais do mercado de edificações, com recursos financeiros de concessionárias;
- Adequação do método de fiscalização à dimensão do mercado de construção (o uso de métodos simples e fiscalização por amostragem pode ser mais efetivo que a inspeção rigorosa de todos os edifícios);
- Em caso de envolvimento do setor privado, associação de fiscalização governamental aleatória (por exemplo através de amostra) com aplicação de sanções por aprovação fraudulenta;
- Fornecimento de *feedback* aos projetistas, construtores e consumidores que permita identificar boas e más estratégias construtivas;
- Aplicação de penalidades por não conformidade;
- Disponibilização de informação e incentivos a proprietários;
- Associação de CEEE com esquemas de certificação e classificação energética que deem maior visibilidade a edifícios com melhor desempenho;
- Certificação de materiais e componentes em conformidade com o código. Trata-se de uma medida que facilita por um lado a conformidade para projetistas e construtores e por outro o processo de fiscalização e verificação da conformidade.

- **Revisão e Atualização**

A fim de manter o nível de exigência dos requisitos incluídos nos CEEE, é necessário que aconteçam processos de revisão e atualização dos mesmos. Para tal deve prever-se monitoramento regular que permita determinar possíveis necessidades de adaptação dos requisitos exigidos ao mercado, em constante mudança. Trata-se de um processo indispensável ao sucesso dos CEEE na medida em que oferece oportunidade de acompanhamento das evoluções tecnológicas disponíveis contribuindo para acelerar a melhoria da eficiência energética no mercado.

Poucos países têm estabelecidos processos de avaliação dos seus códigos para edificações. Os estudos disponíveis sugerem que o real desempenho dos novos edifícios está abaixo do que poderia ser expectável atendendo aos instrumentos regulatórios adotados. Este fato pode ser explicado por fatores comportamentais dos usuários (tais como a definição de temperaturas interiores mais elevadas, o aquecimento de um maior numero de quartos, ou períodos mais longos de aquecimento durante o ano) e por não conformidade com requisitos incluindo nos instrumentos regulatórios.

Liu, Hogan e Meyer (2010) sugerem que seja definido um grupo de trabalho responsável pelo processo de monitoramento e revisão e que seja definido um prazo para que tal aconteça. As normas ASHRAE 90.1 e 90.2 são revistas de 3 em 3 anos e a *Energy performance Building Directive* (EPBD), que rege as exigências dos CEEE na União Européia, define que os Estados Membros deverão atualizar os seus códigos em prazos de até 5 anos¹⁴.

Para terminar o ponto sobre desenvolvimento de CEEE, aborda-se ainda dois tópicos pertinentes à implantação de CEEE: os desafios que se colocam ao seu sucesso e a sua integração com outras políticas de promoção de eficiência energética.

UNEP (2007) realça que a efetividade de padrões de energia pode ser particularmente baixa em países em desenvolvimento devido a dificuldades de execução e até corrupção. Iwaro e Mwasha (2010a) sugerem que embora padrões de eficiência energética para edificações existam em vários países em desenvolvimento, em muitos caso eles só existem no papel devido a insuficiente implementação e execução, corrupção, entre outros problemas. Até em países desenvolvidos, a estimativas de poupanças resultantes de CEEE variam de 15-16% nos EUA até 60% em alguns países da União Europeia.

Com base em Liu, Meyer e Hogan (2010) os principais desafios que se colocam aos países em desenvolvimento para a implementação de Códigos CEEE, resumem-se em quatro pontos:

- Comprometimento político com a promoção da eficiência energética, já que em geral as economias emergentes e em desenvolvimento estão mais focadas na expansão da infraestrutura de produção e de acesso à energia, deixando a eficiência energética para segundo plano no cenário político;

¹⁴ A norma ASHARE 90.1 e a EPBD são abordadas na subseção 3.3.

- Implementação de um sistema de fiscalização do setor da construção que seja efetivo e transparente. O monitoramento da indústria da construção por parte de autoridades governamentais já é, em geral, prática comum em quase todos os países no que diz respeito à segurança das estruturas e planejamento urbano;
- Desenvolvimento da capacidade da cadeia da construção de atingir a conformidade com a regulamentação. O correto atendimento aos requisitos legais de eficiência energética requer um esforço de capacitação dos profissionais do setor da construção, nomeadamente arquitetos, engenheiros, técnicos e inspetores, entre outros, para garantir a implementação de novas medidas regulamentares;
- Financiamento do custo incremental de edifícios mais eficientes. Em grande parte dos países em desenvolvimento o déficit de residências é um grave problema social pelo que, sujeitos a restrição orçamental, os governos optam por mais habitação em detrimento de habitação de melhor qualidade.

De acordo com Liu, Meyer e Hogan (2010), a principal desvantagem da regulação energética de edifícios, é que ela tem pouco ou nenhum impacto quanto à transformação da demanda e encorajamento da cadeia de produção em fazer mais que o estritamente necessário. Dessa forma, não se estabelece um ciclo perpétuo de inovações mantido pelo incentivo do mercado e pelo desejo do setor produtivo em corresponder aos desejos da demanda. A idéia por de trás da transformação de mercado é usar um conjunto coordenado e adequado de instrumentos para transformar o mercado no qual os edifícios são projetados, construídos e operados. Na prática, é difícil discernir exatamente como coordenar os instrumentos de política, mas uma abordagem com várias medidas simultâneas parece adequar-se à diversidade de interesses e atores na indústria da construção (JANDA, 2009). Com base na literatura estudada, a transformação do mercado é potencializada com a associação de um mix de políticas de *regulamentação*, de *incentivos* e *informação* (LIU; MEYER; HOGAN, 2010; URGE-VORSATZ, 2009).

Incentivos aplicados à eficiência energética definem-se como medidas que contribuem para que o mercado ultrapasse a resistência à mudança, consequente do desconhecimento e falta de experiência relativamente a novas tecnologias, técnicas e materiais, e ao risco financeiro inerente aos maiores custos de construções por vezes necessários para atingir maiores níveis de eficiência energética. Tratam-se de medidas úteis para não só promover o cumprimento da regulamentação, mas também incentivar o reconhecimento e adoção do

mercado de inovações que produzem resultados além dos mínimos exigidos na lei (LIU; MEYER; HOGAN, 2010). Os incentivos não precisam necessariamente atribuir um benefício ao mercado sob a forma monetária para o mercado, mas o benefício financeiro, mesmo que indiretamente, deverá estar presente.

Um segundo tipo de instrumento complementar à regulamentação e aos incentivos é a informação. Campanhas de Informação que aumentem a consciência do mercado para os custos e benefícios da eficiência energética podem ajudar no processo de transformação da demanda. A informação pode assumir formas simples e diretas tais como *checklist* ou incluir outro tipo de medidas como a instalação de medidores de consumo energético, auditorias de edifícios e programas de certificação e etiquetagem obrigatórios ou voluntários. Este último tipo de instrumentos é importante para promover o reconhecimento do mercado de edifícios mais exigentes que os mínimos regulamentares e, dessa forma, contribuir para a preparação do mercado e da indústria para regulamentação cada vez mais exigente.

Embora alguns autores defendam que iniciativas voluntárias são a direção futura para a promoção da eficiência energética no setor de edificações Janda (2009) acredita que a definição de padrões rigorosos para controlar o desempenho energético de edificações será sempre uma medida básica já que define um patamar mínimo para o mercado. Para além disso, serve para relembrar os profissionais do setor da construção que certos elementos do desempenho de edifícios são básicos e devem ser incluídos em todos os novos projetos e em ações de *retrofit*.

Um último ponto destacado por Urge-Vorsatz (2009) diz respeito ao papel do setor público. A melhoria de eficiência energética no setor público pode não só poupar custos, mas também servir de exemplo para o setor privado do potencial e exequibilidade de estratégias e tecnologias de melhoria de eficiência de energética, promovendo a transformação do mercado (URGE-VORSATZ, 2009).

3.2 O Código de Obras

Conforme acima referido, os requisitos de eficiência energética de um edifício podem encontrar-se compilados num documento independente ou fazer parte de um documento maior que regula outros temas relacionados com edifícios, tal como o Código de Obras.

De acordo com a *United States Environment Protection Agency – EPA* (2011) e CABO (1997), um Código de Obras é uma coleção de leis, regulamentos, ordenações ou outras exigências legais adotadas por uma autoridade governamental legislativa comprometida com a estrutura física e as condições sanitárias de ocupação de edifícios. O seu objetivo é estabelecer requisitos mínimos aceitáveis necessários à proteção da saúde pública, segurança e bem estar no ambiente construído. Estes requisitos mínimos baseiam-se em leis físicas, nas propriedades dos materiais, e no uso que se pretende que seja feito desse edifício.

Uma definição nacional apresentada pelo Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM) define Código de Obras como o instrumento que permite à administração Municipal exercer o controle e a fiscalização do espaço edificado e seu entorno, garantindo a segurança e a salubridade das edificações (IBAM, 2011).

Os Códigos de Obras são uma ferramenta em uso pelas autoridades governamentais pelo menos desde os tempos do Código da Hammurabi estabelecido em 1790 AC na Mesopotâmia. Contudo a inclusão de exigências relativas ao consumo energético surgiram essencialmente após as crises energéticas da década de 70. Os códigos contemporâneos podem ser extremamente complexos e abranger um vasto número de assuntos que afetam o edifício e os seus utilizadores tais como a segurança, acessibilidade, qualidade do ar interior e mais recentemente o impacto ambiental e uso de energia. O seu objetivo primário é regular novas construções. Contudo trata-se de um instrumento que também se aplica a edifícios existentes no caso dos mesmos sofrerem reconstrução, reforma, alterações, ampliações ou mudanças de uso.

Conforme referido no tópico anterior do presente trabalho, existem inúmeros instrumentos de padronização no setor da construção. No contexto da existência de um elevado número de padrões e normas, um código de construção contribui para coordenar a quantidade massiva de informação disponível num sistema ordenado e inteligível que garanta a saúde, integridade e bem estar dos ocupantes de um edifício (CABO, 1997).

O uso do Código de Obras como instrumento de regulação do nível de eficiência energética em edifícios apresenta um conjunto de vantagens e desvantagens. Relativamente a vantagens, refere-se em primeiro lugar o fato de trata-se de uma instrumento regulatório de elevada abrangência na medida em que se aplica quer a novos edifícios quer a edifícios construídos que sofram uma reconstrução, reabilitação e alteração (WBCSD, 2009, URGE-VORSATZ, 2009). Para além disso, é uma ferramenta de caráter obrigatório, o que acelera fortemente a sua adoção pelo mercado. Segunda Lausten (2008) e WBCSD (2009), exigências

de eficiência energética em Códigos de Obras e padrões energético para novos edifícios estão entre as medidas de maior eficácia no que diz respeito à promoção da eficiência energética no setor de edificações, já que eles garantem que o tema é considerado desde a fase de projeto, quando a incorporação de tecnologias energeticamente eficientes é mais fácil e apresenta menor custo. Em certos casos a melhoria pode nem implicar um aumento de custos, resultando apenas de critérios de escolha por determinada tecnologia.

Outra vantagem referida na literatura é o fato de se tratar de um instrumento com um processo de execução e fiscalização geralmente já implementado e amplamente conhecido pelo mercado (LIU; MEYER; HOGAN, 2010). Uma vez disponibilizados informação e treinamento adequados, é de esperar que os níveis de conformidade resultantes de exigências de eficiência energética incluídas no Código de Obras sejam satisfatoriamente elevados. Para além disso, a associação do processo de atualização e treinamento de CEEE aos restantes códigos para edificações deverá resultar em poupança de custos administrativo e num menor esforço de atualização por parte dos profissionais do setor da construção.

Retirada de Lausten (2008), a figura 15 apresenta a evolução do consumo energético médio de unidades residenciais unifamiliares na Dinamarca em comparação com as exigências do Código de Obras em vigor. Coloca-se em evidência o declínio no consumo energético com o aumento gradual da exigência dos padrões de eficiência energética incluídos no Código de Obras.

Figura 15 - Consumo Energético em unidades residenciais unifamiliares na Dinamarca relativamente às exigências contidas no Código de Obras

Fonte: Lausten, 2008

Apesar das vantagens apresentadas, o Código de Obras apresenta algumas limitações enquanto instrumento regulatório de eficiência energética que deverão ser consideradas. Em primeiro lugar, o potencial de poupança resultante da sua implementação é sempre moderado na medida em que as exigências de eficiência energética incorporadas, sendo obrigatórias, deverão ser estabelecidas a um nível que possa ser incorporado por todo o tipo de edifício (LEE; YIK, 2004). Nesse sentido qualquer que seja a função do edifício e o segmento econômico-social a que se destine, o nível de eficiência energética exigido deverá ser atingido sem pôr em causa a rentabilidade dos projetos e sem representar um peso financeiro demasiado elevado para a sociedade. Caso contrário a legislação poderia ser alvo de forte oposição por parte da indústria de construção e do setor imobiliário ou resultar em elevados custos de fiscalização para fazer face ao elevado número de violações da lei por dificuldade de cumprimento (LIU; MEYER; HOGAN, 2010). Conclui-se que, desde que as medidas exigidas pelos instrumentos regulatórios apresentem potencial de ganho, ou seja, os custos da sua implementação sejam inferiores aos ganhos por conservação de energia, o controlo regulatório deverá sofrer pouca resistência e os próprios proprietários tentarão assegurar que os edifícios estejam de acordo com os requisitos de forma a maximizar os proveitos (LEE; YIK, 2004).

Em segundo lugar, o sucesso do Código de Obras enquanto política de promoção de eficiência energética está fortemente dependente do seu processo de implementação, execução e mecanismos de cumprimentos (WBCSD, 2009). Conforme referido no ponto anterior, a falta de recursos e de treinamento adequado estão entre as principais razões para os baixos níveis de conformidade verificados quer em países ditos desenvolvidos como em economias emergentes. Segundo estudos de Iwaro e Mwashia (2010a), no caso de países em desenvolvimento, a eficácia de padrões energéticos é ainda dificultada por maiores níveis de corrupção.

Em terceiro lugar, com base em Lausten (2008) refere-se como desvantagem o risco da regulamentação e da padronização serem apercebidas pelo mercado como sinónimo de elevado nível de eficiência energética só pelo seu cumprimento, desencorajando a procura por melhores tecnologias. Com efeito, os novos edifícios tendem a apresentar exatamente o valor exigido no Código de Obras, já que os construtores não têm incentivo para exceder esses padrões correndo o risco de aumentar o seu custo. Os Códigos devem ser encarados como um referencial mínimo e não como o valor a ser procurado (LAUSTEN, 2008). Para evitar essa situação, é aconselhável que os governos especifiquem o resultado desejado por meio de

metas em vez apontarem a tecnologia a ser adotada (WBCSD, 2008). Uma outra medida capaz de minimizar esta desvantagem, é, conforme já referido, a associação de medida de incentivo tais como a concessão de subsídios e vantagens fiscais para edifícios que sejam desenvolvidos com nível de eficiência superior ao exigido no Código de Obras (LAUSTEN, 2008; LIU, MEYER; HOGAN, 2010).

Um último ponto referido na literatura e já citado, do qual partilham todos os CEEE obrigatórios, é que o Código de Obras tem pouco impacto relativamente à transformação da demanda e encorajamento da cadeia de produção em fazer mais que o estritamente necessário. Políticas de Eficiência energética centradas apenas em regulamentação obrigatória não incentivam o estabelecimento de um ciclo perpétuo de inovações promovidas pelo mercado e pela procura do lado produtivo em corresponder às inovações da demanda (LEE; YIK, 2004). De forma a ultrapassar algumas das referidas desvantagens, as autoridades competentes devem rever periodicamente os Códigos de Obras de forma a incluir requisitos de eficiência energética mais exigentes e acompanhar a evolução tecnológica no setor. Tal atitude demonstra ao mercado a importância do tema e a necessidade de constante atualização.

3.3 Panorama Mundial da regulação energética em Edificações

A maioria dos chamados países desenvolvidos introduziram algum tipo de regulação energética para o setor residencial e comercial a partir da primeira crise do petróleo em meados da década de 70 (LIU, MEYER; HOGAN, 2010). Nas décadas seguintes, os governos tanto de países desenvolvidos como de países em desenvolvimento iniciaram políticas com o objetivo de reduzir o consumo de energia nas edificações (JANDA, 2009). A maioria destas políticas enquadra-se em um dos seguintes tipos: incentivos econômicos (ex. taxas e tarifas energéticas), programas informativos (campanhas de conscientização auditorias energéticas), e/ou requisitos regulatórios (códigos e normas) (JANDA, 2009).

No presente ponto procura-se apresentar o cenário mundial no que diz respeito à adoção de CEEE a fim de colher casos de sucesso que possam subsidiar o desenvolvimento de instrumentos de regulação energética em edificações adequados à realidade do Brasil, e em particular do Município de São Paulo. Para tal foram estudados países situados no continente Europeu, Americano, Asiático e Oceania. Relativamente à América Latina em particular,

considerou-se interessante estudar com maior detalhe alguns países, nomeadamente Argentina, México, Chile e Venezuela a fim de enquadrar regionalmente o contexto brasileiro.

Tal como justificado na Metodologia descrita no capítulo introdutório, a escolha dos países estudados resultou de um conjunto de critérios, nomeadamente: a proximidade geográfica; nível de desenvolvimento; semelhanças climáticas; experiência histórica relativamente à regulação do consumo de energia em edificações. Juntam-se aos critérios apresentados, fatores limitantes da extensão da pesquisa tais como a disponibilidade de documentação sobre o tema (quer em formato de artigo quer através de sites, em particular sites governamentais dos Ministérios de Energia ou dos Ministérios de Habitação) nas línguas acessíveis à autora da dissertação (português, inglês e espanhol). Dessa forma foram estudados os seguintes países ou conjuntos de países: União Européia, Estados Unidos da América, China, Índia, Japão, Austrália, México, Argentina, Chile e Venezuela.

Este ponto não pretende esgotar o tema. Para cada continente e país estudado são apresentados alguns tópicos que se consideram merecedores de referência mas que não pretendem retratar a totalidade do marco regulatório relativo ao consumo energético em edificações dos diferentes países.

3.3.1 Cenário mundial quanto à adoção de CEEE

Tal como aconteceu historicamente com outras políticas de promoção de eficiência energética, o interesse em padrões energéticos tornou-se mais intenso a partir dos choques de petróleo na década de 70. Anteriormente, apenas alguns países tinham regulação no sentido de limitar o consumo de energia nos edifícios, e os requisitos exigidos resumiam-se a medidas simples de natureza prescritiva com foco no isolamento, muito diferentes dos abrangentes e complexos instrumentos regulatórios atualmente em uso em muitos países (JANDA; BUSCH, 1994). Melhorias nos métodos de cálculo, modelação computacional e pesquisa direcionada para consumo de energia em edificações, foram criando a necessidade de revisão dos padrões criados e dando lugar a versões mais abrangentes.

Com base em Janda e Busch (1994), o desenvolvimento do primeiro critério dirigido ao desempenho térmico do edifício como um todo (por oposição à abordagem prescritiva) aconteceu em França em 1960. Mais tarde em 1975, os cálculos de desempenho térmico

aplicados evoluíram no sentido de incluir as perdas por infiltração de ar e, em 1980, já incluíam a contribuição dos ganhos térmicos resultantes do sol e de fontes internas. Por essa altura, a Alemanha já tinha desenvolvido metodologias próprias que se espalharam pela Grécia, Espanha, Bélgica e Holanda. Nos Estados Unidos da América, a abordagem focada no cálculo do balanço dos ganhos e perdas térmicas de um edifício foi designada por OTTV – (JANDA; BUSCH, 1994). Trata-se de uma metodologia ainda em uso nos países do Sudeste Asiático.

De acordo com Harvey (2006), o primeiro código energético para edificações abrangente foi desenvolvido em 1975 pela ASHRAE e tinha como objetivo controlar o consumo energético em edifícios comerciais, a fim de reduzir as necessidades de importação de petróleo após o embargo da *Organization of the Petroleum Exporting Countries* (OPEC). Desde então, o já citado padrão criado, ASHRAE 90.1, foi várias vezes revisto (em 1980, 1989, 1999, 2001, 2004, 2007 e 2010) e as suas diferentes versões estão na base dos Códigos Energéticos para Edifícios em diversas partes dos Estados Unidos da América, e em diversos países.

Embora o tema padrões energéticos seja abordado com frequência na literatura, Janda e Busch (1994) e Janda (2009) consideram haver uma falta de informação básica sobre o conteúdo dos padrões energéticos que reflete e perpetua um *gap* de informação internacional relativamente ao uso e efetividade de padrões energéticos para edifícios. Relativamente ao levantamento e comparação dos *standards* energéticos em vigor nos países, Janda (2009) destaca um conjunto de fatores que constituem barreiras à pesquisa sobre o tema e complicam a execução e avaliação comparativas de padrões energéticos: um mesmo país pode ter diversos padrões energéticos publicados por diferentes entidades; os padrões podem constituir um documento individual ou estar contidos num outro maior, como os códigos de obras; não existe uma nomenclatura estabelecida que identifique com clareza políticas que possam ser consideradas como tal.

A revisão bibliográfica sobre a adoção de CEEE permite destacar alguns estudos, nacionais e internacionais, que contribuem para a elaboração de um cenário mundial: “*Worldwide status of energy Standards for buildings*” (JANDA; BUSCH, 1994); “*Worldwide status of energy Standards for buildings: a 2009 update*” (JANDA, 2009); “*Mainstreaming Buildings Energy Efficiency Codes in Developing Countries*” (LIU, MEYER; HOGAN, 2010); “*Revisão de regulamentações em Eficiência Energética: uma atualização das últimas décadas*” (SANTOS; SOUZA, 2011); “*Implications of Building Energy Standards for energy*

Conservation in Developing Countries”(IWARO; MWASHA, 2010a); “*Energy Efficiency: Policies around the World: Review and Evaluation*” (WEC, 2008).

De acordo com o estudo efetuado pelo WEC (2008) envolvendo 63 países constatou-se que cerca de 80% dos países europeus apresentam padrões de eficiência energética obrigatórios para novos edifícios residenciais e comerciais. Ainda de acordo com o mesmo estudo, em metade dos países da OCDE situados nos continentes Asiático e Americano estão em vigor padrões energéticos obrigatórios para edificações, enquanto na outra metade vigoram padrões voluntários.

Alguns países fora da OCDE adotaram recentemente padrões obrigatórios ou voluntários para edifícios comerciais. A maioria dos países que possuem padrões, apresentam regulação para ambos os setores (residencial e comercial), exceto na Ásia e África onde é mais frequente encontrar padrões apenas para o setor comercial, já que estes representam a maior fatia de consumo energético do setor de edificações desses países (WEC, 2008).

De acordo com Liu, Meyer e Hogan (2010), poucos países em desenvolvimento tinham padrões energéticos para edificações antes de meados da década de 90. Entre os países com CEEE em vigor à data contam-se alguns países do Sudeste Asiático que apresentavam padrões energéticos voluntários dirigidos ao setor comercial. Atualmente, padrões energéticos para edifícios estão a começar a aparecer em África, na América Latina, e na região leste do Médio Oriente (IWARO; MWASHA, 2010a). Atendendo aos resultados do estudo de Iwaro e Mwasha (2010b) embora a América Latina e a África sejam as duas regiões com maior percentual de países sem qualquer tipo de padrão energético (cerca de 35% e 60% respectivamente), são também as regiões onde se registra maior atividade relacionada com o desenvolvimento de padrões energética já que apresentam elevado porcentual de padrões energéticos propostos.

No estudo de 1994, intitulado “*Worldwide Status of Energy Standards for Buildings*”, Janda e Busch, avaliaram a situação de 57 países relativamente à adoção de padrões energéticos para edificações através do envio de questionários. Os resultados foram compilados num gráfico, apresentado na figura 16, onde os países analisados se encontram distribuídos entre 4 grupos com base no estado de adoção de padrões energéticos para os setor de edificações: obrigatórios, misto e/ou voluntários; propostos; sem padrões energéticos. É também fornecida informação quanto ao setor de foco do padrão (residencial ou não residencial).

Conforme representado na figura 16, em 1994, dos 57 países que responderam ao

questionário, 13 não tinham qualquer tipo de padrão energético para edifícios para nenhum setor, entre eles 7 países da América Latina, incluindo o Brasil. No que diz respeito a países com padrões energéticos adotados, o estudo contabilizou um total de 38 países sendo que em 27 deles os *standards* adotados tinham natureza obrigatória (21 dos quais dirigidos quer ao setor residencial quer ao setor não residencial). É interessante destacar que, dos 27 países com padrões obrigatórios, 17 situam-se na Europa, fato que comprova o pioneirismo deste continente no tema. Merecedor também de destaque é o caso da China, economia emergente, já nesta data contar com padrões obrigatórios dirigidos a edificações. O grupo de países com códigos mistos ou voluntários registrou 11 países. De acordo com os autores, designam-se por padrões mistos as situações em que os padrões são voluntários mas encontram-se implementados de forma obrigatória em determinadas regiões ou para determinado tipo de edifício. Ainda constatável pela figura 16, o terceiro grupo, ou seja, países com padrões propostos, contabilizou 6 países, com forte incidência de países asiáticos o que sugere o despertar daquela região para o tema.

Os autores do estudo referem que em muitos países estava em vigor mais de um tipo de padrão energético, dependendo do setor e da organização que a publicou.

Figura 16 – Estado de adoção e escopo de CEEE em 57 países

Fonte: Janda e Busch (1994)

Em 2009, o estudo foi atualizado por Janda e alargado, contemplando um total de 81 países. Conforme representado na figura 17, os resultados revelaram que 61 países tinham alguma forma de padrões mandatórios e/ou voluntários, 11 países tinham padrões propostos e 9 países não tinham padrões. Os autores destacam que muitos dos países que tinham padrões propostos em 1994, evoluíram para um instrumento regulatório atualmente vigente, alguns com caráter obrigatório como a Austrália. Dos 13 países sem padrões no primeiro estudo, 4 tomaram providências no sentido de desenvolver e adotar padrões entre os quais o Brasil. A autora destaca que, embora muitos países não apresentem padrões energéticos para edifícios, evidências mostram a implementação de outro tipo de programas com o objetivo de promover a eficiência energética ou a conservação de energia. Muitos dos países sem padrões energéticos para edifícios estão a desenvolver programas de padronização e etiquetagem de eletrodomésticos.

De acordo com Liu, Meyer e Hogan (2010), dos 38 países com padrões adotados no estudo de Janda e Busch (1994), apenas 15 eram países em desenvolvimento ou em transição. No estudo de Janda (2009) o número subiu para 37 países, 8 dos quais fazem atualmente parte da União Européia.

Figura 17 – Estado de adoção e escopo de CEEE em 81 países

Fonte: Janda, 2009

Para além da atividade de desenvolvimento de padrões energéticos para edifícios a nível nacional nos diversos países, Janda (2009) destaca que atividades similares estão a acontecer a nível internacional. Destaca-se a União Europeia com a aprovação da *Energy Performance Building Directive* (EPBD) em Dezembro de 2002. Merece ainda destaque a *International Standards Organization* (ISO) que criou um Comitê Técnico, o TC 205 *Building Environment Design* que está a desenvolver 9 projetos, dos quais 4 na área de eficiência energética e desempenho energético de edificações.

Mais recentemente, o crescimento de parcerias público-privadas (tais como o programa *Energy Star* nos EUA e *Energy Efficiency Accreditation Scheme* no Reino Unido) e programas de certificação de organizações não governamentais (tais como o *Leadership in*

Energy and Environmental Design (LEED) da *United States Green Building Council* (USGBC)) mudaram o cenário alargando os objetivos para a indústria da construção e seus clientes (JANDA, 2008).

Nos próximos pontos, apresentam-se informações dos diferentes continentes e apresenta-se detalhe para alguns países. Sempre que possível a análise do CEEE procurou focar os seguintes temas: data de implantação; meio de obtenção; escopo; requisitos; métodos de avaliação da conformidade; entidade responsável; desenvolvimento/revisão; implementação, execução e fiscalização. Adicionalmente listam-se outras medidas com impacto na eficiência energética das edificações que se consideram merecedoras de destaque.

3.3.1.1 Europa

A maioria dos países europeus da chamada Europa dos 15¹⁵ adotou CEEE na década de 70 e atualmente todos apresentam códigos obrigatórios para novos edifícios residenciais e comerciais (LIU, MEYER; HOGAN, 2010). De acordo com WEC (2008), as poupanças energéticas acumuladas para novos edifícios face aos edifícios construídos antes das crises energéticas dos anos 70 são estimadas em cerca de 60%. Relativamente à Europa de Leste, a adoção de CEEE é anterior à década de 90. Porém, a falta de tecnologia moderna (especialmente no que diz respeito a sistemas de aquecimento centralizado) combinada com baixos preços de energia resultava em elevados níveis de desperdício. Após a queda da União Soviética, muitos dos países adotaram CEEE mais rigorosos (LIU, MEYER; HOGAN, 2010).

A maioria dos países começou com metodologias prescritivas simples com foco na envoltória do edifício e aos poucos foram introduzindo métodos de desempenho, com exigências de máximos de demanda de energia primária e requisitos para outros usos finais (resfriamento, ventilação, iluminação e aquecimento de água).

Desde finais da década de 90, o desenvolvimento de CEEE na União Europeia (UE) tem sido orientado por políticas e instrumentos regulatórios comunitários. Um grande passo aconteceu em 2002, com a aprovação da *Energy Performance Building Directive* (EPBD, 2002/91/EC), da qual são apresentados os seus objetivos e principais requisitos. De acordo

¹⁵ Os 15 membros originais da União Europeia (UE): Áustria, Alemanha, Bélgica, Dinamarca, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Portugal, Espanha, Suécia e Reino Unido.

com Liu, Meyer e Hogan (2010), embora um relatório recente sugira que a EPBD não está a ter o desempenho esperado, trata-se de um documento pioneiro na medida em que reflete uma abordagem que vai para além dos padrões energéticos, alargando o contexto político e de mercado em que eles atuam. No ano de 2008, 22 estados membros declararam estar em total conformidade com os requisitos da EPBD

- **Energy performance Building Directive (EPBD)**

A diretiva 2002/91/CE, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético de edifícios, tem como objetivo promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios na União Europeia, tendo em conta as condições climáticas e as condições locais bem como as exigências em matéria de clima interior e a rentabilidade económica.

Atualmente as ações da UE buscam atingir a ambiciosa meta de redução de 20% de consumo energético e 20% de participação das energias renováveis na matriz energética até 2020¹⁶. Nesse contexto, a contribuição do setor de edificações está definida em 30%. Especialistas e formuladores de políticas rapidamente perceberam que tal não poderia ser conseguido com os requisitos da primeira versão da EPBD. A principal razão prendia-se com o fato de o instrumento apresentar um maior foco no novos edifícios, quando o grande contributo dos edifícios na matriz setorial de consumo europeia resulta do estoque de edifícios existentes (LIU, MEYER; HOGAN, 2010). Tornou-se necessário rever a EPBD, o que aconteceu em 2010 com a diretiva 2010/31/UE, que torna os requisitos mais exigentes e alargar a sua atuação a uma maior parcela do estoque de edifícios.

A EPBD tem carácter mandatório e os Estado Membros são obrigados a transpor os seus requisitos para a legislação nacional. Os requisitos nela definidos aplicam-se quer a edifício novos quer edifícios existentes tanto do setor residencial como não residencial.

O documento estabelece requisitos aos Estados Membros relativamente aos seguintes temas no seu artigo 1º, a saber citando EPBD (2010, p.17):

- a) Ao quadro geral comum para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios e das fracções autónomas;
- b) À aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios novos e das fracções autónomas novas;
- c) À aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos:
 - i) edifícios existentes, fracções autónomas e componentes de edifícios

¹⁶ http://europa.eu/legislation_summaries/energy/energy_efficiency/index_pt.htm

- sujeitos a grandes renovações,
- ii) elementos construtivos da envolvente dos edifícios com impacto significativo no desempenho energético da envolvente quando forem renovados ou substituídos, e
- iii) sistemas técnicos dos edifícios quando for instalado um novo sistema ou quando o sistema existente for substituído ou melhorado;
- d) Aos planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia;
- e) À certificação energética dos edifícios ou das fracções autónomas;
- f) À inspecção regular das instalações de aquecimento e de ar condicionado nos edifícios; e
- g) Aos sistemas de controlo independente dos certificados de desempenho energético e dos relatórios de inspecção.

No âmbito da EPBD, o desempenho energético de um edifício é determinado com base na energia anual para satisfazer as diferentes necessidades associadas à utilização típica da edificação e reflete as necessidades de energia de aquecimento e arrefecimento (para manter as condições de temperatura previstas do edifício), bem como as necessidades energéticas para ventilação, preparação de água quente para uso doméstico e iluminação. O cálculo do desempenho energético do edifício é feito com base numa metodologia que deverá ser desenvolvida pelos países para ser aplicada a nível nacional ou regional. O consumo energético anual resultante é convertido num indicador de consumo de energia primária que é então comparado com os requisitos de cada país.

Relativamente à referida metodologia, a diretriz estabelece no Anexo I que a mesma deverá incluir no mínimo os seguintes aspectos, citando EPBD (2010, p.29):

[...]

3. A metodologia é estabelecida tendo em conta pelo menos os seguintes aspectos:
 - a) As seguintes características térmicas reais do edifício, incluindo as suas divisórias internas:
 - i) capacidade térmica,
 - ii) isolamento,
 - iii) aquecimento passivo,
 - iv) arrefecimento passivo, e
 - v) pontes térmicas;
 - b) Instalação de aquecimento e fornecimento de água quente, incluindo as respectivas características de isolamento;
 - c) Instalações de ar condicionado;
 - d) Ventilação natural e mecânica, que pode incluir a estanquidade ao ar da envolvente;
 - e) Instalação fixa de iluminação (em especial no sector não residencial);
 - f) Concepção, posicionamento e orientação dos edifícios, incluindo as condições climáticas exteriores;
 - g) Sistemas solares passivos e protecções solares;

- h) Condições climáticas interiores, incluindo as de projecto;
 - i) Cargas internas.
4. Neste cálculo deve ser tida em conta, quando for caso disso, a influência positiva dos seguintes aspectos:
- a) Condições locais de exposição solar, sistemas solares activos e outros sistemas de aquecimento e produção de electricidade baseados em energia proveniente de fontes renováveis;
 - b) Electricidade produzida por co-geração;
 - c) Redes urbanas ou colectivas de aquecimento e arrefecimento;
 - d) Iluminação natural
5. Para efeitos deste cálculo, os edificios devem ser devidamente classificados nas seguintes categorias:
- a) Habitações unifamiliares de diversos tipos;
 - b) Edifícios de apartamentos;
 - c) Edifícios de escritórios;
 - d) Estabelecimentos de ensino;
 - e) Hospitais;
 - f) Hotéis e restaurantes;
 - g) Instalações desportivas;
 - h) Edifícios destinados a serviços de comércio grossista e retalhista;
 - i) Outros tipos de edificios que consomem energia.

O estabelecimento dos requisitos mínimos em matéria de desempenho energético, (tendo por base a metodologia definida) é da exclusiva responsabilidade dos Estados Membros. A sua definição deverá ter em conta um conjunto de temas:

- Condições gerais do clima exterior e interior, bem como as particularidades locais, a utilização a que se destina o edificio e a sua idade;
- Equilíbrio ótimo (em termos de rentabilidade) entre os investimentos necessários e os custos de energia economizados ao longo do ciclo de vida do edificio, sem prejuízo dos Estados-Membros de fixarem requisitos mínimos mais eficientes em termos energéticos do que os níveis de eficiência ótimos em termos de minimização de custos. Os Estados-Membros não são obrigados a estabelecer requisitos mínimos de desempenho energético que não sejam rentáveis durante o ciclo de vida económico estimado;
- Diferenças entre edificios novos e edificios existentes, bem como categorias de edificios no que respeita à sua função;

No que diz respeito especificamente a edificios novos é definido que, para além do cumprimento dos requisitos mínimos, em prédios com área superior a 1000 m², deve ser estudada na fase de projeto a viabilidade técnica, ambiental e económica de sistemas

alternativos, tais como: sistemas descentralizados de fornecimento de energia baseados em energias renováveis, co-geração, sistemas urbanos ou coletivos de aquecimento ou arrefecimento, e bombas de calor. Vale destacar que a EPBD exige que a partir de 31 de Dezembro de 2020, todos os edifícios novos devem ter necessidades quase nulas de energia¹⁷, meta que deverá ser atingida a 31 de Dezembro de 2018 para os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas.

Relativamente a edifícios existentes, a Diretiva destaca que os Estados Membros devem assegurar que, no caso de serem realizadas obras de renovação importantes em edifícios com áreas superiores a 1000 m², o seu desempenho energético deverá ser melhorado de forma a cumprir os requisitos mínimos na medida em que tal seja possível do ponto de vista técnico, funcional e económico. Os requisitos podem ser definidos para o edifício renovado no seu conjunto ou para os sistemas ou componentes renovados.

A EPBD define ainda que os requisitos devem ser revistos regularmente num prazo máximo de 5 anos e se necessário atualizados a fim de refletir o progresso técnico no setor. É interessante destacar que os requisitos definidos têm como objetivo estabelecer um patamar mínimo e que o documento incentiva os Estados membros a adotarem medidas mais rigorosas que resultem em maiores níveis de poupança energética.

Os requisitos definidos pelos Estados Membros são controlados pela UE através de uma metodologia comparativa para o cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios e dos componentes de edifícios. Caso os requisitos definidos pelos países sejam menos eficientes do ponto de vista energético que níveis ótimos de rentabilidade calculados pela referida metodologia, o Estado-Membro em causa deverá justificar a diferença. Se essa diferença não puder ser justificada, deverão ser tomadas medidas apropriadas para que a mesma possa ser reduzida de forma significativa até à próxima revisão dos requisitos mínimos de desempenho energético.

Um outro ponto merecedor de destaque exigido pela EPBD é a criação de um Sistema de Certificação de Desempenho Energético de Edificações e de frações autónomas. O certificado resultante inclui informações sobre o consumo energético dos edifícios, bem como recomendações sobre a melhoria da rentabilidade. Sempre que um edifício ou uma fração autónoma sejam colocados à venda ou em arrendamento, o indicador de desempenho

¹⁷ Edifício com um desempenho energético muito elevado, de acordo com os requisitos da metodologia de cálculo desenvolvida. As necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia proveniente de fontes renováveis produzida no local ou nas proximidades;

energético do certificado de desempenho energético deve ser mencionado nos anúncios publicados nos meios de comunicação comerciais. Quando forem construídos, vendidos ou arrendados edifícios ou frações autônomas, este certificado é mostrado ao novo inquilino ou ao potencial comprador e entregue ao comprador ou ao novo inquilino. No caso dos edifícios com uma área total ocupada por uma autoridade pública superior a 500 m² e frequentemente visitado pelo público, o certificado de desempenho energético deve ser afixado em posição de destaque, claramente visível para o público em geral (este limiar será reduzido para 250 m² em 9 de Julho de 2015). Cabe referir que a aprovação, licenciamento e ocupação de edificações residenciais e comerciais exige que os projetos atinjam determinado nível mínimo de eficiência energética.

Por fim, considera-se relevante destacar alguns pontos e orientações que são dadas na EPBD tais como:

- Países deverão estabelecer medidas para aumentar o número de edifícios que não se limitam a cumprir os requisitos mínimos de desempenho energético em vigor;
- Sempre que possível e adequado, envolver as autoridades locais e regionais que deverão ser consultadas e chamadas a participar nas questões de planeamento, no desenvolvimento dos programas destinados a providenciar informação e formação e a aumentar a sensibilização do público, e na aplicação da presente diretiva a nível nacional e regional;
- Estabelecer os requisitos de desempenho energético para os sistemas técnicos dos edifícios, utilizando, sempre que disponível e adequado, instrumentos harmonizados, a fim de garantir a coerência com iniciativas conexas e de minimizar, na medida do possível, a eventual fragmentação do mercado;
- Instalar medidores inteligentes e sistemas de controlo ativos nomeadamente sistemas de automatização, controlo e monitoramento, destinados a poupar energia, nos edifícios em construção ou sujeitos a grandes renovações.

Relativamente à execução e fiscalização dos CEEE desenvolvidos (com base na EPBD) o modelo institucional varia de país para país e depende fortemente do procedimento aplicado ao setor da construção em geral. De acordo com Liu, Meyer e Hogan (2010) observa-se uma tendência de mudança relativamente à responsabilidade pelo controlo de qualidade da construção. Quase todos os países europeus tinham inicialmente um sistema de controlo dito “tradicional” no qual as autoridades locais fiscalizavam o processo de

construção. Mais recentemente verifica-se uma tendência para a migração do modelo “*Agência Governamental*” para “*Entidades Terceiras do setor privado*”, conforme definições apresentadas na subseção 3.1.1. O envolvimento do setor privado varia desde entidades contratados pelas autoridades locais até um papel de total responsabilidade pelo processo e autorização para emissão de licenças. A tendência no sentido de maior responsabilidade atribuída ao setor privado é suportada pelo desenvolvimento de métodos de garantia da qualidade por processo de certificação e acreditação das entidades privadas. Relativamente ao nível de implementação verifica-se que na maioria dos países a execução acontece ao nível local.

3.3.1.2 América do Norte

- **Estados Unidos da América**

Os Estados Unidos da América iniciaram o desenvolvimento de Códigos Energéticos para Edifícios como resposta à crise energética de 1973. O primeiro código a ser publicado foi em 1975 pela ASHRAE, então designado por *Standard 90.1-75 Energy Conservation in New Buildings*. No mesmo ano, foi publicada a Lei de Política Energética e Conservação, onde foi sugerido que o Código da ASHRAE fosse adotado como um padrão nacional (HALVERSON; SHUI; EVANS, 2009).

Mais tarde em 1992, a Lei de Política Energética deu um importante passo ao estabelecer que o *Department of Energy* (DOE), passaria a ser obrigado a envolver-se ativamente no desenvolvimento e implantação de CEEE em colaboração com os Estados e governos locais. Na referida lei ficou também definido que o padrão ASHRAE 90.1 passaria a constituir a base para a definição de medidas de poupança energética em edifícios comerciais (incluindo os edifícios verticais multiresidenciais). Já no caso do setor residencial, para moradias e edifícios de até três pisos, adotou-se o *Model Energy Code* (MEC) do CABO, mais tarde substituído pelo *Internacional Energy Conservation Code* (IECC) do Internacional Code Council (ICC). Atualmente, o código IECC foca tanto edificações comerciais como residenciais enquanto a norma AHSRAE 90.1 diz respeito apenas a edifícios comerciais e

residenciais multifamiliares¹⁸.

A opção de desenvolver Códigos-Modelo em vez de deixar o desenvolvimento de códigos sob responsabilidade de cada município apresenta como vantagens a diminuição da desordem e complexidade nas leis de regulamentação de edificações e a redução dos custos de desenvolvimento de códigos a nível estadual e local (CABO, 1997).

Desde 1975, o standard ASHRAE 90-1 passou por várias publicações. A versão mais atual, de 2010 representa uma poupança entre 20-25% face à versão de 2004. Já o IECC, foi publicado primeira vez em 1998 com base no MEC de 1995, sendo a versão mais recente a de 2012 que proporciona uma poupança de cerca de 30% face às edificações construídas em conformidade com o padrão de 2006.

A decisão de adoção de CEEE está a cargo de cada Estado. De acordo com DOE (2011), em Novembro de 2011 cerca de 78% dos Estados tinha adotado códigos energéticos (dos quais 62% tinham aderido à versão mais recente dos CEEE modelo para edifícios comerciais) enquanto 22% continuava sem implantar CEEE no setor. Relativamente ao setor residencial, os números eram de 78% (53%) e 22% respectivamente. Também a implementação e execução dos códigos energéticos é da responsabilidade dos governos estaduais e locais. Os Estados podem ainda optar por desenvolver códigos independentes da ASHRAE ou IECC (tal como é o caso da Califórnia).

Atendendo a restrições de tempo, não foi possível o estudo comparativo dos dois modelos quanto às exigências para o setor residencial, pelo que descrevem-se apenas alguns tópicos que se consideram relevantes e que servem de modelo aos códigos estaduais. As versões analisadas foram a ASHRAE 90.1 2007 e o IECC 2012.

Data de Implantação:

ASHRAE 90.1 – 1975; IECC – 1998.

Obtenção:

Mediante Pagamento: ASHRAE 90.1 2010 - \$126 e IECC 2012 - \$28.

Escopo:

- ASHRAE 90.1: Edifícios residenciais multifamiliares acima de 3 pavimentos:

¹⁸ Os edifícios unifamiliares ou multifamiliares de até 3 pavimentos são regulados pela norma ASHRAE 90.2 - *Energy Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings*.

- Novos edifícios e seus sistemas;
- Edifícios existentes: novas porções e seus sistemas, substituição de partes do edifício, alterações de edifício, novos sistemas e equipamentos;
- IECC: Edifícios Unifamiliares ou multifamiliares de até 3 pavimentos:
 - Novos edifícios;
 - Adições, renovações, alterações e reparações de edifícios existentes;

Requisitos:

Ambos os modelos apresentam zoneamento climático para localidades nos EUA. Para regiões fora dos EUA a norma ASHRAE 90.1 apresenta a classificação climática de alguns países e localidades e dá instruções para a classificações de regiões não citadas na norma, em função das principais definições climáticas (clima quentes vs frio, úmido vs seco e marítimo).

É interessante destacar que o IECC reforça a necessidade de definir requisitos que não aumentem os custos de construção, não restrinjam o uso de novos materiais, produtos e técnicas construtivas nem constituam tratamento preferencial a qualquer tipo de material, produtos ou métodos construtivo

Envoltória

- Na norma ASHRAE 90.1 os requisitos são definidos em função da categoria do ambiente condicionado (residencial condicionado, não residencial condicionado ou ambiente semi-condicionado), tipo de componente e zona climática. Já no caso do IECC os requisitos dependem apenas do tipo de componente e zona climática. Cabe ainda destacar que, no caso da ASHRAE 90.1, os requisitos são os mesmos para climas úmidos e secos, dependendo apenas das condições de temperatura;
- Em ambos os modelos são definidos valores limite para as propriedades térmicas dos fechamento opacos: mínimos de resistência térmica (valor R) para isolamento ou máximos de transmitância térmica (fator U) para o conjunto. No caso particular do telhado são estabelecidos valores mínimos de refletância solar e emitância térmica¹⁹;

¹⁹ A AHSRAE 90.1 define o conceito de “Coberturas Frescas” ou “Telhados Frescos” como todas as coberturas ou telhados para os quais a refletância solar é superior ou igual a 0,7e a emitância é maior ou igual a 0,75 ou para os quais o Índice de Refletância Solar é 83.

- Relativamente a fechamentos translúcidos (aberturas verticais e zenitais) são estabelecidos valores máximos de Transmitância Térmica e Fator Solar, com limite de percentual máximo de aberturas verticais na fachada e de aberturas zenitais na cobertura. Na ASHRAE 90.1 é definido que vãos que apresentam sombreamento por elementos permanentes (com vida útil igual à do edifício) têm fator solar reduzido em função da orientação do vão, fator de projeção e porcentagem de opacidade;
- Em ambos os modelos é exigido que os valores das características térmicas dos componentes da envoltória estejam contidos numa etiqueta ou certificado emitido por organizações competentes e acreditadas;
- Outro tema tratado é a estanqueidade do ar através de estabelecimento de taxas máximas de infiltração nas janelas, permeabilidade de materiais, entre outras medidas. O tema é tratado como obrigatório pela AHSRAE 90.1 e pelo IECC 2012. Neste último é também exigido que sejam efetuados testes à estanqueidade e que os valores das janelas sejam comprovados por laboratórios acreditados;
- A ASHRAE 90.1 fornece a opção de aplicar um método de *trade-off* para conformidade com a envoltória em alternativa ao método prescritivo, segundo o qual a mesma deverá apresentar um Fator de Desempenho da Envoltória (EPF) igual ou inferior ao EPF da envoltória de um edifício projetado em conformidade com o método prescritivo. O valor do EPF é calculado de acordo com uma equação fornecida;
- Também o IECC fornece uma alternativa ao método prescritivo: o valor do somatório das transmitâncias térmicas ponderadas pelas áreas dos diferentes elementos da envoltória deverá ser inferior ao mesmo valor quando considerados os valores de transmitância térmica do método prescritivo;

Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

- Exigência de eficiência mínima de equipamentos em condições de operação padrão, de acordo com teste de ensaio específico, ou não-padrão, a qual deverá ser comprovada por um programa de certificação ou ensaios por laboratórios competentes²⁰ e dados do fabricante. Os modelos apresentam tabelas com exigências para as seguintes categorias de equipamentos: ar-condicionado e unidades de

²⁰ No caso do tipo de produto em causa ser alvo de programa de certificação mas não haver avaliação para o produto em particular.

- condensação, bombas de calor, *chillers*, caldeiras e equipamento de rejeição de calor. Adicionalmente, os equipamentos mecânicos deverão estar etiquetados no âmbito da Lei NAECA (*National Appliance Energy Conservation Act*) ou apresentar uma etiqueta do fabricante comprovando que o mesmo está em conformidade com a norma ASHRAE 90.1;
- O cálculo das cargas térmicas para efeitos de dimensionamento de sistemas e equipamentos deverá ser feitos de acordo com padrões e manuais de engenharia reconhecidos;
 - O sistema HVAC instalado deverá prever um conjunto de controles tais como: controlo termoestático por zonas do edifício (sendo que uma unidade habitacional dentro de um edifício deverá ser considerada uma zona); faixa de temperatura de controlo de 3 graus; desligamento automático; controles do sistema de ventilação, umidificação e desumidificação; proteção contra congelamento; recuperadores de calor; estanqueidade e isolamento de dutos e tubulações;
 - Faz-se relevante destacar que a ASHRAE 90.1 exige que a autoridade com jurisdição, após aprovação do projeto do sistema HVAC forneça material de apoio tais como manuais que auxiliem o proprietário a tirar o melhor partido do seu sistema otimizando a sua eficiência de operação e aplicando medidas de manutenção;

Aquecimento de Água

- O cálculo das cargas de aquecimentos, para efeitos de dimensionamento do sistema e seus equipamentos, devem ser feitos de acordo com orientação dos fabricantes ou manuais de engenharia reconhecidos;
- A eficiência dos equipamentos deverá estar de acordo com os valores mínimos de desempenho tabelados em função da dimensão do sistema (avaliado pela potência), condições e teste de ensaio. Os equipamentos contemplados incluem: aquecedores elétricos de água, aquecedores a gás de acumulação ou a óleo; aquecedores a gás instantâneos ou a óleo, caldeiras a gás ou a óleo, aquecedores para piscinas a gás ou óleo, bomba de calor para piscinas;
- É exigido isolamento das tubulações;
- Controlo de temperatura do sistema;
- A norma AHSRAE 90.1 prevê condições para a integração do sistema de

condicionamento ambiental e de aquecimento de águas;

Sistema de Iluminação

- De acordo com ASHRAE 90.1 e IECC os requisitos do sistema de iluminação não se aplicam a ambientes residenciais;

Outros Sistemas:

- A norma ASHRAE 90.1 apresenta ainda requisitos relativamente ao sistema elétrico e outros equipamentos tais como motores elétricos;

Métodos de Avaliação da Conformidade:

Ambos os códigos incluem um Método de Natureza Prescritiva e um Método de Desempenho (do tipo *Orçamento Customizado*), sendo que alguns requisitos têm natureza obrigatória. A avaliação da conformidade tendo por base o método *Orçamento Customizado* determina que o consumo energético do edifício projetado deve ser inferior ou igual ao consumo energético de um edifício de referência que resulta do projeto real, quando são considerados todos os requisitos incluídos na norma. Adicionalmente todos os pré-requisitos de cada sistema anteriormente referidos devem ser observados. A norma ASHRAE 90.1 define que a estimativa de consumo energética deve ser obtida com recurso a um programa de simulação computacional que faça análise de consumo de energia de edificações (ex. DOE-2 ou BLAST). O IECC refere que os preços da energia deverão ser retirados de uma fonte aprovada pela autoridade fiscalizadora.

Entidade Responsável:

As entidades responsáveis pelos códigos estaduais ou locais são as respectivas autoridades governamentais.

Desenvolvimento/Revisão:

A norma ASHRAE 90.1 é elaborada pela ASHRAE enquanto o modelo IECC é elaborado e publicado pelo ICC. Para ambos os modelos está definido um período de revisão de 3 anos e o processo envolve a participação dos oficiais responsáveis pela sua execução, representantes da indústria da construção, profissionais de projeto e outros interessados. É

interessante destacar que o IECC faz parte de um conjunto de códigos para edificações desenvolvidos pelo ICC que focam outros temas relacionados com edifícios (tais como código contra incêndios, código de hidráulica e saneamento).

Implementação/Execução e Fiscalização:

Conforme referido, a decisão de adoção de CEEE está a cargo de cada Estado. A execução é tipicamente uma função dos governos locais embora, em alguns estados, a responsabilidade por determinados tipos de edifícios comerciais tais como escolas seja função do governo estadual. Os governos locais são responsáveis por criar a estrutura organizacional do processo de execução dos Códigos, designar a pessoas ou pessoas encarregues pela execução e disponibilização dos recursos necessários. A organização surge em diversos tamanhos e formas dependendo da quantidade e natureza da atividade de construção, da importância dada pelas autoridades governamentais ao grau de conformidade das edificações com o Código adotado, dos recursos financeiros disponíveis para a atividade de execução e fiscalização. O processo de execução pela organização recorre a uma licença de construção concedida após análise, inspeção e aprovação das atividades propostas, a fim de garantir a conformidade com o Código de construção (CABO, 1997).

Apesar de nos EUA, a maioria dos Estados ter adotado CEEE para o setor residencial e/ou comercial, os esforços de implementação e execução não são consistentes de Estado para Estado ou de jurisdição para jurisdição. Alguns Estados entregam essa função a Agências estaduais enquanto outros optam por deixar sob a alçada de organizações do setor privado ou permitem a auto-certificação por parte do construtor. Mesmo em casos onde há um processo de inspeção implantando, evidências demonstram que é dada maior prioridade a outros temas como segurança, de que são exemplo os Códigos contra Incêndios. O nível de conformidade com os códigos modelos não é bem conhecido e Yang (2005) conclui que o potencial de conservação de energia e custos resultante da implementação de CEEE para edifícios nos EUA não está a ser totalmente atingido.

Caráter (Obrigatório/Voluntário):

Quando adotado pelos Estados tem caráter obrigatório.

Outras medidas:

- Apesar de adotados a nível estadual, desde a década de 70 que o DOE apóia o desenvolvimento e implementação de CEEE mais exigentes. Desde 1990 que o DOE disponibiliza educação gratuita, material de treinamento e *software* de apoio às versões mais recentes dos padrões IECC e ASHRAE 90.1, nomeadamente programas de computador para verificação da conformidade (o *REScheck* para edifícios residenciais e o *COMcheck* para edifícios comerciais). Merecedores de destaque são também os investimentos que têm sido feitos em ferramentas de simulação energética de edifícios como o *EnergyPlus*;
- Atualmente está em vigor um programa do núcleo de Eficiência Energética e Energias Renováveis do DOE designado por *Programa de Tecnologia de Edificações* do qual faz parte o *Programa Regulatório para Edificações*. Este último agrega três iniciativas: Etiquetagem de Eletrodomésticos e Equipamentos; Energy Star; e o Programa de Códigos Energéticos para Edificações. A missão do Programa de Códigos Energéticos para Edificações é apoiar e verificar o desenvolvimento de CEEE mais exigentes e fornecer assistência aos estados na atualização, implementação, execução e melhoria dos níveis de conformidade. Para tal encontram-se definidas as seguintes estratégias:
 - Apoiar e participar na atualização dos códigos modelo (ASHRAE 90.1 e IECC) com o objetivo de promover a adoção de tecnologias disponíveis e de medidas de eficiência energética economicamente justificáveis;
 - Determinar num prazo de um ano após a publicação dos códigos se a nova versão do modelo proporciona efetiva poupança energética face à versão anterior;
 - Disponibilizar apoio financeiro e assistência técnica aos estados para atualizar, implementar e melhorar os níveis de conformidade com os seus códigos energéticos para edificações.
- Resultando de uma parceria entre o DOE e a EPA, o *Energy Star* é um programa que promove a eficiência energética através de produtos e práticas eficientes, nomeadamente produtos *Energy Star*, novas residências *Energy Star*, melhoria de residências *Energy Star* e Edifícios e Indústrias *Energy Star*;
- Outra iniciativa que merece destaque e apresenta elevada visibilidade internacional é o USGBC e o sistema voluntário de certificação LEED que considera outros itens na classificação do edifício para além da eficiência energética, tais como a conservação de

água, o uso de materiais, a implantação sustentável do edifício no seu local e a qualidade interior do ambiente. O sistema está disponível para um total de nove categorias de edifícios tais como Novos Edifícios, Manutenção e Operação de Edifícios Existentes, entre outros;

- Resultante de uma adaptação de um programa canadense, foi instituído a Iniciativa Edifício Verde e os Globos verdes que oferece um método de avaliação online, sistema de classificação e orientação técnica para o desenvolvimento de edifícios verdes, sua operação e gestão;
- Por fim refere-se a Norma Nacional de Edifícios Verdes, código desenvolvido pelo ICC que fornece orientações para a construção de edificações para o setor residencial e que contempla itens como a conservação da terra, coleta de águas da chuva, construção de residências menores a fim de conservar recursos, consumo energético, (partindo de um valor 15% acima das exigências do IECC 2006), tipo de materiais e educação do proprietário relativamente à correta manutenção e operação para que mantenha o seu *status* de verde ao longo da vida útil.

3.3.1.3 Ásia e Oceania

Com base em Iwaro e Mwasha (2010a), o cenário de adoção de CEEE na Ásia é muito heterogêneo registrando-se países sem qualquer tipo de padrão energético para o setor de edificações enquanto noutros vigoram CEEE obrigatórios e mistos. Relativamente à região sudeste, os autores destacam que em Singapura vigoram padrões obrigatórios enquanto na Indonésia, Malásia, Taiwan, Filipinas, Paquistão estão adotados padrões mistos. Na região central a China e Japão apresentam CEEE de caráter obrigatório enquanto a Índia e Sri Lanka adotaram recentemente padrões para grandes edifícios comerciais. Quanto ao oriente médio, apontam-se o Kuwait que apresenta padrões energéticos para edificações obrigatórios, a Síria, Arábia Saudita e Palestina com padrões mistos e o Líbano que na data do estudo (2010) estava com intenções de implementar padrões obrigatórios. Ainda quanto ao Oriente médio, o Qatar e Omar estão em processo de adoção de padrões energéticos.

De seguida apresenta-se o caso particular de alguns países: Austrália, Índia, Japão e China.

- **Austrália**

O principal CEEE em vigor é o *Building Code of Australia* (BCA) que faz parte de um documento maior designado por *National Construction Code* (NCC) que por sua vez constitui o Código de Obras nacional australiano. O NCC inclui além do BCA, o *Plumbing Code of Australia* (PCA), relacionado com os temas de saneamento e gestão de águas nas edificações.

A Austrália é um país com um extenso território que inclui diferentes tipos de climas, desde clima frio a Sul a clima tropical na região Norte. Para efeitos de requisitos, o BCA divide o país em 8 regiões bioclimáticas.

Data de Implantação:

Os tópicos relacionados com eficiência energética foram incluídos no BCA em 2003, para moradias residenciais e em 2005 para os restantes tipos de edificações.

Obtenção:

Pago (aproximadamente AU\$399 ou R\$710²¹, a versão mais barata).

Escopo:

O BCA foca diversos temas (ex. estruturas, segurança ao fogo, acessibilidades) entre os quais a eficiência energética. Os requisitos são definidos tendo em conta a distinção entre moradias residenciais (edifícios unifamiliares ou multifamiliares de até 3 pisos) e edifícios residenciais multifamiliares, comerciais e públicos (à semelhança do padrão IECC e ASHRAE 90.1).

Requisitos:

O BCA exige diferentes tipos de requisitos em função do tipo de edificação (unifamiliar ou multifamiliar, comercial e público).

Envoltória:

- Fechamentos opacos: requisitos de isolamento térmico (valor R mínimo), para telhados/tetos e paredes externas, e de resistência térmica (valor R mínimo) para pisos em

²¹ Tendo em conta a taxa de câmbio do Banco Central do Brasil no dia 23 de Novembro de 2011

função do tipo de piso, em função da zona bioclimática;

- Fechamentos Translúcidos: devem obedecer a valores de transmitância térmica (fator U), ganhos solares, fator de exposição solar e fator solar em função da área de vidro e área de piso, tendo em conta a zona climática. Em alguns casos, o cumprimento dos requisitos implica a instalação de sombreamento em algumas janelas.

Estanqueidade do Edifício

- Requisitos para chaminés e tubulações, clarabóias, portas e janelas, ventilador para exaustão do ar e resfriadores evaporativos, com o objetivo de minimizar as infiltrações de ar em regiões com Invernos muito frios.

Movimentação do Ar:

- Especificações relativamente às necessidades de renovação do ar, número de aberturas de ventilação, instalação de ventiladores de teto e resfriadores evaporativos. O BCA estabelece número de aberturas de ventilação por quarto (ou percentual de área de piso para cada quarto habitável). As especificações variam com a zona climática. Nas zonas de verão úmido e/ou verão quente os requisitos de ventilação são mais elevados (aberturas têm que permitir um “caminho de ar” ou cada divisão habitável deverá ter pelo menos duas aberturas de ventilação em que cada abertura não deve ter menos de 25% da área de aberturas para ventilação requerida).

Ar Condicionado e Sistemas de Ventilação:

- Requisitos para sistemas mecânicos de condicionamento de ar, nomeadamente o dimensionamento do sistema de ventilação. São também feitas algumas exigências de isolamento de tubulações, de fornecimento e retorno do ar, independência de controlo termostático (entre ambientes servidos por um mesmo aparelho), instalação de temporizadores em sistemas de ventilação, aquecimento e resfriamento a partir de determinada dimensão. No caso de moradias residenciais, os requisitos estabelecidos neste tema aplicam-se apenas aos dutos e seu isolamento. O BCA reforça a idéia de que a minimização do consumo de energia pelos sistemas de condicionamento de ar não poderá, em nenhum caso, pôr em causa a qualidade do ar interior.

Iluminação Artificial:

- Os requisitos aqui definidos não se aplicam a moradias residenciais. Para edifícios multifamiliares são definidos limites de densidade de potência para corredores, áreas de trabalho e iluminação à volta do perímetro do edifício.

Aquecimento de água:

- Sistemas instalados devem estar em conformidade com a norma técnica AS/NZ 3500 exceto no caso de Sistemas de Aquecimento Solar nas zonas climáticas mais quentes. Adicionalmente são definidos valores de mínimos de resistência térmica para isolamento em função da zona climática.

Métodos de Avaliação da Conformidade:

São consideradas três alternativas de métodos de conformidade: método prescritivo; método baseado no desempenho (do tipo *Orçamento Customizado*); um método alternativo que deixa ao critério do projetista/construtor/empreendedor demonstrar a conformidade (por exemplo, através de *software* de classificação energética de edificações). No caso do setor residencial a conformidade pode ser demonstrada pela obtenção de um nível mínimo de cinco estrelas no Sistema de Certificação (NatHers referido mais à frente).

Entidade Responsável:

O NCC está sob a responsabilidade do Conselho Australiano de Códigos para Edifícios (ABCB) entidade governamental que desenvolve e administra o documento.

Desenvolvimento/Revisão:

A cargo do ABCB com participação de elementos de diversos níveis governamentais e representantes da indústria da construção. Não foi possível esclarecer se existe algum ciclo de revisão pré-definido.

Implementação/Execução e Fiscalização:

O BCA funciona como um modelo e ganha efeito legal através de legislação em cada estado (ou território), na qual ficam definidos, entre outros tópicos, o processo de licenciamento e aprovação da construção, inspeções e auditorias, processo de revisão dos requisitos, impostos e taxas. Cada estado adota o BCA podendo retirar ou acrescentar temas e requisitos a serem exigidos.

Caráter (Obrigatório/Voluntário):

Obrigatório

Outras medidas:

- O ABCB mantém um site dedicado ao NCC com todas as informações relativas ao documento, seu conteúdo e processo regulatório;
- O ABCB mantém um conjunto de atividades (eventos e serviços de informação) a fim de estabelecer contato com os *stakeholders* da indústria da construção: comitês constituídos por representantes da indústria e de vários níveis governamentais que apóiam o processo de atualização do NCC; realização de seminários nas diversas capitais estaduais; realização de uma conferência nacional bi-anual com o objetivo de discutir o futuro do setor da construção; publicação de uma revista técnica informativa dirigida aos subscritores do BCA; manutenção de um Serviço Consultivo acessível ao mercado em geral disponível para esclarecer dúvidas técnicas e aconselhar na aplicação dos requisitos;
- Foi desenvolvido um sistema de certificação para informar o mercado quais os produtos que estão em conformidade com o BCA. No âmbito deste sistema o ABCB é responsável por certificar as entidades que ficam autorizadas a certificar os produtos/materiais de construção. É exigido por legislação que as autoridades fiscalizadoras do BCA aceitem os produtos certificados como documento que atesta a conformidade;
- Em 2004 foi implementado um sistema de classificação energética de residências (*Nation wide House Energy Rating System Scheme* (NatHERS)). O Sistema não tem caráter obrigatório, mas a sua escala de classificação (entre 0 e 10, sendo que quanto mais estrelas menores as necessidades de aquecimento e resfriamento) é reconhecida como prova de conformidade com o BCA. É interessante referir que antes da introdução de requisitos de regulação energética (em 2003) menos de 1% das casas atingiam 5 estrelas na escala de classificação e que, atualmente (em 2011), as residências estão a ser construídas para um nível de 6 ou mais estrelas.

- **Índia**

O primeiro CEEE a ser implantado na Índia foi o *Energy Conservation Building Code* (ECBC) em 2007. Trata-se de um documento independente do Código de Obras do país.

Estimativas baseadas em simulação computacional indicam que os edifícios em conformidade com ECBC gastam menos 40-60% de energia que edifícios convencionais (EVANS; SHUI; SOMASUDARAM, 2009). Apesar do Código de Obras em vigor, o *National Building Code* (NBC), ter sido publicado já em 2005, o tema eficiência energética é tratado de forma marginal. Ainda de acordo com os referidos autores, está em curso um processo de harmonização do ECBC e do NCB.

Data de Implantação:

O primeiro código de obras foi implantado em 2005, mas a eficiência energética é um tema tratado de forma marginal. O primeiro Código Energético para Edificações foi implantado em 2007.

Obtenção

Não foi possível esclarecer o meio oficial de obtenção do ECBC.

Escopo

Aplica-se a novos edifícios ou novos complexos de edifícios (ou a ampliações e alterações de edifícios existentes) que têm uma carga instalada de pelo menos 500 kW ou uma tensão de alimentação de pelo menos 600 kV ou uma área condicionada superior a 1000 m². Edifícios com estas características são tipicamente comerciais ou grandes complexos residências. O código não se aplica a edifícios unifamiliares ou multifamiliares com 3 pisos ou menos (BEE, 2006).

Requisitos:

A estrutura do Código está fortemente baseada na nos padrões ASHRAE 90.1 2004, contemplando os seguintes tópicos: Envoltória, Sistema de Iluminação, Sistema HVAC, Sistema Elétrico e Sistema de Aquecimento de água. Os requisitos exigidos incluídos consideram a divisão do país em cinco zonas climáticas incluindo região fria, temperada, quente e seca, quente e úmida e clima composto.

Envoltória:

- Para elementos opacos são definidos requisitos de transmitância térmica (*Fator U*) máxima para componentes e de resistência térmica (*Valor R*) mínima para a camada

de isolamento térmico. É interessante destacar que os requisitos são definidos em função da zona climática, e é exigido isolamento térmico mesmo para climas quentes e secos e quentes e úmidos. Para telhados com inclinação inferior a 20° deverão apresentar valores de refletância solar inferiores ou iguais a 0,7 e uma remitância de pelo menos 0,75²². É igualmente interessante destacar que os requisitos de desempenho térmico de elementos opacos distinguem edifícios que operam apenas durante o dia de edifícios que operam 24 horas;

- Relativamente a aberturas o ECBC estabelece diferentes requisitos para aberturas verticais e aberturas zenitais sendo que:

Aberturas verticais: são definidos valores máximos de transmitância térmica (Fator U) e de fator solar em função da zona climática e para um máximo de 40% de aberturas na fachada²³. Os valores limite podem sofrer ajustamento na presença de elementos sombreadores, sendo o ajustamento definido em função da orientação da fachada e da latitude do lugar. Adicionalmente são definidos valores mínimos de coeficiente de visibilidade (*Visual light Transmittance*) em função do rácio janela-parede e da zona climática;

Clarabóias (ou aberturas zenitais): são estabelecidos valores máximos de transmitância térmica (Fator U) e Fator Solar. A aplicação do método prescritivo só é válida para um percentual de abertura na cobertura inferior a 5 %.

- A conformidade com os requisitos da envoltória pode ainda ser determinada por um método de *Trade-off* segundo o qual o valor de Coeficiente de Desempenho da Envoltória, calculado de acordo com uma equação específica fornecida, deverá ser inferior ao mesmo coeficiente calculado com os valores exatos referidos no método prescritivo. Ao exigir apenas um valor de conjunto, este método permite que alguns elementos da envoltória sejam menos eficientes que os requisitos prescritivos se outros elementos forem mais eficientes, resultando num conjunto eficiente.

Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado:

- As especificação de ventilação natural deverão estar de acordo com as exigências do NBC. Quanto aos equipamentos do sistema HVAC, os mesmo deverão cumprir requisitos de eficiência energética apresentados em tabelas no ECBC e definidos pelos

²² Especificações que se enquadram na classificação de telhados frios.

²³ Acima desse valor a edificação deverá ser avaliada pelo método de desempenho.

indicadores COP e IPLV. Para os equipamentos não contemplados, deverão ser tomados como valores mínimos de eficiência os requisitos definidos no padrão ASHRAE 90.1 2004. Para além da eficiência são exigidos requisitos relativamente ao controlo do sistema HVAC, nomeadamente: instalação de temporizador para sistemas acima de determinada potência; aplicação de uma faixa de temperatura de 3°C (*dead-band*) para controlo (acionamento e desligamento dos aparelhos); possibilidade de redução de velocidade ou divisão de motores e torres de resfriamento; instalação de termostatos interligados em ambientes condicionados para resfriamento e aquecimentos. Ainda no que diz respeito a sistemas HVAC, o ECBC define requisitos relativamente aos seguintes temas: isolamento térmico (valor R) nos dutos de fornecimento e retorno do sistema de condicionamento; balanceamento do sistema; economizadores;

Aquecimento de Água e Bombeamento

- O ECBC prevê que em edifícios onde o fornecimento de água quente é feito de forma centralizada seja instalado um Sistema de Aquecimento Solar que atenda pelo menos 20% das necessidades de água quente. Os equipamentos do Sistema de Aquecimento de Água instalados devem cumprir os valores de eficiência mínima definidos em tabelas. No que diz respeito a sistema de aquecimento suplementar deverá ser considerada a seguinte prioridade de seleção de sistema: recuperação de calor de sistemas com exaustão (ex. condensador do ar condicionado); aquecedores a gás; aquecedores elétricos. No item Aquecimento de Água, são ainda definidos requisitos de isolamento.

Sistema de Iluminação

- Relativamente ao Sistema de Iluminação é exigido um conjunto de requisitos apenas para edifícios não residenciais e para áreas comuns de edifícios residenciais.

Sistema Elétrico

- Relativamente ao Sistema Elétrico são definidos requisitos para perdas em transformadores, eficiência de motores e fator de potência mínimo.

Métodos de Avaliação da Conformidade:

Estão previstos três métodos para demonstrar conformidade:

- Método Prescritivo: segundo o qual o edifício tem que verificar pelo menos os valores mínimos para cada sistema;
- Método Misto: com requisitos prescritivos para cada sistema, mas com possibilidade de *trade-off* entre subsistemas;
- Método de Desempenho: (do tipo orçamento customizado) segundo o qual se comprova recorrendo a simulação computacional que o edifício projetado consome menos energia que um edifício de referência projetado com os parâmetros definidos no método prescritivo.

Entidade Responsável:

Bureau of Energy Efficiency (BEE) organização da esfera governamental sob a alçada do Ministério de Energia da Índia.

Desenvolvimento/Revisão:

O ECBC foi desenvolvido pelo *International Institute for Energy Conservation* (IIEC) com apoio dos EUA através da *United States Agency for International Development* (USAID) no âmbito do *Energy Conservation and Commercialization Project* (ECO). Passou por uma revisão em 2008. Não foi possível esclarecer se existe algum período fixo para revisão e atualização dos requisitos (BEE, 2006).

Implementação, Execução e Fiscalização:

A implementação do Código é feita a nível estadual e municipal e os governos estaduais podem alterar pontos do Código se necessário de forma a adaptá-lo às condições climáticas locais. De acordo com Evans, Shui e Somasudaram (2009), uma vez que o ECBC se torne obrigatório, é expectável que o seu processo de execução seja similar ao já implementado para outros códigos obrigatórios para edificações, tal como o NBC. Ainda de acordo com os mesmos autores, o mecanismo de execução do NBC está bem estabelecido: as autoridades municipais são responsáveis por analisar os projetos do edifício e verificar a conformidade com o código; os inspetores municipais fazem visitas durante a construção para verificar a conformidade com o projeto aprovado. Apesar de bem definido, o processo de execução precisa de melhorias na implementação a fim de melhorar os níveis de conformidade e os inspetores precisam de treinamento adicional.

Caráter (Obrigatório/Voluntário):

Foi implantado de forma voluntária e estava previsto que se tornasse obrigatório para novos edifícios a partir de 2010. Contudo, de acordo com o site do BEE, o ECBC continua voluntário. No futuro, o governo central ou estados podem decidir adotar o ECBC de forma obrigatória. Ao nível estadual poder ser inseridas modificações para sua adaptação às condições climáticas locais.

• China

A China está entre os primeiros países em desenvolvimento a introduzirem CEEE (LIU; MEYER; HOGAN, 2010). As preocupações com a eficiência energética em edifícios surgiram em meados da década de 80 quando a China começou a construção maciça em áreas urbanas. O primeiro CEEE data de 1986. É difícil eleger um único documento como o CEEE Chinês, já que estão em vigor um conjunto de documentos com vista ao controle do consumo energético de edifício. Os documentos focam edifícios residenciais e públicos, novos e existentes e consideram a divisão do território chinês em 5 zonas climáticas. Wei (2011) opta por designar por “*sistema de padrões e códigos*” que inclui os seguintes documentos:

- Projeto: *Design standards for energy efficiency of residential / public building*
- Construção: *Code for acceptance of energy efficient building construction, Technical specification for energy conservation renovation of existing residential/ public building*
- Operação: *Standard for energy consumption survey of civil buildings*
- Teste e avaliação: *Standard for energy efficiency test of residential /public buildings, Evaluation standard for green building*

Para efeitos da presente pesquisa, focam-se os padrões energéticos definidos para a fase de projeto e que constituem requisitos a ser cumpridos no processo de licenciamento das edificações residenciais. Dos documentos regulatórios atualmente em vigor para a fase de projeto destacam-se três documentos direcionados ao setor residencial publicados em 1995, 2001 e 2003 (os dois últimos revistos em 2008) e que cobrem diferentes zonas climáticas. De acordo com Shui et al. (2009), desde 2005 está em desenvolvimento um documento que pretende definir padrões energéticos nacionais para o setor residencial que irá combinar os três documentos atualmente em vigor.

Data de Implantação:

O primeiro código energético para edifícios data de 1986 (SHUI et al, 2009).

Obtenção:

Não foi possível esclarecer o meio de obtenção dos documentos.

Escopo:

Os Códigos aplicam-se a edifícios novos, reforma e ampliação de edifícios existentes.

Requisitos:

Os Códigos focam principalmente requisitos de envoltória com impacto ao nível do desempenho térmico dos edifícios e requisitos para sistemas e equipamentos HVAC. Os documentos excluem outros tópicos tais como aquecimento de água e sistemas elétricos (SHUI et al., 2009). A iluminação é tratada num tópico separado.

Para efeitos da presente pesquisa, analisam-se os requisitos definidos para o setor residencial, em particular a região de Verão quente e Inverno ameno.²⁴. O documento intitulado “*Padrões de Projeto para Eficiência Energética em Edifícios Residenciais na região de Verão Quente e Inverno Ameno*” foi publicado em 2003 e tem como objetivo reduzir em 50% o consumo de edifícios que cumpram com o padrão face aos edifícios projetados sem preocupações com eficiência energética (SHUI et al., 2009). Para definição dos requisitos, o código considera a divisão da região em 2 sub-regiões: região norte com necessidades de aquecimento e resfriamento e região sul onde só são consideradas necessidades de resfriamento. Para a presente pesquisa foi considerada a sub-região Norte.

Envoltória

– Fechamento translúcidos:

Janelas: a área de janela exterior deve obedecer a um máximo de percentual de abertura na fachada em função da orientação (Norte <0,45; Este e Oeste <0,30 e Sul <0,50);

Clarabóias (ou aberturas zenitais): O percentual de aberturas zenitais deverá ser inferior a 4% da área de cobertura. São definidos valores máximos de

²⁴ Definida pelas seguintes características: Temperatura média do mês mais frio superior a 10°C; Temperatura média do mês mais quente entre 25e 29°C; Heating Degree Days (HDD) inferior a 600 (para uma temperatura de referência de 18°C); Cooling Degree Days superior a 200 (para uma temperatura de referência de 18°C) (SHUI et al, 2009).

transmitância térmica (*U-value*) do elemento (inferior a 4 W/m².K) e de coeficiente de sombreamento (inferior a 0,5).

- Fechamentos Opacos (Telhados e Paredes Externas): são definidos conjuntos de valores máximos e mínimos de transmitância térmica (*U-factor*) e de Índice de Inércia Térmica respectivamente.

Sistemas HVAC

- Relativamente às necessidades de aquecimento e resfriamento o código define que o gasto de energia do edifício deverá ser inferior ao do edifício de referência.

Padrão/Norma de Iluminação

- Apesar de tratados num documento em separado, a presente pesquisa considera interessante destacar que, ao contrário do que foi verificado nos restantes países analisado, a norma chinesa define requisitos para o setor residencial. Não foi possível consultar o documento. A norma foi criada em 2004 (SHUI et al., 2009)

Entidade Responsável:

Ministry of Housing and Urban and Rural Development (MOHURD).

Desenvolvimento/Revisão:

A *China Academy of Building Research* (CABR) lidera o processo de desenvolvimento do Código, em nome do MOHURD, e fornece treinamento e suporte ao processo de implementação. Não foi possível aferir a existência de ciclo de revisão e atualização dos padrões energéticos pré-definido.

Métodos de Avaliação da Conformidade:

O Código chinês contempla duas opções de método de conformidade: um método prescritivo que fornece requisitos e especificações para componentes individuais do edifício; Método de Desempenho (do tipo Orçamento Customizado) que exige que o novo edifício consumo no máximo a mesma energia que um edifício de referência.

Implementação, Execução e Fiscalização:

Os governos locais podem adotar o código nacional ou adotar versões mais exigentes.

De acordo com Shui et al., (2009) aproximadamente 100 códigos locais estão implementados em todo o país, baseados nos códigos nacionais que funcionam como modelos. Com base em Evans et al., (2010). o sistema de fiscalização apresenta diferentes níveis de fiscalização (projeto, construção e comissionamento) e envolve diversas instituições, a saber:

- MOHURD: a nível nacional é responsável por adotar e coordenar a implementação do código. Anualmente o MOHURD realiza uma fiscalização por amostragem (SHUI et al., 2009);
- A nível municipal, conta-se com entidades governamentais e privadas (entidades terceiras ao processo de construção) no processo de execução. A entidade municipal da esfera governamental é responsável por adotar o código localmente e exercer supervisão através de um departamento com função de gerir as obras e construções municipais (o qual tem a obrigação de reportar ao MOHURD). É também da sua responsabilidade emitir as licenças com base na documentação providenciada pelo proprietário/construtor/empresas privadas envolvidas no processo. A supervisão da qualidade é executada por entidades não governamentais, mas financiadas e autorizadas pelo poder local, trabalham em seu nome na fiscalização de obras, revisão e aprovação de documentos relacionados com conformidade. Da esfera privada contam-se empresas de verificação do projeto (que certificam que o mesmo está em conformidade com o código) e empresas de supervisão da construção que verificam na obra se o edifício está em conformidade com os códigos. Estas empresas privadas responsáveis por verificar projetos e fiscalizar a obra passam por treinamento e avaliação para obter uma licença de atuação, concedida pelo MOHURD. São empresas contratadas pelo proprietário/empreendedor do edifício;
- A empresa de construção deve desenvolver e implementar programas de garantia de qualidade;
- Laboratórios que efetuam a avaliação energética ou resistência térmica de componentes do edifício tais como isolamento e janelas de forma a comprovar a conformidade com o Código. Estes laboratórios também passam por um processo de certificação do governo.

De acordo com Liu, Meyer e Hogan (2010), após mais de 20 anos de experiência com CEEE e esforços administrativos a nível nacional, regional e local, a China têm finalmente atingido algum sucesso na sua execução, em especial em grandes cidades. Evans et al. (2010) relata que o país passou de um sistema com baixo grau de conformidade para uma realidade

onde a conformidade é elevada ao nível das grandes e médias cidades. As inspeções governamentais indicam que cerca de 80% dos edifícios concluídos em 2008 estavam em conformidade com o Código vigente (em algumas dezenas das maiores cidades) (LIU; MEYER; HOGAN, 2010).

Caráter (Obrigatório/Voluntário):

O princípio de implementação dos padrões energéticos é de obrigatoriedade relativamente à fase de projeto e construção, e voluntariedade para requisitos na fase de operação, teste e avaliação.

Outras medidas:

- Uso de um *software* integrado para projeto em conformidade com os CEEE vigentes. Trata-se de um *software* que combina funcionalidades CAD com um programa de simulação energética. As vantagens do uso deste tipo de instrumentos prendem-se com o fato de permitir aos arquitetos fazer a verificação da conformidade com o código durante a concepção do projeto. Além disso, o uso do *software* permite estudar a conformidade recorrendo a *trade-offs* na envoltória do edifício (EVANS et.al., 2010);
- Publicação do *Code for Acceptance of Energy Efficient Building Construction*, em 2007, que contempla tópicos relacionados com a própria construção (ou reforma) do edifício de forma a garantir a qualidade da construção (testes *in situ*, inspeções, técnicas construtivas) no que diz respeito a eficiência energética.

• Japão

Dada a elevada dependência energética do Japão, o país foi fortemente afetado pela crise do petróleo de 1973. Desde essa época que a eficiência energética é um assunto prioritário no país, que apresenta uma das economias mais eficientes do mundo, tomando como indicador a intensidade energética (SHIEL; JEFFERS; DYAR, 2011). Em 1979 foi publicada a Lei de Conservação de Energia, que, embora inicialmente contemplasse apenas o setor industrial, foi incorporando medidas de melhoria de eficiência energética para edifícios nas suas revisões, sendo a última de 2008. De acordo com o documento, em sua última versão, as construtoras e proprietários de edifícios deverão adotar medidas para redução de

perdas de calor através dos edifícios e utilizar de forma eficiente a energia na operação dos sistemas do edifício tais como aquecimento, ventilação, resfriamento, iluminação, entre outros (SHIEL; JEFFERS; DYAR, 2011).

Atualmente, o Japão tem três códigos regulatórios do consumo energético em edifícios, um dirigido ao setor comercial e dois para o setor residencial (SHIEL; JEFFERS; DYAR, 2011). A norma do setor comercial intitula-se *Critério para Clientes sobre a Racionalização de energia em Edifícios* (CCREUB). Relativamente ao setor residencial, o Japão apresenta duas normas: “*Orientações de projeto para racionalização do uso de energia em residências*” (DCGREUH) e “*Critérios para clientes sobre a racionalização do uso de energia em residências*” (CCREUH). Tratam-se de documentos independentes do Código de Obras. Na presente pesquisa focam-se os requisitos dirigidos ao setor residencial.

Data de Implantação:

As normas do setor residencial foram publicadas a primeira vez em 1980 e revistas a última vez em 1999.

Obtenção:

Não foi possível esclarecer.

Escopo:

Novos edifícios e edifícios existentes.

Requisitos:

DCGREUH: os requisitos são definidos tendo em conta a divisão do país em seis zonas climáticas.

Envoltória

- Requisitos definidos em função da zona climática e da técnica construtiva empregue: isolamento térmico de determinados componentes com valor mínimos de resistência Térmica (valor R); requisitos de transmitância térmica através da definição de valores máximos de fator U para componentes. Ainda no que diz respeito à envoltória o código dá orientações para instalação do isolamento e execução da própria construção

tendo a vista a máxima estanqueidade do edifício. Para aberturas (janelas e portas) são exigidos valores inferiores ou iguais aos máximos de transmitância térmica (fator U) e, para vidros, máximos de Fator Solar em função da sua orientação. Para regiões mais frias é exigido que as janelas sejam de vidro duplo ou triplo.

Ventilação

- É definida a necessidade de instalação de ventilação mecânica em cozinhas e banheiros (e espaço similares) e são focados itens como o tamanho e localização das janelas para providenciar ventilação natural, taxas de renovação de ar que devem ser proporcionadas pelo sistema de ventilação mecânica por pessoa e tipo de ambiente, medidas de prevenção de condensação, entre outros. Um ponto interessante é a orientação para o plantio de árvores com objetivo de proteger o edifício do exterior e melhorar o fluxo de ar circulante.

Sistemas HVAC e de aquecimento de água

- O código define que os equipamentos devem ser energeticamente eficientes, são definidos controles e são dadas orientações quanto à sua correta ventilação.

Operação e manutenção

- Considera-se este ponto que merece de destaque especial pelo seu pioneirismo já que foca a operação e manutenção do edifício com vista à eficiência energética ao longo da sua vida útil. São dadas orientações relativamente à prevenção de combustão incompleta e formação de umidade de condensação no sistema de aquecimento, ao uso da ventilação natural para resfriamento sempre que possível e manutenção e limpeza de filtros dos sistemas HVAC, entre outras.

CCREUH:

Define valores máximos admissíveis para a carga de aquecimento e resfriamento (em função da zona climática) que impactam nas escolhas do projetista para envoltória.

Métodos de Avaliação da Conformidade:

O DCGREUH é um código do tipo prescritivo enquanto o CCREUH apresenta uma

mistura de requisitos prescritivos e de desempenho (do tipo *Orçamento Fixo*) (EVANS; SHUI; TAKAGI, 2009).

Entidade Responsável:

A responsabilidade pelos códigos energéticos de edificações está nas mãos de entidades governamentais. Relativamente ao setor residencial: o DCGREUH é da responsabilidade do Ministério da Construção, enquanto que o CCREUH é de responsabilidade conjunta do Ministério da Construção e do Ministério do Comércio Internacional e Indústria.

Desenvolvimento/Revisão:

O desenvolvimento e revisão do DCGREUH é da responsabilidade do Ministério da Construção, atual Ministério da Terra, Infraestrutura e Transportes, enquanto que a CCREUH é de responsabilidade conjunta do Ministério da Construção e do Ministério do Comércio Internacional e Indústria. Os referidos Ministérios são responsáveis por implementar os requisitos da Lei de Eficiência Energética dirigidos às edificações. No âmbito dessas funções, a revisão dos requisitos de eficiência energética está sob a sua responsabilidade.

Implementação, Execução e Fiscalização:

No âmbito da Lei de Conservação de Energia, dois tipos de edifícios requerem tratamento diferenciado: edifícios com área construída acima de 2000m² e edifícios com áreas compreendidas entre 300-2000m². Para novos edifícios ou edifícios que sofram grandes reformas que se classifiquem nos dois tipos diferenciados, os construtores ou proprietários devem submeter às autoridades locais competentes projetos de conservação de energia antes de iniciarem as obras. As entidades governamentais locais analisam os projetos com base em “padrões de avaliação” que definem os níveis de usos de energia considerados racionais.

Caso as autoridades considerem que os projetos de conservação de energia são insuficientes, as mesmas deverão notificar e instruir as construtoras e proprietários sobre melhorias a realizar. Para os edifícios com área superior a 2000m², se os proprietários/empreendedores não quiserem adotar as melhorias sugeridas, as autoridades têm a liberdade de anunciar publicamente o nome da construtora ou proprietário e aplicar penalidades. Para os edifícios entre 300 e 2000 m², as autoridades também podem aconselhar

melhorias, mas o processo não é levado adiante caso as sugestões não sejam incorporadas. Após a construção, os proprietários dos edifícios devem providenciar às mesmas autoridades relatórios sobre a manutenção do edifício relativamente a medidas de eficiência energética. (SHIEL; JEFFERS; DYAR, 2011).

Não é feita inspeção de edificações para avaliação da conformidade com padrões de eficiência energética. Contudo os níveis de conformidade parecem significativamente elevados. A taxa de submissão do projeto é quase 100% e de acordo com dados de 2005, 85% dos edifícios comerciais estavam em conformidade com os requisitos de eficiência energética para a fase de projeto (valor que era de apenas 34% de acordo em 2004). Quanto ao setor residencial, no âmbito da Lei da garantia de Qualidade Habitacional, em 2006, 36% das novas residências estavam em conformidade com os padrões de eficiência energética em vigor. O baixo valor do setor residencial pode ser explicado pelo fato da submissão de relatórios só ter sido implementada de forma obrigatória a partir de 2005 (EVANS, SHUI; TAKAGI, 2009).

Não foi possível esclarecer se os “padrões de avaliação” referidos são as normas referidas (DCGREUH e CCREUH).

Caráter (Obrigatório/Voluntário):

A conformidade com os códigos energéticos é obrigatória para as edificações destacadas na Lei de Conservação de Energia (edifícios com área construída acima de 2000m² e edifícios com áreas compreendidas entre 300-2000m²).

Outras medidas:

- Programa *Environmentally Symbiotic Housing*, lançado em 1993 com o objetivo de reduzir o impacto ambiental de complexos habitacionais, através da promoção da eficiência energética e do baixo consumo de recursos naturais. A conformidade com determinados requisitos tornou-se necessária para a obtenção de apoio financeiro à construção de complexos habitacionais;
- Lei da garantia de Qualidade habitacional (*The Housing Quality Assurance Law*) foi publicada no ano 2000 e compreende, entre outros sistemas, um programa de etiquetagem de desempenho das residências. Este tem caráter voluntário e inclui diversos itens tais como a segurança e o desempenho térmico. A avaliação das residências é feita por

entidades privadas certificadas por autoridades governamentais. O seu principal objetivo é de ajudar os consumidores a fazerem escolhas racionais;

- Programa de etiquetagem CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*), lançado em 2000. Trata-se de um programa de avaliação e classificação de edifícios numa perspectiva abrangente, que vai além do consumo energético. Apesar de ter sido lançado como voluntário é atualmente muito usado para o desenvolvimento e crítica dos projetos de conservação energética que os edifícios devem obrigatoriamente entregar às autoridades locais competentes, tal como atrás explicado. Algumas cidades usam como critério para a concessão de benesses tais como: autorização para aumento da área construída e condições mais atrativas de financiamento;
- Programas de teste e etiquetagem de componentes de edifícios que contribuem para a qualidade da construção no país e são exigidos como prova de conformidade nos códigos energéticos.

3.3.1.4 África

De acordo com Iwaro e Mwashia (2010a) um conjunto de países do Norte de África, tais como a Tunísia e o Egito têm programas relacionados com padrões energéticos em edificações, enquanto a Argélia e Marrocos estão em processo de desenvolvimento e adoção. O padrão de eficiência energética para o setor residencial no Egito tem caráter de lei desde 2005. Os autores referem ainda que na África do Sul vigoram padrões mistos/voluntários e que está em desenvolvimento um padrão de eficiência energética para edifícios para o setor residencial e comercial no âmbito da política nacional de eficiência energética.

3.3.1.5. América Latina

De acordo com Liu, Meyer e Hogan (2010), a América Latina e Caribe demonstram falta de CEEE e, nos casos em que os mesmos existem, não estão implementados. Ao

contrário do que acontece nos chamados países desenvolvidos do hemisfério Norte, os edifícios nesta área do globo requerem energia essencialmente para resfriamento, exceto em algumas partes no sul da Argentina e Chile. Muitos países introduziram padrões para equipamento de ar condicionado de forma a introduzir melhorias na eficiência energética no resfriamento ambiental (LIU, MEYER; HOGAN, 2010).

- **Chile**

O principal documento do marco regulatório chileno no que diz respeito à eficiência energética em edificações é o *Decreto Lei 458 – Lei geral de Urbanismo e Construcciones*, publicado pela primeira vez em 1976, e revisto mais recentemente em 2010 (CHILE, 2010). De caráter mandatório, este documento estabelece os requisitos a serem cumpridos pelos projetos de urbanismo e de construção. Dos temas focados, destacam-se os artigos 105 e 106 onde fica definido que:

- Os projetos de obras de urbanização e edificações devem cumprir com os requisitos definidos no Decreto 47 - *Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones* (OGUC) que regulamenta o decreto-lei 458 e foi publicado pela primeira vez em 1992, e revisto em Abril de 2011;
- Os materiais e sistemas a serem usados e instalados nas construções devem cumprir com as Normas Técnicas preparadas pelo Ministério da Habitação e Urbanismo (MINVU) ou do Instituto Nacional de Normalização (equivalente à ABNT brasileira).

A OGUC tem como funções regulamentar o procedimento administrativo de planificação urbana, de urbanização, de construção e seus respectivos padrões técnicos de projeto. Este documento constitui o Código de Obras do país. Relativamente à regulação do consumo de energia nos edifícios, os requisitos de eficiência energética, em particular de desempenho térmico foram introduzidos na OGUC (artigo 4.1.10) no seguimento do Programa de Regulamentação Térmica, definido pelo MINVU em 1994.

O Chile é um país com climas variados, desde clima frio no sul a clima quente nas regiões Norte.

Data de Implantação:

A primeira etapa de implementação de requisitos de eficiência energética na OGUC

aconteceu no ano 2000, e contemplava apenas requisitos de isolamento térmico para coberturas. A segunda etapa data de 2007 quando foram adicionado requisitos de desempenho térmico para paredes, pisos e janelas. Em 2009 estava em elaboração a terceira etapa que contempla a conformidade por desempenho energético não tendo sido possível determinar o atual grau de desenvolvimento.

Obtenção:

Gratuita através do site do MINVU.

Escopo:

Os requisitos definidos na OGUC aplicam-se tanto a novas construções (dos setores residencial e comercial) como a edificações existentes que passem por reforma e/ou ampliação.

Requisitos:

Na versão vigente da OGUC (CHILE, 2010), no capítulo respeitante à arquitetura das construções, em particular no sub-capítulo que trata das condições de habitabilidade (4.1.10), estão definidos requisitos de condicionamento térmico para diferentes componentes da *Envoltória*:

- Fechamento Opacos (Coberturas, paredes externas e pisos ventilados): são definidos valores máximos de transmitância térmica (fator U) e mínimos de resistência térmica total (*valor R*), de acordo com a zona climática. Adicionalmente são dadas orientações para a instalação do isolamento térmico e para minimização da ocorrência de pontes térmicas. No caso da cobertura, define-se um valor máximo de $3,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ para aberturas zenitais instaladas em construções localizadas nas zonas climáticas 3 a 7 (as mais frias). O cumprimento dos requisitos definidos poderá ser atingido com recurso a uma de quatro alternativas: instalação de isolamento térmico com valor de resistência térmica de acordo com o tabelado na OGUC e em função da zona climática (comprovado pela NCh 2251); apresentação de um certificado de ensaio, outorgado por um laboratório certificado, demonstrando o cumprimento dos valores de transmitância térmica e/ou resistência térmica da solução construtiva de cobertura, parede e piso; apresentação de uma memória de cálculo (executada por um profissional competente) de acordo com a NCh 803 demonstrando o cumprimento dos valores de resistência térmica e ou transmitância térmica da solução construtiva de

cobertura, parede e piso escolhido: escolha de soluções construtivas que constem da lista de soluções incluída no documento *Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico* publicado pelo MINVU;

- Fechamentos Translúcidos (Janelas): o documento define percentagens máximas de área de janela em função do tipo de vidro e da zona climática. Alternativamente, para as zonas climáticas mais frias (3 a 7) e para vidros monolíticos, a legislação considera a possibilidade de empregar o método do “U ponderado”, que estabelece valores máximos de transmitância térmica para o conjunto da envolvente constituído por janelas e paredes, em função da zona climática;

Métodos de Avaliação da Conformidade:

Os requisitos são de natureza prescritiva. Está em elaboração a possibilidade de os edifícios cumprirem com uma demanda de energia inferior à de um edifícios de referencia com as mesmas características (Método de Desempenho do tipo *Orçamento Customizado*), mas que cumpre todos os requisitos individuais de condicionamento térmico dos diferentes elementos.

Entidade Responsável:

Esfera Governamental sob a alçada do MINVU.

Desenvolvimento/Revisão:

Apesar de coordenado pelo MINVU, o desenvolvimento do código de obras chileno envolveu outras instituições com o Instituto da Construção e representantes do setor privado.

Implementação, Execução e Fiscalização:

A conformidade com os requisitos de desempenho térmico é avaliada na mesma fase que os restantes requisitos exigidos à edificação. Para obter a autorização de construção é entregue um conjunto de documentação junto do departamento de obras do município em causa. De acordo com a Lei Geral de Urbanismo e Construções, o cumprimento dos requisitos apresentados é responsabilidade dos municípios e o seu não cumprimento por parte de construtoras e proprietários dá lugar a sanções, nomeadamente ao pagamento de multas.

Caráter (Obrigatório/Voluntário):

Obrigatório

Outras medidas:

- A OGUC apresenta um capítulo especificamente dedicado à habitação social e de baixa renda. Contudo, relativamente à eficiência energética e conforto térmico são definidos apenas requisitos relacionados com as necessidades de ventilação, tema que está mais fortemente ligado à qualidade do ar interior e saúde dos ocupantes;
- *Lista Oficial de Soluções Construtivas*: documento onde se encontram as soluções construtivas em conformidade com o artigo 4.1.10 da OGUC. Foi publicada pela primeira vez em 2000 e é revista periodicamente. Atualmente está em vigor a décima edição de Julho de 2011, e já está prevista uma nova versão até ao final do ano. Num primeiro capítulo, o documento apresenta e descreve um conjunto de soluções construtivas para condicionamento térmico de coberturas, paredes e pisos ventilados, em função da zona climática. No segundo capítulo são apresentados diversos materiais isolantes e suas resistências térmicas. As soluções apresentadas apresentam certificado de ensaio outorgado por Laboratórios de Controlo Técnico de Qualidade da Construção ou apresentam memória de cálculo realizada de acordo com a norma NCh 853, que deverão ser renovados a cada três anos;
- Lançamento do *Programa País de Eficiência Energética* em 2005 com a missão de consolidar o uso eficiente como uma fonte de energia contribuindo para desenvolvimento energético sustentável do Chile. Trata-se uma iniciativa governamental atualmente coordenada pela Comissão Nacional de Energia e que envolve *stakeholders* do setor público e privado;
- Manuais Técnicos de Apoio publicados pela Agência Chilena de Eficiência Energética publicados com o objetivo de auxiliar o mercado na aplicação dos regulamentos vigentes e promover outro tipo de medidas de promoção da eficiência energética das edificações. Dos documentos disponíveis no site da Agência Chilena de Eficiência Energética merecem destaque: Manual de Aplicação da Regulamentação Térmica (artigo 4.1.10 da OGUC), Recondicionamento Térmico de Habitações em uso (2010) e Guia de Projeto para Eficiência Energética na Habitação Social (2009);
- Está em curso o desenvolvimento de um Sistema de Certificação de Edificações ao abrigo do já referido Programa de Regulamentação Térmica. A sua implantação estava prevista

de forma voluntária para 2011;

- O segundo conjunto de documentação definido como regulamentação da eficiência energética nas edificações são as Normas Técnicas, que embora sejam de caráter voluntário adquirem força de lei quando referidas no Decreto-Lei 458 Lei Geral de Urbanismo e Construção. Da lista de normas pertinentes ao tema da presente pesquisa, têm caráter mandatório a seguinte lista:

NCh 853 – Condicionamento Térmico. Envolvente térmica de edifícios. Cálculo de resistência e transmitância térmicas;

NCh 2251 – Isolamento Térmico. Resistência Térmica de materiais e elementos de construção;

Das restantes normas de caráter voluntário, merecem destaque o conjunto de normas de determinação da eficiência energética de equipamentos eletrônicos (máquinas de lavar roupa, geladeiras, freezers, televisores, ar condicionado, entre outros) e lâmpadas que definem métodos de avaliação, classificação e etiquetagem dos mesmos, bem como os documento de seguida listados:

NCh 2697-1 e 2 (2002) – Desempenho de Sistemas de Iluminação. Especificações e Tolerâncias;

NCh 3149 (2008) – Projeto de Condicionamento ambiental de edifícios. Eficiência Energética;

NCh 2906 (2004) – Energia Solar – Sistemas Domésticos de Aquecimento de Água;

NCh 1079 (2008) – Arquitetura e Construção. Zoneamento Climático habitacional do Chile e recomendações para o projeto arquitetônico;

NCh3049-1 (2007) Sustentabilidade na construção de edifícios. Métodos de avaliação do comportamento ambiental dos trabalhos de construção. Edifícios.

• México

O marco regulatório mexicano, no que diz respeito à eficiência energética de edificações compreende essencialmente as Normas Mexicanas que assumem dois tipos: as *Normas Oficiales Mexicanas* (NOM) e as *Normas Mexicanas* (NMX). As primeiras são de caráter obrigatório enquanto as segundas são de caráter voluntário, a menos que sejam referenciadas em alguma NOM.

Relativamente ao setor de edificações em particular são de destacar o seguinte conjunto de normas:

- *NOM 020 – ENER 2011 – Eficiência Energética em edificações. Envolvente de edifícios para uso habitacional;*
- *NOM 008 – ENER 2001 – Eficiência Energética em Edificações, envoltória de edifícios não residenciais;*
- *NOM- 007-ENER-2004 – Eficiência Energética em Sistemas de Iluminação em edifícios não residenciais;*
- *NOM-009-ENER-1997 Isolantes Térmicos para edificações. Características, limites e métodos de prova;*
- *NOM-003-ENER-2000- Eficiência térmica de aquecedores de água para uso doméstico e comercial. Limites, métodos de prova e etiquetagem;*
- Diversas normas de determinação da eficiência energética de equipamentos eletrônicos (máquinas de lavar roupa, geladeiras, freezers, televisores, ar condicionado, entre outros) e lâmpadas que definem métodos de avaliação, classificação e etiquetagem dos mesmos;

O México é um país de clima quente onde as preocupações com o consumo de energia focam o resfriamento.

Data de Implantação:

O México foi um dos primeiro países da América Latina a adotar CEEE. Está previsto que a norma NOM-020-ENER-2011 entre em vigor em Dezembro de 2011.

Obtenção:

Gratuita pelo site da *Dirección General de Normas* a partir do qual podem ser obtidas todas as NOM.

Escopo:

Estão sujeitos à NOM-020-ENER-2011 todos os edifícios novos de habitação e edifício existentes de habitação que sofram ampliação.

Requisitos:

O objetivo da NOM-020-ENER-2011 (MEXICO, 2011) é limitar os ganhos de calor

dos edifícios de uso habitacional através da sua envolvente a fim de promover o uso racional de energia para resfriamento. Os cálculos dos ganhos de calor através da envolvente incluem a determinação de uma parcela de ganhos de calor por condução e outra por radiação:

- Os ganhos por condução dizem respeito aos elementos opacos e não opacos da envolvente e dependem de um coeficiente global de transferência de calor calculado de acordo com metodologia especificada na norma, da temperatura média do ar e da temperatura interior do edifício, definidas em função da localização (os valores estão tabelados para as cidades dos diferentes Estados);
- Os ganhos de calor por radiação ocorrem através dos elementos não opacos e são calculados a partir do coeficiente de sombreamento do vidro (fornecido pelo fabricante), e ganhos solares por orientação, definidos em função da localização (os valores encontram-se definidos para as cidades dos diferentes Estados);

De acordo com a Comissão Nacional para Uso Eficiente de Energia, estimativas apontam para uma poupança energética média de 25% em ar condicionado por cumprimentos dos requisitos da Norma.

Métodos de Avaliação da Conformidade:

Método misto que mistura requisitos prescritivos com metodologia de desempenho: o valor obtido deverá ser comparado com os ganhos de calor de um edifício de referência para o qual as paredes apresentam 90% de elementos opacos e 10% de elementos translúcidos, a cobertura é 100% constituída de elementos opacos e são utilizados valores tabelados. Para cada tipo de elemento são definidos valores máximos de transmitância térmica e coeficientes de sombreamento. O cumprimento da norma exige que os ganhos de calor através da envoltória do edifício em causa sejam inferiores aos do edifício de referência (método de desempenho do tipo “orçamento customizado”).

Entidade Responsável:

Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE) da Comissão Nacional para Poupança de Energia pertencente à Secretaria de Energia.

Desenvolvimento/Revisão:

O desenvolvimento das normas em vigor foi coordenado pelo *Comité Consultivo*

Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE) da Comissão Nacional para Poupança de Energia pertencente à Secretaria de Energia e contou com a participação de diversas entidades das esferas pública e privada.

Implementação, Execução e Fiscalização:

O processo de aprovação de licenças de construção está sob alçada dos municípios, mas o processo exige a entrega, por parte dos empreendedores, de um conjunto de documentação assinada por entidades do setor privado acreditadas. A Secretaria de Energia é autoridade responsável pela fiscalização do cumprimento da norma através das Unidades de Verificação Acreditadas, acreditadas pela Entidade Mexicana de Acreditação e aprovadas pela Comissão Nacional para o Uso eficiente da Energia.

O descumprimento da Norma dá lugar a sanções conforme disposto na lei Federal sobre metrologia e Normalização e Regulamento de Construção em vigor.

De forma a se tornarem um instrumento de regulação efetivo, as normas precisam ser incorporadas ao instrumento regulatório das construções dos estados e municípios (LIU; HOGAN; MEYER, 2010). De acordo com os mesmo autores, os estados e municípios, responsáveis por definir as regras de construção nos seus territórios, não têm demonstrado esforços no sentido de incluir requisitos de eficiência energética nos seus códigos de obras, ou seja, nenhum município inclui o cumprimento das normas NOM-008-ENER-2011 e NOM-020-ENER-2011 como requisito para obtenção de licença de construção.

Caráter (Obrigatório/Voluntário):

Obrigatórias quando incorporadas aos Códigos de Obras.

Outras medidas:

- As normas NOM-020-ENER-2011 e NOM-008-ENER-2001 instituem um Sistema de Etiquetagem, com o objetivo de informar o consumidor do nível de eficiência do desempenho térmico da envoltória da edificação. Com base na comparação dos ganhos térmicos da envolvente do edifício face aos ganhos térmicos da envolvente do edifício de referência, é apresentado o percentual de poupança de energia do edifício real face ao edifício de referência, valor que pode começar em 0% (quando edifício real apresenta o mesmo valor que o edifício de referência) até 100%;
- Os sistemas de Iluminação e de Condicionamento de Ar são regulados por padrões

específicos com caráter obrigatório (LIU; MEYER; HOGAN, 2010);

- Lei para o Aproveitamento Sustentável da Energia, publicada em 2008, que deu origem ao *Programa Nacional para o Aproveitamento Sustentável da Energia* (PNASE), através do qual o governo federal mexicano estabelece estratégias, objetivos, ações e metas para promover o uso ótimo da energia em todos os processo e atividades. As áreas contempladas com medidas de ação incluem luz, aparatos eletrônicos, eficiência veicular, cogeração, novos edifícios e modernização dos existentes, e indústria. Ao abrigo do PNASE, estão em execução alguns programas com objetivo de pôr em prática as metas definidas: Programa de Padronização da Eficiência Energética; programa de Substituição de Eletrodomésticos e Programa de Substituição de lâmpadas;
- Relativamente à iluminação foi recentemente aprovado um projeto de norma com vista à proibição de comercialização de lâmpadas incandescentes. A norma prevê metas faseadas a começarem já em Dezembro de 2011. Segundo estimativas do PNASE, a aplicação desta nova norma conduzirá a uma redução no consumo de energia para iluminação avaliada em cerca de 48% em 2030;
- No âmbito da Lei Nacional de Habitação, de Junho de 2006, a Comissão Nacional de Habitação (CONAVI) desenvolveu o *Código de Edificación de Vivienda* (CEV), um instrumentos nacional de caráter voluntário que inclui no capítulo de Sustentabilidade, tópicos relativos à eficiência energética tais como: envolvente térmica, ar condicionado, aquecimento de água, sistema de iluminação, desenho bioclimático e energia renovável. O documento foi desenvolvido a nível federal e a sua adoção e adaptação são feitas a nível estatal e municipal. O CEV é similar ao *International Residential Code* (IRC) do ICC dos EUA e está ser promovido pela CONAVI como um código de requisitos mínimos para residências. Um ponto interessante é a relação que está a ser estabelecida com alguns programas de financiamento à Habitação que exigem o cumprimento de requisitos do CEV. Outra medida merecedora de referência é o desenvolvimento de uma metodologia de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) associada ao cumprimento dos requisitos do CEV em moradias de Habitação Social como fonte de financiamento dos custos adicionais, aprovada em 2009.

- **Argentina**

O marco regulatório argentino quanto à regulamentação energética de edificações tem

tido desenvolvimento expressivo nos últimos anos. Em primeiro lugar cabe destacar o Decreto Presidencial 140/07 no qual fica definida a criação do Programa Nacional de Uso Racional e Eficiente de Energia (PRONUREE) destinado a melhorar a eficiência energética dos setores consumidores de energia, sob o comando da Secretaria de Energia do país. De acordo com o documento são especificados alguns pontos com impacto ao nível da eficiência energética de edifícios e sua regulamentação. Em termos gerais são dadas orientações no sentido de:

- Desenvolver campanhas de educação, conscientização e informação das populações (em particular nas escolas), a fim de promover um consumo consciente de energia;
- Promover a substituição maciça de lâmpadas incandescentes por lâmpadas de baixo consumo no setor residencial;
- Estabelecer um sistema de etiquetagem de eficiência energética que contribua para o desenvolvimento e implementação de padrões de eficiência energética mínima a ser aplicados à produção, importação e comercialização de equipamentos de energia.

No que diz respeito particularmente ao setor residencial são identificadas necessidades que deverão resultar em medidas dirigidas às novas edificações e edificações existentes. Para novas residências está definido no referido decreto medidas tais como: estabelecer um sistema de certificação energética de residências e definição de índices máximos de consumo, tanto de energia elétrica como de energia térmica; regulamentar o condicionamento térmico de residências em particular estabelecimento de exigências de isolamento térmico dos elementos opacos e translúcidos da envolvente de acordo com diferentes zonas climáticas do país; Promover os sistemas de produção de energia solar na fase de projeto arquitetônico e planificação das construções, tanto para fins de aquecimento como de iluminação, entre outras.

Para residências existentes, o documento também aponta um conjunto de orientações a serem concretizadas, das quais se refere algumas a título exemplificativo: desenvolver um sistema de incentivos para a diminuição do consumo de energia que inclua, por exemplo, financiamento preferencial para medidas destinadas à redução do consumo energético; projetar uma estratégia para a implementação massiva de sistemas de aquecimento de água com base em energia solar, especialmente em povoamentos periféricos; implementar um programa nacional de isolamento térmico de elementos opacos e translúcidos da envoltória em residências.

Atualmente não existem ainda códigos energéticos nacionais para edificações e os

Códigos de Obras municipais não dedicam nenhum ponto à promoção da eficiência energética nas construções. Contudo, merece destaque o papel das normas do Instituto Argentino de Normalização e Certificação (IRAM) no que diz respeito à regulamentação térmica e energética de edifícios. Do conjunto de normas do IRAM são pertinente ao desempenho térmico e eficiência energética nas edificações as seguintes normas, que focam isolamento térmico, transmitância térmica de fechamentos opacos, energia para aquecimento e resfriamento:

- *IRAM 11507-4 – Carpintaria de obra e pele de vidro. Janelas exteriores. Requisitos complementares. Isolamento Térmico;*
- *IRAM 11603 – Condicionamento Térmico de Edifícios. Classificação bioclimática da República Argentina (vigente desde 1996);*
- *IRAM 11604 - Isolamento Térmico de Edifícios. Verificação das suas condições higrotérmicas. Poupança de energia na calefação. Coeficiente Volumétrico G de perdas de calor: cálculos e valores limite (vigente desde 2001);*
- *IRAM 11605 – Condicionamento Térmico de Edifícios. Condições de Habitabilidade de edifícios. Valores Máximos de Transmitância térmica em elementos opacos (vigente desde 1996);*
- *IRAM 11659- 2 - Isolamento Térmico de Edifícios. Verificação das suas condições higrotérmicas. Poupança de energia de refrigeração. Residências (vigente desde 2007);*

Tal como referido na definição de norma técnica, as mesmas não têm caráter obrigatório a não ser que referenciadas em leis ou contratos. Desta forma, as normas do IRAM relativas ao desempenho energético de edificações são de cumprimento voluntário em todo o país com exceção da Província de Buenos Aires, onde por publicação da Lei 13059/03 - Condições de Condicionamento Térmico exigíveis na construção de edifícios, regulamentada pelo decreto 1030/2010, o seu cumprimento é obrigatório (PROVINCIA DE BUENOS AIRES, 2010). Tendo em conta que na província de Buenos Aires reside mais de 50% da população do país e ocorre mais de 70% do consumo de energia primária em edifícios, a medida tem um impacto muito significativo.

De acordo com a referida Lei, todas as construções públicas e privadas construídas na Província de Buenos Aires devem apresentar um isolamento térmico adequado tendo em conta as condições climáticas locais, as características dos materiais de construção, a

orientação geográfica e outras condições que venham a ser definidas por regulamentação. No sentido de promover a melhoria da eficiência energética nos edifícios da Província de Buenos Aires, o decreto 1030/2010 torna de cumprimento obrigatório um conjunto normas do IRAM e requisitos de projeto, de seguida apresentados.

Data de Implantação:

Implantado por lei (13029/2003) em 2003, mas regulamentado apenas em 2010.

Obtenção:

A lei e o regulamento não são pagos mas a normas onde estão inseridos os requisitos são.

Escopo:

De acordo com a lei 13059, os requisitos definidos aplicam-se a todos os edifícios públicos e privados. Contudo, a norma 11605 refere no seu campo de aplicação apenas edificações residenciais e a norma 11604, embora no seu campo de aplicação faça referência a todos os tipos de edificações (residenciais e comerciais de todos os tipos), os métodos de cálculo apresentados referem-se sempre a edificações residenciais. Desta forma não foi possível esclarecer o escopo exato dos requisitos resultantes da aplicação da lei 13059.

Requisitos:*Envoltória*

- Estabelece limites à transmitância térmica dos elementos opacos da envoltória (paredes, teto e pisos) por referência às normas IRAM 11603 e 11605. A IRAM 11605 define valores de transmitância térmica máxima de paredes e tetos de edifícios residenciais e critérios para avaliação de pontes térmicas. Os valores encontram-se definidos para Inverno e Verão e têm em conta três níveis de conforto térmico (mínimo, médio e recomendado). Estes valores podem ser utilizados pelas autoridades competentes para designar o valor de conforto térmico necessário para aprovação da construção ou renovação de edificações. Deve ser demonstrado o cumprimento dos requisitos de Inverno e Verão, exceto para as zonas bioclimáticas V e VI para as quais se exige comprovação apenas dos valores de Inverno. Relativamente aos valores de verão, a norma prevê um ajustamento (para maior ou menor) em função do valor de coeficiente de absorção solar dos fechamentos (IRAM, 1996).

- Estabelece requisitos para as características das janelas no que respeita a Infiltração de ar (IRAM 11507-1) e Isolamento Térmico (11507-4), comprovadas por laboratório devidamente acreditado;

Condicionamento de Ar

- Norma 11604: define medidas apenas para aquecimento, deixando de fora da regulamentação o controlo de gastos energéticos para resfriamento. O controle do consumo energético para aquecimento baseia-se no cálculo de um indicador, o *Coeficiente Volumétrico de Perdas de Calor* (G_{cal}) (W/m^3) que é depois comparado com valores máximos admissíveis (G_{adm}) definidos na norma em função do volume da edificação em causa e necessidades de aquecimento da respectiva localidade (conforme definido na norma 11603 relativa ao zoneamento bioclimático do país²⁵). Para edifícios com percentual de fechamentos translúcidos acima dos 20% a norma prevê um coeficiente de correção do valor de G_{adm} . O cálculo de G_{cal} tem em conta as perdas de calor através de fechamentos (opacos e não opacos em contato com o exterior ou com o piso) e resultantes da ventilação para efeitos de renovação do ar (IRAM, 2001).

Métodos de Avaliação da Conformidade:

Método misto que mistura requisitos prescritivos com exigências de desempenho. Conforme referido, a conformidade com a lei 13059/2003 exige que o indicador G_{cal} seja igual ou inferior o G_{adm} tabelado em função da volumetria da edificação e necessidades de aquecimento em graus dia e que a transmissão térmica de fechamentos em contato com o exterior ou com o piso seja igual ou inferior a valores tabelados para Verão e Inverno em também em função da zona bioclimática.

Entidade Responsável:

Esfera governamental.

Desenvolvimento/Revisão:

Desenvolvimento e revisão das normas a cargo do IRAM, associação civil sem fins lucrativos (IRAM, 2011).

²⁵ Definição sob a forma de graus dia.

Implementação, Execução e Fiscalização:

O controlo dos requisitos está sob a alçada dos municípios que deverão exigir toda a documentação que comprova o cumprimento das normas antes da expedição da licença de construção. A verificação do atendimento dos requisitos é feita antes do início das obras de construção da edificação e antes da sua ocupação, para autorizar a emissão do Certificado de Obra. Os requisitos relativos às janelas (IRAM 11507-1) deverão ser comprovadas com certificação das suas propriedades por laboratório reconhecido. O descumprimento pode dar lugar à não expedição de licença de obra e mais tarde da licença de habitação e conclusão de obra, e penalidades sobre a forma de multas.

No que diz respeito especificamente a obras públicas, a fiscalização está a cargo do Ministério de Infraestrutura da Província de Buenos Aires. Também sob a alçada do Ministério de Infraestrutura (subsecretaria de Habitação e Urbanismo) está o Instituto de Habitação da Província de Buenos Aires responsável pela formação de Comitês Técnicos a quem cabe coordenar a assessoria e capacitação dos corpos técnicos de cada organismo fiscalizador.

Caráter (Obrigatório/Voluntário):

Obrigatório para a província de Buenos Aires.

Outras medidas:

- O Instituto de Habitação da Província de Buenos Aires publicou um documento intitulado “*Normas Técnicas para projetos de conjuntos habitacionais*” que agrega todas as informações relativas a normas técnicas de projeto, materiais e componentes, técnicas construtivas e condicionamento higrotérmico. Trata-se de um documento que tem como objetivo servir de apoio aos profissionais da área da construção;
- Em 2010 entrou em vigor a norma IRAM 11900 relativa à certificação de edifícios com base no consumo de energia para aquecimento. A classificação da eficiência energética dá-se através de um sistema comparativo composto por oito classes de eficiência energética (de A a H), em resultado da estimativa para a variação de temperatura entre a superfície interior da envolvente e a temperatura interior de projeto (definida nos 20°C), calculada a partir da transmitância térmica da envolvente no inverno. A atribuição da etiqueta é feita associada ao processo de pedido de ligação

à rede de gás em edifícios novos;

- Para o tema da presente pesquisa são ainda merecedoras de destaque as normas IRAM ISO 21929-1 – *Construção Sustentável. Indicadores de Sustentabilidade. Parte 1: marco para o desenvolvimento de indicadores para edifícios* e IRAM ISO 21931-1 – *Construção Sustentável: Marco de referência para os métodos de avaliação do ambiente das obras de construção*, que estão ainda em fase de estudo, mas que procuram abordar a sustentabilidade nas construções de forma mais abrangente, incluindo outros temas além da questão energética.

- **Venezuela**

A análise do contexto venezuelano no que respeita à eficiência energética em edificações sugere que o país ainda está num estágio inicial relativamente ao desenvolvimento de um marco regulatório. Da coleta de informações relevantes nos sítios governamentais do país faz-se merecedor de destaque o seguinte conjunto de pontos:

- Programa Nacional Simón Bolívar – *Desarrollo Economico y Social de la Nación 2007-2013* que define como estratégia e política a ser implementada a garantia de que a produção e consumo de energia contribuam para a preservação do ambiente;
- Em Novembro de 2006 foi anunciado o início da *Missão Revolução Energética* com o objetivo de promover, com carácter de política pública estratégica, o uso eficiente da energia no país. De entre os programas contemplados pela iniciativa destacam-se o Desenvolvimento de Normas de Eficiência Energética.

Relativamente a regulamentação de edificações em particular, a presente pesquisa conseguiu apurar a existência de um conjunto de normas nacionais, as COVENIN, equivalentes às normas da ABNT no Brasil, publicadas pela Comissão Venezuelana de Normas Industriais. As normas COVENIN não são de carácter obrigatório, salvo casos em que são referenciadas como tal, e podem ser obtidas de forma gratuita através de sítio na internet. O tema “Edificações” é tratado na norma COVENIN MINDUR 1750-87 (envolvendo o Ministério de desenvolvimento Urbano) intitulada “*Especificaciones Generales para Edificios*” mas os temas do conforto térmico e eficiência energética não são abordados. Tendo em conta que os sistemas consumidores de energia instalados nas edificações são muitas vezes considerados na avaliação da eficiência energética da mesma, é de referir a norma

COVENIN 3560.2000 intitulada “*Acondicionadores de aire tipo ventana. Etiquetado y reporte de eficiencia energética.*”, a qual estabelece classes de eficiência para a classificação e etiquetagem dos aparelhos de ar condicionado do tipo janela.

Apesar da inexistência de legislação nacional no sentido de exigir medidas de eficiência energética nas edificações, apurou-se o caso concreto do município de Maracaibo, no Norte do país, para o qual está em vigor a regulamentação *Ordenanza sobre Calidad Térmica de Edificaciones en el Municipio Maracaibo* (OCATEM). O instrumento legal foi publicado em 2005 e tem caráter obrigatório. A sua finalidade é garantir que as condições de projeto e construção de novas edificações cumprem com limites estabelecidos de Valor de Transferência Térmica Global (VTTG), a fim de proporcionar condições térmicas confortáveis para os ocupantes com redução do consumo de energia elétrica com ar condicionado. O pioneirismo do município em causa no contexto do país deve-se ao diagnóstico feito em 2001, segundo o qual o município apresentava valores de consumo energético por domicílio cerca de três vezes superiores à média nacional. Tal fato devia-se essencialmente aos hábitos de consumo da população, à ineficiência dos equipamentos elétricos e, por fim, ao urbanismo e arquitetura não adaptados às características climáticas locais. O seu clima é caracterizado por altas temperaturas e umidade.

Data de Implantação:

Publicado em 2005

Obtenção:

Gratuita.

Escopo:

Todos os edifícios não industriais (residenciais e comerciais) novos ou que passem por ampliação.

Requisitos:*Envoltória*

- Calcula-se de forma separada o valor de VTTG de paredes e tetos. A metodologia de cálculo tem em conta: os ganhos solares da edificação considerando o fator de atenuação e o atraso térmico; propriedades térmicas, físicas e óticas dos fechamentos

opacos e transparentes (transmitância térmica, fator solar e coeficientes de absortividade); percentual de aberturas na fachada; Fator de sombreamento das janelas; orientação das fachadas e temperatura interna do edifício. É interessante destacar que a metodologia escolhida baseia-se na versão de 1989 da norma ASHRAE 90.1.

Métodos de Avaliação da Conformidade:

O edifício a ser construído deverá apresentar VTTG de paredes e tetos inferior aos limites estabelecidos no documento. Para tetos o limite está fixado em 25 W/m^2 enquanto que para paredes situa-se em 60 W/m^2 . Os limites definidos consideram as características do clima local e os sistemas e materiais construtivos empregues no município em causa (três tipologias diferenciadas). Para determinação do valor VTTG, a partir dos dados da envoltória, foi desenvolvido um programa computacional, o PROCATED que permite aos projetistas estudar as melhores técnicas construtivas a fim de cumprir com os requisitos regulamentares (VENEZUELA, 2005).

Entidade Responsável:

A verificação dos requisitos contidos no documento está a cargo da *Oficina Municipal de Planificación Urbana* (OMPU), responsável por emitir a licença de construção e habitação das edificações.

Desenvolvimento/Revisão:

Equipe envolvendo várias entidades tais como o *Centro de Optimización Energética* (ENELVAR) da C.A Energia Elétrica de Venezuela e a Câmara Municipal de Maracaíbo.

Implementação/Execução e Fiscalização:

O processo de conformidade com os requisitos exigidos contempla inspeções em três momentos: antes da construção, durante a construção (para edificações com previsão de isolamento térmico) e antes da emissão da licença de habitação. O solicitante de uma licença de construção necessita entregar à OMPU um conjunto de documentação que comprove o cumprimento dos requisitos de qualidade térmica da futura edificação. Caso se confirme o cumprimento das exigências, a OMPU emite a *Constancia de Cumplimento de Calidad térmica*, documento necessário para obter a *Constancia de Cumplimento de las Variables Urbanas Fundamentales de La Obra*.

Caráter (Obrigatório/Voluntário):

Obrigatório

Outras medidas:

- Para a presente pesquisa é interessante ainda destacar o regime de incentivos incluídos na OCATEM com a finalidade de promover que os projetos sejam mais exigentes que os mínimos exigidos pela norma. O esquema baseia-se na classificação das edificações que vão além das exigências da norma segundo um de três níveis: *ouro* quando o valor de VTTG é no mínimo 30% inferior ao regulamentar; *prata* quando o VTTG se situa entre 20 a 30% abaixo e *bronze* para projetos cujo VTTG é entre 10 a 20% inferior. Distinguem-se dois tipos de incentivos: um designado de *incentivo urbano* que consiste na colocação de uma placa com a classificação da edificação (em ouro, prata ou bronze) de forma a funcionar como instrumento de mercado certificando a qualidade térmica da construção; o segundo consiste em redução ou isenção de pagamento de impostos municipais relacionados com os imóveis.

3.4 Eficiência Energética em Edificações no Brasil

O presente tópico tem como objetivo caracterizar o marco regulatório e político brasileiro no que diz respeito à eficiência energética em edificações. Para tal, num primeiro momento, é elaborada uma cronologia dos principais acontecimentos e iniciativas que marcaram a história da Política de Eficiência Energética no Brasil. Num segundo momento, são apresentados os principais programas e instrumentos regulatórios vigentes com vista à redução do consumo de energia no setor de edificações brasileiro. Por fim apresentam-se outras políticas e iniciativas do setor de edificações brasileiro, que, embora sem ligação direta à questão da eficiência energética, são relevantes para o enquadramento do tema.

3.4.1 Histórico da Eficiência Energética no Brasil

Fazer uma análise retrospectiva da conservação de energia no Brasil é uma tarefa difícil não só pela falta de dados confiáveis, mas também pela total ausência de registros dos resultados das ações empreendidas (BRASIL, 2007a).

No Brasil, à semelhança do que aconteceu na maioria dos países, a preocupação mais acentuada com Eficiência Energética surgiu com os choques do petróleo de 1973-74 e 1979-81. A alta dos preços dos energéticos em resultado da percepção de escassez desencadeou uma série de estudos e ações voltados à conservação de recursos e maior eficiência no uso dos seus derivados (BRASIL, 2011).

Do lado da oferta de energéticos, a grande resposta do Brasil à subida do preço do Petróleo, e dos energéticos em geral, foi o Programa Nacional do Álcool (Próalcool), criado a 14 de Novembro de 1975 e desenvolvido com o objetivo de promover a substituição em larga escala dos combustíveis veiculares derivados do petróleo e, dessa forma, reduzir a dependência externa. Em paralelo ao Próalcool, definiu-se a adição de uma fração significativa de álcool anidro à gasolina, determinação que perdura até hoje (BRASIL, 2007a).

Do lado do consumo, ou seja, da conservação de energia e da eficiência energética, os primeiros movimentos também datam 1975, ano em que foi realizado um primeiro seminário sobre conservação de energia no Brasil, organizado pelo Grupo de Estudos sobre Fontes Alternativas de Energia – GEFAE, com o apoio do Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2007). Ainda no mesmo ano, a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) obteve autorização da Presidência da República para alocar recursos financeiros à realização do Programa de Estudos da Conservação de Energia, passando a desenvolver e apoiar estudos visando a busca de maior eficiência na cadeia de captação, transformação e consumo de energia (BRASIL, 2011).

No início década de 80 continuaram a surgir algumas iniciativas relacionadas com a promoção de eficiência energética no Brasil: em 1981, por meio da Portaria MIC/GM46, foi criado o *Programa CONSERVE* com o objetivo de promover a conservação de energia na indústria, o desenvolvimento de produtos e processos energeticamente mais eficientes, e o estímulo à substituição de energéticos importados por fontes alternativas locais; em 1982, através do Decreto Nº 87.079, foram aprovadas as diretrizes para o *Programa de Mobilização*

Energética (PME) que tinha como meta estabelecer um conjunto de ações dirigidas à conservação de energia e à substituição de derivados de petróleo por combustíveis alternativos nacionais; em meados da década de 80 foi instituído o *Programa de Economia de Combustível (PECO)* da iniciativa do Ministério de Minas e Energia do qual apenas possível saber que contava com o envolvimento de algumas montadoras (como a Volkswagen, a Chervrolet, a Fiat e a Ford) e que teve a curta duração de 3 anos.

Ainda na década de 80 foram instituídos dois programas que fazem parte dos principais marcos da política de eficiência energética Brasileira: O *Programa Brasileiro de Etiquetagem* (PBE) e o *Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica* (PROCEL). Relativamente ao PBE, sabe-se que os primeiros passos aconteceram em 1984 com a definição de um protocolo entre o Instituto Brasileiro de Metrologia, Normalização e Qualidade (INMETRO) e a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE) (com a intervenção do Ministério das Minas e Energia), então designado como *Programa de Conservação de Energia Elétrica em Eletrodomésticos*. O seu principal objetivo era contribuir para a diminuição do consumo de energia elétrica em eletrodomésticos tais como refrigeradores, congeladores, refrigeradores combinados, aparelhos condicionadores de ar domésticos, entre outros. Quanto ao PROCEL cabe referir que foi criado ano de 1985, por meio da Portaria Interministerial nº 1.877, com a finalidade de integrar as ações visando à conservação de energia elétrica no país, dentro de uma visão abrangente e coordenada (MME, 2011). As atividades do PROCEL têm coberto os setores residencial, comercial e industrial, serviços públicos como iluminação e abastecimento de água, e a gestão eficiente do consumo de eletricidade em edifícios públicos (BRASIL, 2007b).

Também na década de 90 surgiram algumas iniciativas de promoção de eficiência energética, merecedoras de destaque. Na esfera do setor Público, foi instituída, em 1990, através do Decreto nº 99.656, a obrigatoriedade de criação de uma Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE) em cada estabelecimento considerado do setor público²⁶ que apresente consumo anual de energia elétrica superior a 600 MWh ou consumo anual de combustível superior a 15 Tep²⁷. As CICE dentro das organizações são responsáveis pela elaboração, implantação e acompanhamento das metas do Programa de Conservação de Energia, e divulgação dos seus resultados nas dependências do estabelecimento (BRASIL, 1990).

²⁶ Órgão ou entidade da Administração Federal direta e indireta, fundações, empresas públicas e sociedades de economia mista controladas direta ou indiretamente pela União.

²⁷ Tep – tonelada equivalente de petróleo

Um ano mais tarde, em 1991, foi criado, por decreto presidencial, o - Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), programa do MME, coordenado por representantes do Governo Federal e da iniciativa privada, que conta com o apoio técnico, administrativo e financeiro da Petrobrás. As atividades do CONPET seguem diversas linhas de atuação e englobam, principalmente, as áreas Institucional, de Transportes, Industrial, Residencial e Comercial (BRASIL, 2007a).

Ainda na década de 90, no ano de 1993, por meio de Decreto Federal, foi instituído o Prêmio Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e o Selo Verde de Eficiência Energética, este último com o objetivo de identificar no mercado os equipamentos que apresentem níveis ótimos de eficiência no consumo de energia (MME, 2011). Mais tarde, em 1996, com a publicação da Lei nº 9.427 de 26 de Dezembro de 1996, foi criada a *Agência Nacional de Energia Elétrica* (ANEEL) (regulamentada pelo Decreto Nº 2.335, de 6 de Outubro de 1997) que tem como missão regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, em conformidade com as políticas e diretrizes do governo federal. Também em 1997 foi promulgada a Lei nº 9.478 (Lei do Petróleo), que dispõe sobre a *Política Energética Nacional* e cria a *Agência Nacional do petróleo*. Um dos princípios e objetivos da Política Energética Nacional diz respeito às políticas nacionais para o aproveitamento racional das fontes de energia, visando, entre outros, o objetivo de proteger o meio ambiente e promover a conservação de energia (BRASIL, 2011).

Já na década de 2000, foi instituído pela Lei nº 9.991, o Programa de Eficiência Energética que define a obrigatoriedade de investimentos em programas de eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica. Esta Lei determina a aplicação de montantes de 0,5% até 2015 e 0,25% a partir de 2016, da receita operacional líquida – ROL – das concessionárias distribuidoras de energia elétrica em projetos de eficiência energética voltados ao uso final. Até hoje, no âmbito do Programa de Eficiência Energética foi destinado um montante importante de recursos para ações de Eficiência Energética, totalizando mais de R\$ 2 bilhões em investimentos realizados ou em execução (BRASIL, 2011).

Na sequência da crise energética no Brasil no ano de 2001, foi promulgada a *Lei de Eficiência Energética (Lei nº10.295/2001)* que dispõe sobre a *Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia* e dá outras providências (BRASIL, 2001a). A Lei da Eficiência Energética constitui o principal marco regulatório da matéria no Brasil. No seu

artigo 4º fica definido que “O Poder Executivo desenvolverá mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no País” (BRASIL, 2001b). No mesmo ano foi publicado o Decreto 4.059/2001, que regulamenta a Lei da Eficiência Energética. O artigo 1º do Decreto define que:

Os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, bem como as edificações construídas, serão estabelecidos com base em indicadores técnicos e regulamentação específica a ser fixada nos termos deste Decreto, sob a coordenação do Ministério de Minas e Energia.

Com o objetivo de definir os referido indicadores técnicos e elaborar regulamentação, o Decreto instituiu o *Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética* (CGIEE), composto por representantes de diversos órgãos (tais como MME, a ANEEL, um representante da academia, entre outros). Para tratar especificamente das questões relacionadas com o setor de edificações, o CGIEE criou em Dezembro 2002, o *Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País* (GT-Edificações) cuja função é adotar procedimentos para avaliação da eficiência energética das edificações e criar indicadores técnicos referenciais do seu consumo de energético. No final de 2005, o GT-Edificações criou a Secretaria Técnica de Edificações (ST-Edificações) com competência para discutir as questões técnicas envolvendo os indicadores de eficiência energética (BRASIL, 2009).

Em 2003, foi criado um subgrupo do PROCEL direcionado especificamente às edificações, o Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações (PROCEL Edifica) que visa construir as bases necessárias para racionalizar o consumo de energias nas edificações no Brasil. Em resultado de ações conjuntas do PROCEL Edifica, Eletrobras e do PBE/INMETRO, foi lançado em 2009 o Programa Nacional de Etiquetagem de Edificações. O processo é voluntário e ocorre de forma distinta para edifícios comerciais, de serviços e públicos e para edifícios residenciais.

Um último documento merecedor de destaque é o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNef), do Ministério de Minas e Energia (MME) aprovado pela portaria 594 no dia 19 de Outubro de 2011. O documento apresenta um panorama da eficiência energética no Brasil em diversos setores e define um conjunto de linhas de ação que devem ser operacionalizadas a fim de se materializarem em efetiva conservação de energia e melhoria de eficiência energética no país. Trata-se de um documento importante na medida em que sinalização da importância do tema da eficiência energética a nível governamental.

3.4.2 Instrumentos regulatórios e Programas Vigentes de promoção de eficiência energética

No presente ponto apresenta-se com maior detalhe alguns programas e instrumentos regulatórios de promoção de eficiência energética no setor das edificações: o PROCEL Edifica, o Programa Brasileiro de Etiquetagem, o Programa Nacional de Etiquetagem de Edificações e as Normas Técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

- **PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia**

O PROCEL foi criado por meio da Portaria Interministerial nº 1.877, em 1985, pelos Ministérios de Minas e Energia e da Indústria e Comércio, estando a sua gestão atribuída à Eletrobras. Em 18 de julho de 1991, o PROCEL foi transformado em Programa de Governo, tendo suas abrangência e responsabilidades ampliadas. O objetivo central do PROCEL é promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica, para que se eliminem os desperdícios e se reduzam os custos e os investimentos setoriais²⁸.

O seu escopo de atuação é abrangente e direcionado a uma diversidade de setores, nomeadamente Comercial, Saneamento, Indústrias, Edificações, Prédios Públicos, Gestão Energética Municipal, Iluminação Pública. Com base no documento Matriz Energética Nacional (BRASIL, 2007), as atividades contempladas pelo PROCEL incluem medidas das quais se destacam o desenvolvimento de atividades de apoio à elaboração de propostas de legislação e regulamentação referentes à eficiência energética.

De acordo com o Relatório PROCEL 2009, durante o período de 1986-2009, o valor acumulado de energia economizada foi 38,4 milhões de MWh, que equivale aproximadamente ao consumo anual de 21 milhões de residências brasileiras (considerando um valor médio de 152,4 kWh/mês²⁹) (ELETROBRAS, 2010). Vale destacar que para produzir esta quantidade de energia, teria sido necessário operar uma usina equivalente de

²⁸ <http://www.eletrobras.com/elb/procel/main.asp?ViewID={974CF275-82FE-4483-8551-855F9A98A370}> – consultado a 13 de Julho de 2011

²⁹ Segundo dados da EPE, Estatística e Análise do Mercado de Energia Elétrica - Boletim Mensal - Mês Base: Dezembro 2009.

9105 MW³⁰. Ainda citando o referido relatório, o investimento total realizado até 2009 perfaz R\$1121 milhões, valor muito inferior ao investimento postergado em consequência da poupança energética avaliado em R\$26 725 milhões.

PROCEL Edifica

Em 2003, as ações do PROCEL voltadas para as edificações foram estruturadas sob a alçada de um subprograma, o PROCEL Edifica cujos objetivos incluem divulgar e estimular a aplicação dos conceitos de eficiência energética em edificações, apoiar a viabilização da Lei de Eficiência Energética (10.295/2001) no que concerne a edificações eficientes, e contribuir para a expansão, energeticamente eficientes do parque habitacional do país (ELETROBRAS, 2010).

De acordo com Eletrobras (2011), no sentido de alcançar o potencial técnico de economia existente no setor das edificações, avaliado por Eletrobras (2010) em 25% para edificações existentes e até 50% para prédio novos conforme já referido, o programa estabelece como metas o desenvolvimento de um conjunto de projetos visando:

- Investimento em capacitação tecnológica e profissional, estimulando a pesquisa e o desenvolvimento de soluções adaptadas à realidade brasileira, de forma a reduzir o consumo de energia elétrica nas edificações;
- Estabelecimento de parcerias ligados aos diversos segmentos da construção civil, melhorando a qualidade e a eficiência das edificações brasileiras;
- Divulgação dos conceitos e práticas do bioclimatismo, por meio da inserção do tema conforto ambiental e eficiência energética nos cursos de Arquitetura e Engenharia, formando uma nova geração de profissionais comprometidos com o desenvolvimento sustentável do País;
- Disseminação dos conceitos e práticas de Eficiência Energética em Edificações e Conforto Ambiental entre os profissionais de arquitetura e engenharia, e aqueles envolvidos em planejamento urbano;
- Apoio à implantação da Regulamentação da Lei de Eficiência Energética (Lei 10.295/2001) no que toca às Edificações Brasileiras, além de orientar tecnicamente os agentes envolvidos e técnicos de Prefeituras, para adequar seus Códigos de Obras e Planos Diretores.

O planejamento estratégico do PROCEL EDIFICA que teve como principal produto o Plano de Ação, procurou sintetizar as atividades a serem desenvolvidas para atendimento das Metas, mediante algumas trajetórias designadas por vertentes. Distinguem-se atualmente seis vertentes de atuação com objetivos específicos: Capacitação, Tecnologia, Disseminação e Divulgação, Regulamentação, Habitação e Eficiência Energética, Suporte (Marketing e

³⁰ Considerando um fator de capacidade médio típico de 56% para usinas hidrelétricas e incluindo 15% de perdas médias na transmissão e distribuição para a parcela de conservação de energia.

Apoio). Para o âmbito desta pesquisa merece destaque a vertente de Habitação e Eficiência Energética, onde se estabeleceu como um dos objetivos “fomentar estudos, pesquisas e ações para promover melhoria dos prédios e habitações, principalmente às de baixa renda; incluir parâmetros para a orientação de EEE nos Códigos de Obras, Planos Diretores e Caderno de Encargos” (ELETROBRÁS, 2011).

No contexto do PROCEL EDIFICA, o *Plano Nacional de Eficiência Energética* propõe um conjunto de linhas de ação, das quais se destacam dois pontos relacionados com regulamentação (MME, 2011, p. 96):

- [...]
- Fomentar a incorporação de temas de eficiência energética em edificações nos estudos de planejamento urbano e nos códigos de obra e cadernos de encargo dos municípios brasileiros;
- [...]
- Regular o uso de materiais com maior eficiência energética no isolamento térmico de edifícios, com a aplicação de matérias primas de baixo impacto ambiental, aproveitando as obrigações brasileiras de cumprimento de metas do Protocolo de Montreal.

• **Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)**

Conforme atrás referido, o Programa Brasileiro de Etiquetagem, foi originalmente implementado como Programa de Conservação de Energia Elétrica em Eletrodomésticos, na sequência de um protocolo estabelecido entre o Inmetro, órgão vinculado ao então Ministério da Indústria e do Comércio, e a ABINEE, com a interveniência do MME. O seu principal objetivo era contribuir para a diminuição do consumo de energia elétrica em eletrodomésticos da chamada linha branca: refrigeradores, congeladores, refrigeradores combinados, aparelhos condicionadores de ar domésticos, entre outros. Em 1992 passou a ser conhecido como Programa Brasileiro de Etiquetagem e incorporou novos objetivos tais como o estabelecimento de requisitos de segurança para os produtos inseridos no Programa e o estabelecimento de ações para a definição de índices mínimos de eficiência energética.

Os resultados referentes ao consumo e/ou eficiência energética dos produtos contemplados pelo PBE chegam até o consumidor através de uma etiqueta, a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) cujo principal objetivo é informar o consumidor do consumo de energia e/ou a eficiência energética do produto, estimulando-o a fazer uma compra consciente. A informação contida na etiqueta é fornecida pelos fabricantes e verificada periodicamente por meio de ensaios de controle e de acompanhamento da

produção, em laboratórios credenciados e/ou com o acompanhamento de técnicos do Inmetro e/ou Organismos de Certificação Credenciados (OCC). Esses testes são repetidos periodicamente, a fim de atualizar a escala, procedimento que estimula a competitividade do mercado, já que, a cada nova avaliação, a tendência é que os fabricantes procurem atingir níveis de desempenho melhores em relação à avaliação anterior.

O PBE é coordenado pelo INMETRO e conta com a participação dos fabricantes de eletrodomésticos e de dois importantes parceiros: a Eletrobras, através do PROCEL, e a Petrobras, através do CONPET. De caráter voluntário, atualmente este Programa já conta com mais de 40 tipos de produtos etiquetados entre eles vários de uso doméstico residencial tais como ar condicionado, geladeira, chuveiro elétrico, coletores solares planos, fogões e fornos domésticos, lâmpadas fluorescentes e incandescentes, máquinas de lavar a roupa e televisores, entre outros. De acordo com o BRASIL (2007), o PBE, em 20 anos, produziu resultados em alguns casos muito expressivos, como é o caso de refrigeradores cuja eficiência média evoluiu em 48% no período.

- **Programa Nacional de Etiquetagem de Edificações, iniciativa dos programas PROCEL Edifica/Eletrobras e PBE/Inmetro**

Em 2009 foram incluídas na lista de produtos abrangidos pelo PBE, as edificações. O processo de etiquetagem de edificações também é voluntário e ocorre de forma distinta para edifícios comerciais, de serviços e públicos e para edifícios residenciais. A metodologia para a classificação do nível de eficiência energética edifícios comerciais encontra-se definida nos documentos *Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C)* e *Requisitos de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RAC-C)* – ambos publicados através de portarias do INMETRO pela primeira vez em 2009 e revistos em 2010. A etiquetagem de edifícios residenciais, em particular, foi lançada em 2010, e obedece à metodologia de classificação do nível de eficiência energética definida na portaria 18, de 16 de Janeiro de 2012 (2ª versão do documento) - *Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)*, e aos requisitos da portaria 122, de 15 de Março de 2011 - *Requisitos de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RAC-R)*.

A ENCE para edifícios pode ser concedida em dois momentos: na fase de projeto e

após a construção do edifício. Na fase de projeto, é efetuada uma inspeção com base na documentação entregue pelo proprietário (ou construtor ou empreendedor) na qual é determinada a conformidade da edificação projetada com os requisitos exigidos nos documentos técnicos. Da inspeção resulta uma classificação da edificação de acordo com uma escala de 5 níveis de eficiência energética (de A a E, sendo a primeira para as edificações mais eficientes e a última para as menos eficientes) que fica registrada na chamada ENCE de Projeto com validade de 5 anos. Caso a edificação já esteja construída, e uma vez na posse da ENCE de projeto válida, é possível a obtenção da ENCE de Edifício Construído. Para tal o edifício passa por um processo de inspeção *in loco* na qual é determinada a conformidade relativamente ao projeto etiquetado. Caso o edifício esteja em conformidade com a classificação do projeto, é emitida a ENCE de Edifício Construído.

Os documentos RTQ-C e RTQ-R focam um conjunto de temas que permitem enquadrá-los na definição de Código de Eficiência Energética para Edifícios (CEEE), já apresentada neste trabalho. Nos edifícios comerciais, de serviços e públicos são avaliados três sistemas: envoltória, iluminação e condicionamento de ar. Dessa forma, a etiqueta pode ser concedida de forma parcial, desde que sempre contemple a avaliação da envoltória. Nos edifícios residências são avaliados: a envoltória e o sistema de aquecimento de água, além dos sistemas presentes nas áreas comuns dos edifícios multifamiliares, como iluminação, elevadores, bombas centrífugas, entre outros.

À semelhança da informação coletada para os casos de estudo da subseção 3.3, apresentam-se de seguida alguns temas relacionados com a implantação e execução do Programa Nacional de Etiquetagem das Edificações, com foco no setor residencial.

Data de Implantação:

2010

Obtenção:

Gratuita a partir do site do Inmetro³¹.

³¹ www.inmetro.gov.br

Escopo:

Edificações Residenciais³² distinguindo-se três tipos de etiquetas: para edificações multifamiliares; para unidades habitacionais autônomas (UHs) - definidas como um apartamento (de uma edificação multifamiliar) ou uma edificação unifamiliar; áreas de uso comum de edificações multifamiliares ou de condomínios residenciais.

Requisitos:

O RTQ-R e RAC-R contemplam a avaliação da edificação tendo em conta a obtenção dos seguintes tipos de etiquetas: ENCE de Unidade Habitacional Autônoma; ENCE de Edificação Multifamiliar; ENCE de Áreas Comuns. Cada tipo de etiqueta resulta de um processo de inspeção com foco em temas particulares:

ENCE Unidade Habitacional Autônoma:*Envoltória*

- A classificação da envoltória resulta da avaliação do seu desempenho térmico (assumindo o condicionamento ambiental proporcionado apenas por ventilação natural) e da verificação de um conjunto de pré-requisitos. Os pré-requisitos avaliados incluem:
 - a. Transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar de paredes externas e coberturas (de áreas de permanência prolongada) - limitadas por valores tabelados em função da zona bioclimática;
 - b. Ventilação natural – definição de percentual mínimo de áreas de abertura em relação ao piso para ventilação natural (em ambientes de permanência prolongada);
 - c. Ventilação cruzada – deverá ser proporcionada por sistema de aberturas localizadas em pelo menos duas fachadas diferentes (opostas ou adjacentes)

³² Definidas no RAC-R como “Edificação utilizada para fins habitacionais, que contenha espaços destinados ao repouso, alimentação, serviços domésticos e higiene, não podendo haver predominância de atividades como comércio, escolas, associações ou instituições de diversos tipos, prestação de serviços, diversão, preparação e venda de alimentos, escritórios e serviços de hospedagem, sejam eles hotéis, motéis, pousadas, apart-hotéis ou similares. No caso de edificações de uso misto, que possuem ocupação diversificada englobando mais de um uso, estes devem ser avaliados separadamente”.

com diferentes orientações;

d. Ventilação controlável – deverá ser garantido ao usuário a opção de controlar a ventilação permitindo regular o fluxo de ventilação quando o mesmo se torne inconveniente;

e. Iluminação natural

- A não observância de algum dos pré-requisitos implica que a envoltória tenha a sua classificação limitada a um valor inferior à melhor classificação³³;
- Conforme referido, para além dos pré-requisitos, a classificação da envoltória depende também do seu desempenho térmico. Este pode ser calculado seguindo o Método Prescritivo ou através de um Método de Simulação.
- Relativamente ao método prescritivo, o desempenho térmico da envoltória é calculado com base em equações que estimam as necessidades de resfriamento (GH_r) e aquecimento (CA) da edificação a partir de um conjunto de variáveis, nomeadamente: áreas de cobertura e paredes externas por orientação; áreas de parede interna; área útil dos ambientes; absorvância solar da superfície externa da superfície de coberturas e paredes externas; pé-direito; contato da cobertura e/ou do piso com o exterior; capacidade térmica dos fechamentos opacos; aberturas para ventilação; isolamento nas paredes externas; orientação das fachadas; contato do piso com o solo; presença de dispositivos de proteção solar externos; transmitância térmica de fechamentos opacos e translúcidos; presença de vidros duplos. Os valores de GH_r e CA são calculados para cada ambiente em separado e são comparados com limites estabelecidos para cada nível de eficiência em função da zona bioclimática. As necessidades de aquecimento e resfriamento totais resultam da ponderação dos resultados de cada ambiente pela sua área útil que por sua vez são ponderados (em função da zona bioclimática) para encontrar a classificação final do desempenho térmico da envoltória;
- Alternativamente, a aplicação do Método de Simulação recorre a uma programa de simulação para determinar o desempenho térmico da envoltória. O valor resultante é comparado com valores de referência tabelados em função do nível de eficiência. Para a modelagem da edificação e sua simulação, o RTQ-R dá orientações relativamente aos graus-hora, padrão de ocupação, padrão de uso da iluminação, carga interna dos equipamentos, temperatura do solo e sistema de condicionamento de ar.

³³ Por exemplo, caso não sejam cumpridos os valores limite de Transmitância térmica, a envoltória não poderá ter classificação acima do nível E, ou seja o pior valor na escala de eficiência definida no RAC-R).

Sistema de Aquecimento de Água

- Tal como para a envoltória, a classificação do sistema de condicionamento de ar resulta da avaliação da eficiência do sistema de aquecimento e a verificação de um conjunto de pré-requisitos. Os pré-requisitos dizem respeito a exigências de resistência térmica mínima dos reservatórios (de sistemas que não sejam solares) e de espessura mínima de isolamento (metálico e não metálico). Relativamente à eficiência do sistema de aquecimento, a sua determinação depende da avaliação individual de cada tipo de sistema instalado e a percentagem de demanda que cada um atende. No RTQ-R são dadas orientações para a avaliação dos seguintes tipos de sistemas de aquecimento de água: aquecimento solar, aquecimento a gás do tipo instantâneo, aquecimento a gás de acumulação individual; aquecimento a gás central coletivo; bombas de calor; aquecimento elétrico; aquecimento elétrico de hidromassagem; aquecimento elétrico por acumulação (boiler); caldeiras a óleo.

Bonificações

- A classificação final da UHA pode ser acrescida de uma pontuação de até 1 valor (num total de 5) resultante da instalação de sistemas que comprovadamente proporcionem poupança de energia ou uso racional de água. Os sistemas considerados para efeitos de bonificações incluem: ventilação natural; iluminação natural; uso racional de água; condicionamento artificial de ar; iluminação artificial; ventiladores de teto; refrigeradores; medição individualizada.

ENCE Edificações Multifamiliares

A classificação de edificações multifamiliares resulta da ponderação pela área útil (excluindo varandas e terraços) de cada UHA. É exigido como pré-requisito, para a obtenção do nível A ou B, que cada UHA possua medição individual de eletricidade e água³⁴.

ENCE Áreas comuns

- A avaliação de áreas comuns aplica-se apenas a edificações multifamiliares e define

³⁴ Estão dispensadas deste requisito as edificações construída antes da publicação do RTQ-R.

critérios para determinação do nível de eficiência das áreas de uso coletivo. Para efeito de análise distinguem-se áreas de uso frequente de áreas de uso eventual. As primeiras incluem: circulações, halls, garagens, escadas, antecâmaras, elevadores, corredores, estacionamento de visitantes, acessos externos ou ambientes de usos similares aos citados. Já as áreas comuns de uso eventual incluem: salões de festa, piscina, brinquedoteca, banheiros coletivos, bicicletário, quadra poliesportiva, sala de cinema, sala de estudo, sala de ginástica, playground, churrasqueira, sauna e demais espaços coletivos destinados ao lazer e descanso dos moradores;

- A avaliação das áreas comuns de uso frequente resulta da verificação de pré-requisitos relacionados com motores elétricos de indução trifásicos e um conjunto de temas que permitem determinar a sua eficiência: iluminação artificial; bombas centrífugas e elevadores;
- Para a avaliação das áreas comuns de uso eventual são dadas instruções relativamente à classificação da eficiência da iluminação artificial, equipamentos (condicionadores de ar, eletrodomésticos e outros equipamentos) e sistema de aquecimento de água (chuveiros, torneiras, hidromassagem, piscina, sauna). Caso as áreas comuns de uso eventual sejam construídas separadas das edificações residenciais, a sua envoltória deve atender aos pré-requisitos de transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar das superfícies definidos na avaliação da envoltória das UHA;
- A classificação das áreas comuns pode também ser beneficiada por bonificações caso seja comprovada a poupança resultante da instalação de sistemas de: sistemas que contribuam para o uso racional de água; aproveitamento da iluminação natural em áreas comuns de uso frequente; previsão de ventilação natural para áreas comuns de uso frequente.

Métodos de Avaliação da Conformidade:

O RTQ-R prevê a avaliação da conformidade de acordo com um Método Prescritivo ou Método de Simulação. A escolha do método a ser aplicado cabe ao solicitante da etiquetagem exceto quando o percentual de aberturas na fachada é elevado, caso em que a análise deve ser obrigatoriamente feita com base no método de simulação.

Entidade Responsável:

A supervisão deste Programa de Avaliação da Conformidade é de responsabilidade do Inmetro

Desenvolvimento/Revisão:

O RTQ-R e RAC-R foram desenvolvidos em parceria com o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina.

Implementação/Execução e Fiscalização:

As avaliações previstas nos processos de etiquetagem e inspeção devem ser realizadas por um Organismo de Inspeção Acreditado (OIA). Atualmente está em curso a capacitação de uma rede de laboratórios de diversas Universidades Federais com vista à sua acreditação como OIA pelo Inmetro. De acordo com o site do Inmetro³⁵, no âmbito do Programa Nacional de Etiquetagem de Edificações para o setor Residencial já foram etiquetadas 49 Unidades habitacionais Autônomas, 5 edificações multifamiliares e 1 área comum de edificações residencial ou condomínio. É de esperar que os números reais sejam mais elevados uma vez que a ultima atualização de dados data de Julho de 2011 para as unidades autônomas habitacionais e de Dezembro de 2010 para as restantes tipologias.

Caráter (Obrigatório/Voluntário):

Voluntário. Está previsto que a etiquetagem de edifícios comerciais se torne obrigatória a partir de 2014. Na sequência, é expectável que num curto período de tempo a etiquetagem de edificações residenciais também adquira carácter mandatório.

- **Normas Técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)**

A ABNT foi fundada em 1940 e é o órgão responsável pela normalização técnica no país. Trata-se de uma entidade privada sem fins lucrativos reconhecida como único Foro Nacional de Normalização através da Resolução nº 07 do CONMETRO³⁶ de 24.08.1992. É

³⁵ <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/residenciais.asp>

³⁶ O Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial é um colegiado interministerial que

membro fundador da *International Organization for Standardization* (ISO) da Comissão Panamericana de Normas Técnicas (COPANT) e da Associação Mercosul de Normalização (AMN).

Conforme apresentado no ponto 3.1, uma Norma Técnica pode ser definida como um “documento estabelecido por consenso e aprovado por um organismo reconhecido que fornece [...] regras, diretrizes ou características para atividades ou para seus resultados, visando à obtenção de um grau ótimo de ordenação em um dado contexto” (CNI, 2011). As normas técnicas são aplicáveis a produtos, serviços, processos, sistemas de gestão, pessoal, nos mais diversos campos. Tipicamente, as normas são de uso voluntário, isto é, não são obrigatórias exceto se forem referenciadas em documentos com caráter de lei.

As normas da ABNT cobrem temas variados. Para a presente dissertação faz-se interessante destacar as que, de forma direta ou indireta, impactam na eficiência energética das edificações.

ABNT NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações: 2005

A norma conta com 5 partes:

Parte 1: Definições, símbolos e unidades

Parte 2: Métodos de Cálculo da Transmitância Térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações

Parte 3: Zoneamento Bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social

Parte 4: Medição da Resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida

Parte 5: Medição da Resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico

Para efeitos da presente pesquisa considera-se merecedor de destaque o conteúdo da parte 3. No ponto 4 é apresentado um zoneamento bioclimático que divide o país em oito zonas tendo em conta as seguintes variáveis climáticas: médias mensais de temperaturas

exerce a função de órgão normativo do Sinmetro, por sua vez constituído por entidades públicas e privadas que exercem atividades relacionadas com metrologia, normalização, qualidade industrial e certificação da conformidade.

máximas; médias mensais de temperaturas mínimas; médias mensais das umidades relativas do ar. A metodologia de classificação das diferentes localidades partiu destas variáveis para traçar retas sobre a carta bioclimática de Givoni (apresentado no ponto 2.2.1 do presente trabalho), que permitiram determinar o percentual de horas em que é necessário aplicar cada estratégia bioclimática com vista ao conforto térmico dos usuários. De posse dessa informação, as localidades brasileiras foram classificadas de acordo com oito zonas bioclimáticas. No anexo A da norma é apresentada uma lista de 330 cidades brasileiras com a respectiva classificação de acordo com o zoneamento bioclimático definido.

No ponto 6 da norma são apresentadas diretrizes construtivas para cada zona bioclimática relativamente a aberturas para ventilação, paredes e coberturas e são indicadas as estratégias de condicionamento térmico passivo que mais se adequam às condições climáticas em questão. As orientações relativas a aberturas são dadas por indicação de “pequena, média e grande” enquanto para as paredes e coberturas é sugerido que sejam do tipo “leve, leve refletora e pesada” e “leve isolada, leve refletora e pesada” respectivamente. As tabelas 9 e 10 permitem verificar as propriedades que correspondem a cada uma das classificações. Relativamente às aberturas o indicador utilizado é o rácio entre a área de abertura e a área de piso. Para as paredes e coberturas, as características de cada tipo incluem a Transmitância Térmica, Atraso térmico e Fator Solar.

Tabela 9 – Aberturas para Ventilação

Aberturas para ventilação	A (em % da área de piso)
Pequenas	$10\% < A < 15\%$
Médias	$15\% < A < 25\%$
Grandes	$A > 40\%$

Fonte: ABNT, 2005.

Tabela 10 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa

Vedações Externas		Transmitância Térmica - U (W/m ² .K)	Atraso Térmico – ϕ h	Fator Solar - FS
Paredes	Leve	$\leq 3,00$	$\leq 4,3$	$\leq 5,0$
	Leve Refletora	$\leq 3,60$	$\leq 4,3$	$\leq 4,0$
	Pesada	$\leq 2,20$	$\geq 6,5$	$\leq 3,5$
Cobertura	Leve Isolada	$\leq 2,00$	$\leq 3,3$	$\leq 6,5$
	Leve Refletora	$\leq 2,30$.FT	$\leq 3,3$	$\leq 6,5$
	Pesada	$\leq 2,00$	$\geq 6,5$	$\leq 6,5$

Notas:

1. Transmitância Térmica, atraso térmico e fator solar (ver ABNT NBR 15220-2).
2. As aberturas efetivas para ventilação são dadas em porcentagem da área de piso em ambientes de longa permanência (cozinha, dormitório, sala de estar).
3. No caso de coberturas (este termo deve ser entendido como o conjunto telhado mais ático mais forro), a transmitância térmica deve ser verificada para fluxo descendente.
4. O termo “ático” refere-se à camada de ar existente entre telhado e o forro.

Fonte: ABNT, 2005.

Relativamente às estratégias de condicionamento térmico passivo, cabe destacar que, conforme visto no capítulo 2, a sua aplicação, mesmo que não elimine a necessidade de recorrer a sistemas ativos de aquecimento e resfriamento, constitui uma estratégia a ter em conta para a minimização do consumo de energia nas edificações.

ABNT NBR 16401 – Instalações de Ar condicionado Sistemas Centrais e Unitários: 2008

Parte 1: Projeto das Instalações

Estabelece os parâmetros básicos e os requisitos mínimos de projeto para sistemas de ar-condicionado centrais e unitários. O documento contempla um ponto onde são definidos requisitos específicos com vista à conservação de energia (ABNT, 2008):

7. Critérios de Projeto do sistema

[...]

7.3 Conservação de Energia

Deve considerar-se a adoção de soluções e dispositivos que favoreçam a conservação de energia, como:

- a) seleção de componentes de alta eficiência, tanto em plena carga como em carga reduzida;
- b) Dispositivos de controle e gerenciamento que regulem a capacidade do sistema em função da carga efetivamente existente e mantenham em operação apenas os equipamentos mínimos necessários;
- c) Distribuição de ar e água em vazão variável que minimizar a energia absorvida por ventiladores e bombas;
- d) Recuperação do calor rejeitado no ar de exaustão ou nos condensadores;
- e) Aproveitamentos das condições externas favoráveis (controle entálpico da vazão de ar exterior, resfriamento noturno dos ambientes);
- f) termocumulação, que reduz a demanda elétrica e o custo da energia elétrica;
- g) Refrigeração por absorção, que possibilite o aproveitamento de energia calorífica rejeitada;
- h) Aproveitamento da energia solar;

Adicionalmente são dadas orientações e definidas medidas de concepção de projeto que impactam positivamente na eficiência energética do sistema de condicionamento resultante, muitas das quais focam temas tratados no capítulo 2 do presente trabalho sobre edificações energeticamente eficientes, redução do consumo direto de energia. Considera-se merecedor de destaque:

- Ponto 4.1 no qual se aponta a necessidade de integração da equipe de projetistas desde a concepção de projeto e a importância do diagnóstico das variáveis climáticas e de projeto com impacto na carga térmica a ser atendida pelo sistema (tais como incidência solar, edificações na vizinhança, tipo de ocupação, requisitos de tratamento de ar, necessidades de ventilação, tipos de vidro e materiais e revestimento de cobertura e paredes, dispositivos de sombreamento, entre outros);
- Ponto 5.2 onde são dadas orientações para a definição dos dados climáticos base e das condições térmicas e de umidade internas;
- Ponto 6 relativo ao cálculo da carga térmica, a qual deve ser calculada em quantas horas do dia de projeto forem necessárias para determinar a carga máxima a ser atendida pelo sistema e deve ter em conta os diversos parâmetros responsáveis por ganhos e perdas térmicas: características da envoltória (orientação das fachadas, materiais e suas propriedades térmicas e óticas, sombreamento e, inércia térmica, etc.) ; fontes internas de calor e umidade (pessoas, iluminação, equipamentos, motores elétricos, infiltrações), necessidades de renovação do ar. Deve ainda ser considerado o efeito dinâmico da massa da edificação sobre a carga térmica;

- Ponto 7.1 onde ficam definidos critérios de projeto tais como evitar superdimensionamento do sistema (que acarreta custos energéticos desnecessários) e considerar a opção de subdividir o equipamento em módulos menores, que atendam às cargas reduzidas com melhor eficiência (com ganhos de confiabilidade);
- Ponto 10.8 onde fica definida a necessidade de isolamento térmico de dutos;

Parte 2: Parâmetros de Conforto Térmico

Tal como apresentado na tabela 6 do presente trabalho, esta parte da norma especifica os parâmetros do ambiente interno que proporcionam conforto térmico aos ocupantes de recintos providos de ar-condicionado. Tratam-se de parâmetros críticos para o correto dimensionamento do sistema já que permitem saber as condições que resultam num sistema que atende às necessidades dos usuários sem desperdício por sobredimensionamento.

Parte 3: Qualidade do Ar interior

A ultima parte da norma 16401, especifica os parâmetros básicos e os requisitos mínimos para sistemas de ar-condicionado, visando a obtenção de qualidade aceitável de ar interior para conforto. Neste sentido, define as vazões mínimas de ar exterior para ventilação; níveis mínimos de filtragem do ar e requisitos técnicos de sistemas e componentes relativos à qualidade do ar interior. No que diz respeito ao consumo de energia tem particular interesse o ponto relativo às vazões mínimas de ar (que dependem da ocupação da edificação e da área útil de ocupação) que condicionam a necessidade de ventiladores e exaustores, equipamentos consumidores de energia. Esta informação permite um dimensionamento adequado ao uso da edificação sem desperdícios por sobredimensionamento.

ABNT NBR 15575: Edifícios de até 5 pavimentos – Desempenho

A norma 15575, conhecida como “norma de desempenho” foi publicada em 2008 e já passou por um processo de revisão em 2010. De acordo com o site da ABNT, o documento está atualmente a ser alvo de um novo processo de revisão. Apesar de já estar em vigência, só a partir de Março de 2012 é que poderá ser exigido aos projetos a conformidade com os seus

requisitos. Para efeitos da presente pesquisa não foi possível aceder ao texto integral da norma, pelo que as informações que se apresentam de seguida foram retiradas de literatura sobre o tema.

A norma tem como objetivo a melhoria da qualidade da construção brasileira. Trata-se de uma coletânea de normas existentes (organizadas com um novo foco) que apesar de já se encontrarem em vigor, na prática não são aplicadas.

A norma 15575 contempla 6 partes:

Parte 1: Requisitos Gerais;

Parte 2: Requisitos para os Sistemas estruturais

Parte 3: Requisitos para os Sistemas de pisos internos;

Parte 4: Sistemas de Vedações verticais externas e internas;

Parte 5: Requisitos para Sistemas de coberturas;

Parte 6: Requisitos Hidrossanitários.

Com base em Sacht e Rossignolo (2009) e Lamberts e Garnica B (2011) a norma prevê 3 níveis de desempenho:

- Mínimo: condições mínimas para aceitação do projeto, exige que as condições internas não sejam piores que as externas;
- Intermédio: é um nível de desempenho facultativo e as exigências vão além do nível de desempenho mínimo;
- Superior: é também um nível de desempenho facultativo e excede o nível intermédio).

De acordo com Lamberts e Garnica B (2011) as partes 1, 4 e 5 estabelecem requisitos com vista à classificação do desempenho térmico da edificação de acordo com os 3 níveis previstos. Conforme se pode observar nas tabelas 11 e 12 os limites que determinam os diferentes níveis de desempenho para condições de Inverno e de Verão são definidos em função da zona bioclimática.

Tabela 11 – Limites dos níveis de desempenho para condições de Inverno em função da zona bioclimática

Nível de Desempenho	Critério	
	Zonas Bioclimáticas 1 a 5 ¹	Zonas Bioclimáticas 6,7 e 8
M	$T_{i, \min} \geq (T_{e, \min} + 3^{\circ} \text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado.
I	$T_{i, \min} \geq (T_{e, \min} + 5^{\circ} \text{C})$	
S	$T_{i, \min} \geq (T_{e, \min} + 7^{\circ} \text{C})$	
$T_{i, \min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus centígrados; $T_{e, \min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus centígrados. NOTA: Zonas Bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.		

Fonte: ABNT, 2008 apud Sachet e Rossignolo (2009)

Tabela 12 – Limites dos níveis de desempenho para condições de Verão em função da zona bioclimática

Nível de Desempenho	Critério	
	Zonas Bioclimáticas 1 a 7 ¹	Zona Bioclimática 8
M	$T_{i, \max} \leq T_{e, \max}$	$T_{i, \max} \leq T_{e, \max}$
I	$T_{i, \max} \leq (T_{e, \max} - 2^{\circ} \text{C})$	$T_{i, \max} \leq (T_{e, \max} - 1^{\circ} \text{C})$
S	$T_{i, \max} \leq (T_{e, \max} - 4^{\circ} \text{C})$	$T_{i, \max} \leq (T_{e, \max} - 2^{\circ} \text{C})$ e $T_{i, \min} \leq (T_{e, \min} + 1^{\circ} \text{C})$
$T_{i, \max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus centígrados; $T_{e, \max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus centígrados; $T_{i, \min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus centígrados; $T_{e, \min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus centígrados. NOTA: Zonas Bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.		

Fonte: ABNT, 2008 apud Sachet e Rossignolo (2009)

Conforme se pode observar nas tabelas 13, 14 e 15 as grandezas reguladas pela norma com vista à classificação de desempenho térmico de paredes externas incluem a Transmitância Térmica, a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede, capacidade térmica, áreas mínimas de abertura para ventilação, previsão de dispositivos de sombreamento externo ao vidro que permitam o controle do sombreamento, ventilação e escurecimentos ao critério do usuário. Já no que diz respeito às coberturas são definidas exigências de Transmitância Térmica, absorvância à radiação solar da superfície externa da cobertura e previsão de isolamento térmico.

Tabela 13 – Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância Térmica – U (W/m ² .K)		
Zona 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$
	U ≤ 2,5	U ≤ 2,5

Nota: α é absorptância à radiação solar da superfície externa da parede

Fonte: ABNT, 2008 apud Lamberts e Garnica B (2011)

Tabela 14 – Capacidade Térmica de paredes externas

Capacidade Térmica (CT) KJ/m ² .K	
Zona 8	Zonas 1,2,3,4,5,6 e 7
Sem exigência	≥ 130

Fonte: ABNT, 2008 apud Lamberts e Garnica B (2011)

Tabela 15 – Critérios de Coberturas quanto à transmitância térmica

Transmitância Térmica – U W/m ² .K				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8	
U ≤ 2,30	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha > 0,4$
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FV	U ≤ 1,5 FV

Notas:

1. Na zona bioclimática 8 também estão atendidas coberturas com componentes de telhas cerâmicas, mesmo que a cobertura não tenha forro.

2. α é a absorptância à radiação solar.

3. O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220-2.

Fonte: ABNT, 2008 apud Lamberts e Garnica B (2011)

A norma prevê a determinação do desempenho da edificação com base em um de dois procedimentos (SACHT e ROSSINGNOLO, 2009):

- Na fase de projeto a avaliação deverá ser executada com recurso a software adequado tendo em conta os dias considerados típicos de projeto para Verão e para Inverno;
- Na fase de edifício construído, a avaliação deverá ser feita por meio de medições *in loco*;

3.4.3 Outros instrumentos regulatórios do setor de edificações

- **Política Nacional de Habitação**

O documento onde foi publicada a Política Nacional de Habitação em 2004, faz um diagnóstico do cenário nacional quanto às principais necessidades do setor residencial. Destaca-se o total de 7,2 milhões³⁷ de famílias brasileiras com necessidade de novas moradias, das quais, de acordo com dados do ano 2000, 88,2% pertenciam à classe de rendimento de até 5 salários mínimos. Ainda relativamente ao total do déficit habitacional, 3,4 milhões de situam-se em áreas urbanas e 39,5% concentra-se na região Sudeste do Brasil. A juntar ao déficit habitacional, o documento refere 10 milhões de domicílios com carências relativamente ao padrão construtivo, situação fundiária, acesso a serviços e equipamento urbano (BRASIL, 2004).

Assumindo como um dos princípios base a moradia digna como direito e vetor de inclusão social garantindo o padrão mínimo de habitabilidade, infraestrutura, saneamento ambiental, mobilidade, transporte coletivo, equipamentos, serviços urbanos e sociais, a Política Nacional de Habitação aprovou três áreas de atuação, para fazer frente às necessidades habitacionais diagnosticadas, nomeadamente: a integração urbana de assentamentos precários; a produção habitacional e a integração da política habitacional à política de desenvolvimento urbano. Para lidar com os temas eleitos, o documento define um conjunto de objetivos e instrumentos de política pública (em particular o Sistema Nacional de Habitação, o Plano de Capacitação e Desenvolvimento Institucional, o Sistema de Informação, Avaliação e Monitoramento da Habitação e o Plano Nacional de Habitação).

No que diz respeito particularmente aos objetivos definidos, faz-se de interesse à presente pesquisa o destaque dado à qualidade da produção habitacional, em particular na seguinte diretriz (BRASIL, 2004, p.33) "Implementação de ações voltadas à sustentabilidade do ambiente construído englobando as fases de elaboração de projeto e execução da obra".

³⁷ Valor atualizado para 5,8 milhões no Plano Nacional de Habitação publicado em 2009.

- **Códigos de Obras**

Conforme, referido na subseção 3.1 da presente pesquisa, o Código de Obras é o instrumento regulatório mais utilizado mundialmente como política de controle de edificações. Considera-se relevante para a atual pesquisa, a caracterização da sua adoção a nível nacional. De acordo com dados do IBGE (2011), e conforme representado na figura 18, em 2009, 57,6% dos municípios brasileiros (ou 3208 em número absoluto) tinham em vigor um código de obras. Analisando a diversidade regional, merece destaque a região Sul, onde o percentual de município com Código de Obras atinge 69,4% seguido da região Centro Oeste com 66,3%, valores significativamente acima da média nacional. Já a região Norte e Nordeste apresentam os valores mais baixos com 47,9 e 47,2% respectivamente. A região Sudeste, onde se situa o Município de São Paulo, foco da presente pesquisa, apresenta um valor próximo da média com 60,8% de municípios com código de obras em vigor.

Figura 18 – Municípios brasileiros com Código de Obras

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE, 2011

A quantidade de municípios com código de obras no território brasileiro e as restrições de tempo inerentes a este trabalho de pesquisa impossibilitaram a análise no sentido de determinar se existem códigos de obras em vigor, e em que quantidade, com preocupações no sentido de promover a eficiência energética das edificações por eles reguladas. Tal análise foi realizada apenas para o Código de Obras de São Paulo e é apresentada no capítulo 4.

Contudo faz-se interessante destacar duas iniciativas: o Modelo para Elaboração de Códigos de Obras e Edificações do IBAM (convênio com PROCEL) (BAHIA, 1997); o

projeto de Código de Obras Nacional, coordenado pela AsBEA e promovido pela CBIC (CBIC, 2011).

Modelo para Elaboração de Códigos de Obras e Edificações

Trata-se de um documento elaborado pelo núcleo de Meio Ambiente do Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM) em convênio com a Eletrobras através do PROCEL e publicado em 1997. A motivação para a sua publicação partiu da necessidade de conscientizar os municípios para a questão da conservação de energia e contribuir com um modelo de código de obras que ajude o município a adotar Códigos de Obras e Edificações que promovam edificações energeticamente mais eficientes sem comprometer os níveis de conforto e qualidade. Citando os autores (BAHIA, 1997, p.6): “nesta primeira etapa estão sendo introduzidas no documento técnicas de combate ao desperdício de energia, no que tange a diversos temas por ele abordados”.

O documento apresenta um modelo do projeto lei e do respectivo decreto regulamentar. Dos temas abordados com impacto ao nível do desempenho térmico e consumo energética da edificação são de destacar as seguintes sugestões e orientações (BAHIA, 1997):

- Elaboração de legislação específica para edificações localizadas em áreas de interesse social de forma a adaptar os requisitos técnicos às possibilidades sócio-econômicas das populações;
- Sempre que um tema já seja tratado por normas técnicas, optar por referenciar essa norma em vez de sobrecarregar o texto do código (contribui para que o código fique desatualizado menos vezes);
- Projetos de construção e reforma de edificações deverão atender aos padrões mínimos de segurança, conforto e salubridade e aplicar conceitos que visam racionalizar o uso de energia elétrica nas construções tais como: escolha de materiais construtivos adaptados às condicionantes externas, uso das propriedades de reflexão e absorção das cores empregadas, emprego de equipamentos eficientes, correta orientação da construção e de seus vãos de iluminação e ventilação em função das condicionantes locais, adoção de iluminação e ventilação natural sempre que possível, dimensionamento dos circuitos elétricos de modo a evitar o desperdício em sua operação;
- Elementos estruturais, paredes divisórias e pisos devem ser projetados e construídos

de forma a garantir, entre outras coisas, bom desempenho térmico;

- Especial atenção deve ser dada ao projeto de coberturas de forma a não constituírem uma importante fonte de carga térmica com sugestão de isolamento térmico para coberturas de ambientes climatizados;
- Considerar a utilização de elementos naturais como variáveis de projeto (árvores, corpos de água, etc.);
- Definição de vãos mínimos que permitam explorar o uso de iluminação natural e da renovação natural do ar (por efeito chaminé ou ventilação cruzada), sem comprometer o conforto térmico das edificações, contribuindo para a redução de consumo de energia elétrica com iluminação e climatização artificial. Nos compartimentos de permanência transitória, com exceção de banheiros, admitir ventilação indireta ou soluções mecânicas, desde que tais soluções se mantenham desligadas quando o compartimento não estiver sendo utilizado;
- Pé-direito mínimo de 2,60 para ambientes de permanência prolongada e de 2,40 para ambientes de permanência transitória;

Está em curso uma revisão do documento com data prevista para publicação em Fevereiro de 2012. É expectável que nesta nova versão, o tema da eficiência energética seja tratado com maior detalhe.

Projeto de Código de Obras Nacional

Outro projeto em curso merecedor de destaque para a presente dissertação é o Código de Obras Nacional a cargo da Associação Brasileira de Escritórios de Arquitetura (AsBEA) (coordenado pelo Arquiteto Luis Frederico Rangel). O projeto faz parte do Programa de Inovação Tecnológica (PIT), da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) que visa estudar, analisar e definir diretrizes para o desenvolvimento, difusão e avaliação de inovações tecnológicas na construção civil brasileira.

O Programa teve início em outubro de 2007 com uma fase de diagnóstico que terminou no final de 2008 e durante a qual foi levantado um conjunto de nove prioridades, transpostas para nove projetos, a fim de impulsionar a inovação da Construção Civil, das quais se destaca o projeto de Código de Obras Nacional com objetivo de padronizar as obras no país. A intenção é que as construções se tornem industrializadas e sistematizadas, ao contrário do que ocorre atualmente, em que cada município adota um código diferente.

De acordo com informação recolhida do sitio eletrónico do projeto (CBIC, 2011), o documento será elaborado tendo por base o trinômio formado por normas de desempenho, sustentabilidade e responsabilidade profissional e irá ter em conta a divisão bioclimática do país em 8 regiões que terão especificações diferentes. Com a iniciativa, a AsBEA pretende, além de promover a inovação no setor, facilitar os programas habitacionais federais, em particular o programa Minha Casa, Minha Vida, já que as construtoras poderiam utilizar o mesmo projeto em várias cidades sem ter que adequá-los a cada código. Contudo, pela escassez de investimentos, ainda não há uma previsão de conclusão do programa.

A fim de compreender melhor o projeto, procurou-se obter mais informações junto do coordenador do projeto, através da realização de uma entrevista via email. Contudo, até à data ainda não foi obtida resposta. Apresentam-se de seguida os temas focados na entrevista:

- Qual a esfera do projeto (pública ou privada) e, no caso de ser de iniciativa privada, se conta com apoio financeiro público.
- Qual o papel do documento depois de projeto, ou seja se a intenção é servir apenas de apoio aos municípios na elaboração dos seus códigos municipais ou se o documento teria, de alguma forma, natureza obrigatória. O desenvolvimento do documento tem por base algum modelo internacional?
- Medidas inseridas para promover a eficiência energética;

4. MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

O desenvolvimento de políticas públicas apresenta-se como um processo complexo já que deverá ter em conta um elevado número de variáveis e fatores que contribuem para o seu sucesso, em particular a seleção dos instrumentos adequados, a definição de metas objetivas, a disponibilidade de recursos financeiros, de mão de obra e de infraestrutura necessários à sua execução, entre outros. Neste contexto, é de se esperar que o conhecimento acurado da realidade alvo seja um ponto crítico. A fim de caracterizar a realidade específica do Município de São Paulo são apresentados neste capítulo três tópicos que se consideram pertinentes ao tema em estudo: caracterização geral do município de São Paulo focando dados geográficos e climáticos, populacionais e econômicos; o consumo energético atual no município e tendências futuras; a eficiência energética no Código de Obras e Edificações em vigor.

4.1 O Município

- **Dados geográficos e clima**

O município de São Paulo situa-se no Estado de São Paulo na região sudeste do Brasil. As suas coordenadas geográficas são -23°19' de Latitude e -46°22' de Longitude e em termos de altitude o município situa-se num planalto a 860 metros face ao nível do mar. No que diz respeito a dimensões, o Município de São Paulo apresenta uma área de aproximadamente 1523 km², que corresponde a cerca de 1% do território do Estado.

Relativamente ao clima, de acordo com o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas aplicadas à agricultura da Unicamp (CEPAGRI, 2011), e tendo por base a classificação climática de Koeppen, o Estado de São Paulo abrange sete tipos climáticos distintos. O tipo dominante é o *Cwa* – *Clima subtropical* com inverno seco e verão quente. Algumas áreas serranas, com verão ameno são classificadas no tipo *Cwb* – *Clima Subtropical de Altitude com inverno seco e verão temperado*. As regiões a Noroeste, mais quentes, pertencem ao tipo *Aw* – *clima tropical com estação seca de inverno*. Em pontos isolados

ocorre o tipo *Am – Clima de Monção*, ou seja um clima tropical chuvoso. Nas regiões mais a sul do Estado, aparecem faixas de clima *Cfa – Clima Temperado Úmido com verão quente* (sem estação seca). As áreas serranas mais altas, das serras do Mar e da Mantiqueira, apresentam um clima do tipo *Cfb – Temperado Úmido com verão temperado* (verão ameno e clima chuvoso o ano todos). A faixa litorânea recebe a classificação de *Af – Clima Tropical úmido*.

Segundo a mesma fonte, o clima do Município de São Paulo em particular, é do tipo Cwa na classificação de Koppen, ou seja, um clima subtropical com inverno seco e verão quente, em que temperatura média do mês mais quente situa-se acima dos 22°C. No âmbito do zoneamento climático do Brasil apresentado na norma ABNT NBR 15220-3, o município de São Paulo apresenta clima do tipo Zona Bioclimática 3.

De acordo com Tarifa e Armani (2001), a localização geográfica do município de São Paulo determina a influência de um conjunto de fatores climáticos locais tais como: altitude (terras altas predominantemente entre os 720 e 850 metros); topografia variada apresentando planícies aluviais (várzeas), colinas, morros, serras e maciços com as mais variadas orientações; proximidade ao oceano Atlântico (a uma distância média de 45 km). Para além dos fatores climáticos locais, resultantes da altitude, relevo e corpos de água, o clima do município de São Paulo é fortemente influenciado por controles climáticos urbanos em particular: a impermeabilidade do solo, fluxo de veículos, densidade populacionais, densidade de edificações, orientação e altura das edificações, áreas verdes, parques e emissão de poluentes. Tais elementos determinam variações importantes no clima urbano, criando condições de temperatura particulares para cada bairro. Tarifa e Armani (2001) destacam:

- A ocorrência de temperaturas mais amenas nas áreas com cobertura vegetal significativa (matas da Cantareira, extremo Sul, etc.) e junto aos corpos de água, em contraste com as temperaturas mais elevadas observadas nas regiões mais áridas da cidade (região central e antigas áreas industriais ao longo do rio Tamanduateí como a Mooca, Brás, zona leste, etc.);
- As diferenças de temperaturas observadas em áreas com diferentes padrões de apropriação do espaço urbano: temperaturas mais amenas nas áreas dos chamados bairros jardins (Jardim Europa, Cidade Jardim, Chácara Flora, Granja Julieta, etc.) resultado da predominância de ocupação residencial horizontal, arborização intra-lote e urbana/viária, e temperaturas mais elevadas nas áreas periféricas (em especial na zona leste), fruto da ocupação total dos

lotes pelas edificações e da quase ausência de arborização/cobertura vegetal;

- Formação de algumas zonas frias provocadas pela projeção das sombras das edificações nas áreas com maior padrão de ocupação vertical (ex. região central, Av. Paulista, etc.) em conjunto com fatores como os ventos (*Canyons Urbanos*);

Na tabela 16 apresenta-se os valores mensais de algumas variáveis climáticas: temperatura mínima média, temperatura máxima média, temperatura média e pluviosidade.

Tabela 16 – Características Climáticas do Município de São Paulo

Mês	Temperatura do Ar			Chuva (mm)
	Mínima Média	Máxima Média	Média	
Jan	19.0	28.0	23.0	238.2
Fev	19.0	28.0	24.0	210.9
Mar	18.0	28.0	23.0	163.8
Abr	16.0	26.0	21.0	69.5
Mai	14.0	23.0	19.0	60.6
Jun	13.0	23.0	18.0	53.4
Jul	12.0	23.0	17.0	34.1
Ago	13.0	25.0	19.0	42.9
Set	14.0	25.0	20.0	77.4
Out	16.0	26.0	21.0	116.7
Nov	16.0	26.0	21.0	128.4
Dez	18.0	27.0	22.0	180.3
Ano	15.7	25.7	20.7	1376.2
Mín	12.0	23.0	17.0	34.1
Max	19.0	28.0	24.0	238.2

Fonte: CEPAGRI, 2011.

• Dados Populacionais

Quanto à sua população, de acordo com estimativas do SEADE (2011), em 2011 o município contava com uma população de cerca de 11 337 021 pessoas, correspondente a 27,2% da população do Estado de São Paulo, estimada em 41692668 pessoas. A sua taxa de crescimento registrou um valor de 0,76% ao ano na última década (taxa de crescimento geométrica entre 2000 e 2010). Relativamente ao crescimento populacional é interessante destacar que o seu valor tem vindo a desacelerar nas últimas décadas, já que, de acordo com a

mesma fonte, a taxa de crescimento populacional nas décadas de 80 e 90 situou-se nos 0,91% e 1,15% respectivamente. Outro ponto interessante é o fato de as taxas de crescimento populacional do município, quando consideradas também as três últimas décadas, registrarem valores inferiores ao total do Estado de São Paulo e da sua Região metropolitana o que pode ser explicado por um crescimento mais concentrado da periferia face ao centro urbano de São Paulo (mais consolidado) em consequência dos movimentos de imigração que caracterizaram a história da cidade de São Paulo, em particular durante o século XX.

Relativamente ao perfil socioeconômico da população, da análise dos dados dos Censos 2000 disponibilizados pelo IBGE (2011), é interessante destacar que a população do Município de São Paulo apresentava rendimentos *per capita* significativamente superiores à realidade Estadual e Nacional. Com efeito, conforme dados da figura 19, onde se apresenta o percentual de domicílios particulares por classes de rendimento nominal mensal das famílias per capita do Brasil, Estado de São Paulo e Município de São Paulo, enquanto o Município registra um total de 38% das famílias com rendimentos mensais *per capita* acima dos três salários mínimos, os valores para o Estado de São Paulo e Brasil são significativamente mais baixos, 29% e 18% respectivamente. Também no caso em que análise foca as famílias com rendimentos mais baixos, os resultados parecem mais favoráveis ao Município de São Paulo uma vez que se observa que apenas cerca de 6% das famílias apresentavam rendimento per capita até meio salário mínimo, valores que ascendiam aos 9% no cenário Estadual e 22% tomando a realidade Brasileira no seu todo.

Também pela análise do Produto Interno Bruto (PIB) per capita, o valor do rendimento da população (em média) do município de São Paulo revela-se mais favorável quando comparada com o total do Estado de São Paulo e com o país como um todo. De acordo IBGE e SEADE (2011), o PIB per capita do município a preços correntes de 2009, situava-se em R\$35271,93, significativamente acima do valor para o total do Estado de São Paulo - R\$ 26202,22 - e do valor publicado pelo Banco Central do Brasil para o total do país em 2010 - R\$19016,00.

Figura 19 – Famílias Residentes em domicílios particulares, por classe de rendimento nominal mensal familiar *per capita*.

Fonte: IBGE, 2009

O cenário favorável registrado pelo Município de São em termos de rendimento das famílias parece refletir-se em efetivo desenvolvimento se tomarmos como indicador o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), cujo valor em 2000 para o Município em estudo era de 0,841, um dos mais elevados do país. Cabe contudo destacar que condições de vida da população no município são muito heterogêneas observando-se a incidência de regiões que apresentam elevados padrão de vida e de regiões com condições precárias de habitação.

• Dados Econômicos

Em 2009, o PIB do município de São Paulo totalizou R\$389317,167 milhões, que correspondeu a cerca de 35% do PIB do Estado. Apesar do crescimento da cidade estar fortemente associado ao desenvolvimento industrial no século XX, atualmente, o setor de serviços contribui com 79,27% da riqueza produzida enquanto as parcela da indústria e do setor agrícola situaram-se nos 20, 72% e 0,1% respectivamente.

4.2 O consumo energético no setor de edificações

4.2.1 Setor de edificações

Em 2011, o município de São Paulo apresentava um grau de urbanização extremamente elevado (99,1%) já que o território do município está na sua totalidade incluído na cidade de São Paulo, maior centro urbano do país (SEADE, 2011). A sua densidade demográfica situava-se, no mesmo ano, nos 7444 habitantes por km² (SEADE, 2011). De acordo com o documento *Atlas Ambiental do Município de São Paulo* (TAKIYA, 2002), o processo de expansão urbana do Município de São Paulo, em especial nos últimos 50 anos, deu-se de modo indiferente às limitações e potencialidades das suas características naturais. Este processo de ocupação da cidade gera situações de difícil reversão, tais como a supressão de áreas com cobertura vegetal natural, a impermeabilização excessiva do solo, enchentes, erosão, perda da qualidade dos mananciais de abastecimento, etc.

De acordo com dados do último Censos (IBGE, 2011), o Município de São Paulo contava com um total de 3574258 domicílios, correspondendo a 27,9% do total de domicílios do Estado. Relativamente ao Estado a taxa de acesso à eletricidade desse domicílios é de cerca de 99,9% (IBGE, 2007). Conforme referido as condições de vida da população no município são muito heterogêneas observando-se a incidência de regiões que apresentam um elevado padrão de vida e de regiões com condições precárias de habitação. A presente pesquisa procurou compreender a distribuição dos usos residenciais distinguindo usos residenciais verticais de horizontais bem como de médio e alto padrão de baixo padrão. Com base no *Atlas Ambiental do Município de São Paulo* (TAKIYA, 2002) as áreas de ocupação *Residencial Vertical de alto e médio padrão* compreendem bairros da zona Centro (como Higienópolis, Bela Vista e região da Cerqueira César), Oeste (Perdizes, Pompéia, Pinheiros, Alto da Lapa, entre outros), Oeste extremo, Sudoeste e Sudeste. Quanto a uso *Residencial Horizontal de alto e médio padrão*, as maiores concentrações estão localizadas nas regiões Sul, Oeste, Oeste Extremo, Sudoeste, Sudeste e Norte. As áreas de *baixo padrão residencial*, majoritariamente horizontal, concentram-se essencialmente nas regiões Sul Extremo, Leste Extremo e Norte já nas franjas da Serra da Cantareira. Por fim, a região Leste constitui uma área consolidada de ocupação residencial principalmente horizontal de médio padrão e a

região Sudoeste Extremo apresenta elevada concentração de usos residenciais, tanto verticais como horizontais, de todos os padrões construtivos.

Ainda de acordo com o *Atlas ambiental do Município de São Paulo* (TAKIYA, 2002), cabe destacar a presença de extensas áreas com ocupação precária, em particular do tipo favelas. Definem-se como favelas as áreas de construção de moradias em condições de extrema precariedade técnica e sanitária, predominantemente em áreas públicas e muitas vezes em áreas de risco tais como margens de córregos, terrenos de alta-declividade e de grande fragilidade do ponto de vista geológico e geotécnico. Constituem áreas de consolidação da miséria, em geral nas áreas mais periféricas das cidades, desprovidas de condições mínimas de infraestrutura urbana. Do ponto de vista de sua abrangência territorial, em 1981 o município de São Paulo contava com 3.567 loteamentos, ocupando 31.147 hectares, envolvendo 1 milhão e 200 mil lotes. Em 2000, segundo dados de (TAKIYA, 2002), os loteamentos irregulares ocupavam uma área de cerca de 33 900 hectares, correspondendo a 22 % da área total do município de São Paulo. Relativamente às áreas de incidência de favelas, destaca-se a zona Extremo Sul, onde estão localizadas cerca de 50% das favelas do município, a Zona Norte nas franjas da Serra e Zona Leste.

4.2.2 Consumo Energético Atual

Conforme definido no capítulo 2 da presente dissertação, o consumo energético do segmento de edifícios resulta do somatório dos chamados consumo direto e consumo indireto. O primeiro é um consumo de natureza ocupacional e operacional uma vez que está relacionado com o conforto térmico dos seus ocupantes, iluminação e funcionamento de equipamentos. Já o Consumo Indireto, também designado por energia “embutida”, é resultado de um conjunto de consumos resultantes de diversas atividades, tais como: a produção e transporte dos materiais de construção; a própria construção do edifício, o fornecimento de água e infraestrutura sanitária; perdas de energia nos processos de conversão, transmissão e ou transporte da energia utilizada pelo edifício (URGE-VORSATZ, 2009).

Relativamente ao consumo direto, apresenta-se uma caracterização com base em dados coletados, tendo em conta os últimos anos e a comparação da realidade do município de

São Paulo face ao Estado e ao Brasil. A presente pesquisa analisou o peso setorial do consumo de energia primária e energia elétrica, o perfil de consumo de energia por fonte energética, a intensidade energética per capita (relativa à energia elétrica) e o perfil de consumo de energia elétrica por uso final. Já para o consumo indireto, a sua caracterização é feita tendo em conta os estudos nacionais sobre o tema e a coleta de dados sobre setores com impacto indireto sobre o consumo das edificações.

Consumo Direto

Referente à coleta de dados, o consumo direto é resultante do consumo dos setores Residencial, Comercial e Público, onde os gastos energéticos ocorrem majoritariamente como consequência do uso dos edifícios. Quanto ao perfil setorial do consumo, de acordo com o Balanço Energético do Estado de São Paulo - BEESP (SÃO PAULO (ESTADO), 2011a) e conforme apresentado na figura 20, os edifícios foram responsáveis por 13,6% do consumo final de *energia primária* do Estado em 2010, atrás do setor industrial (47,8%) e de transportes (33,1%). A participação do setor residencial em particular foi 7,9%.

Figura 20 – Perfil Setorial do Consumo de Energia Primária do Estado de São Paulo 2010

Fonte: São Paulo (Estado), 2011a

Ainda para o ano de 2010, tal como representado na figura 21, quando considerado apenas o consumo de *energia elétrica* no Estado de São Paulo, a participação das edificações sobe para 47,9%, resultado do consumo de 24,4% e 23,7% da energia elétrica pelos setores residencial, e comercial e público respectivamente. Note-se que, quando analisado o consumo de energia elétrica, o setor de edificações é o maior consumidor seguido do setor industrial com uma participação de 46,9%.

Atendendo à figura 22 que apresenta dados apenas do Município de São Paulo, o cenário é ainda mais crítico já que, tendo por base dados de 2010, os edifícios atingiram uma participação no consumo de energia elétrica de 74,3%. Nesta área de análise, o setor residencial foi responsável por 40,7% e o comercial e público por 33,6% do consumo. Faz-se ainda interessante destacar que a baixa participação do setor industrial face aos valores apresentados nas figuras anteriores pode ser explicada pelo elevado grau de urbanização do Município de São Paulo.

Figura 21 - Consumo final de energia elétrica no Estado de São Paulo em 2010

Fonte: Elaborado a partir de São Paulo (Estado), 2011a

Figura 22: Consumo Final de eletricidade em 2010

Fonte: Elaborado a partir de São Paulo (Estado), 2011b.

Relativamente a valores de consumo absolutos, atendendo a dados de 2010, o consumo de energia elétrica do município de São Paulo totalizou 27326 GWh, representando 19,3% do consumo de energia elétrica do Estado e 6,1% do total Nacional (SÃO PAULO

(ESTADO), 2011a; SÃO PAULO (ESTADO), 2011b; EPE, 2011). Atendendo ao peso do município de São Paulo no consumo de energia elétrica nacional e ao peso do setor residencial no município, conclui-se que as habitações do município de São Paulo contribuíram com 2,4% do consumo de energia elétrica nacional em 2010 e 10,3% do setor residencial.

O consumo do setor residencial pode incidir sobre fontes primárias (tais como o gás natural) ou fontes secundárias (como a eletricidade). De acordo com dados do Balanço Energético do Estado de São Paulo – BEESP (SÃO PAULO ESTADO, 2011a) em 2010 e conforme apresentado na figura 23 o perfil de consumo de energia do setor residencial do Estado de São Paulo por fonte energética revela que a energia elétrica foi responsável por 62,1% do valor total de energia consumida seguida do GLP (gás liquefeito de petróleo) com 31,7%. A lenha e Gases (Natural e Canalizado) apresentam uma contribuição pouco significativa de 3,2 e 2,9% respectivamente. A elevada participação da energia elétrica e a baixa contribuição da lenha estão em conformidade com o elevado nível de urbanização e o maior desenvolvimento do Estado de São Paulo face à média nacional, já que quando analisados para o total do setor residencial brasileiro, estas duas fontes energéticas em 2010 representaram 39,9% e 30,7% do consumo energético respectivamente (EPE, 2011).

* Inclui gás natural e gás canalizado

Figura 23 – Perfil do Consumo Residencial por fonte energética no Estado de São Paulo 2010.

Fonte: São Paulo (Estado), 2011a

Atendendo à disponibilidade de dados, e ao peso do consumo de energia elétrica no setor residencial, as análises seguintes focam apenas o consumo desta fonte de energia secundária, em particular taxas de crescimento, intensidade energética e perfil de consumo por usos finais.

Quanto à evolução do consumo de energia elétrica nos últimos anos, tal como se apresenta na figura 24, o município de São Paulo apresentou uma taxa geométrica de crescimento entre 2001 e 2010, inferior ao Estado e ao país (2,8% contra 4,2% e 4,4% respectivamente). Quando analisado apenas o setor residencial verifica-se que o crescimento para o mesmo período já foi próximo ao do Estado e da realidade nacional (4,2% contra 4,4% e 3,4% respectivamente).

Figura 24 – Taxa de Crescimento Anual do Consumo Energia Elétrica 2001-2010

Fonte: EPE, 2011; São Paulo (Estado), 2011a; São Paulo (Estado) 2011b.

Outro indicador interessante para a caracterização do consumo energético no município de São Paulo é a intensidade energética. A presente pesquisa procurou caracterizar a intensidade energética *per capita* e a intensidade energética por unidade de área construída.

Relativamente à intensidade energética *per capita* recorreu-se aos dados populacionais publicados pelo IBGE e pela fundação SEADE. Dos dados coletados referentes ao período de 1999 a 2008 para o Estado de São Paulo e Brasil e ao período de 2001 a 2008 para o Município de São Paulo, apresentados nas figuras 25, 26 e 27, conclui-se que o valor da intensidade energética *per capita* cresceu em todos os anos analisados, (com exceção do período de 2000 a 2001) e foi sempre positiva o que resulta de taxas de crescimento do consumo de energia elétrica superiores à taxa de crescimento populacional, para o período em estudo. No que diz respeito à diminuição de consumo entre 2000 e 2001 vale destacar que se trata do período de racionamento que se seguiu ao episódio de apagão no início da década.

Em 2008, o valor da intensidade energética per capita do Município de São Paulo (em termos de energia elétrica) registrou um valor total de 2355 kWh/habitante, inferior aos valores do Estado de São Paulo (3351 kWh/habitante) e superior ao do Brasil (2259

kWh/habitante). A análise setorial da evolução da intensidade energética *per capita* revela que os setores industrial e das edificações (setor residencial e comercial e público) são os grandes responsáveis pelo seu crescimento. Neste ponto vale destacar que, conforme se observa pela figura 27, a evolução do setor residencial tem uma influência maior na evolução do total da intensidade energética *per capita* do município de São Paulo face ao que se verifica para o Estado de São Paulo e Brasil onde o setor industrial desempenha um papel de maior destaque, tal como apresentado nas figuras 25 e 26. No que diz respeito em particular ao município de São Paulo, o valor da taxa de crescimento da intensidade energética per capita no período de 2001 a 2008 situou-se nos 2,21% ao ano resultante de uma taxa de crescimento do consumo de energia elétrica de 2,98% e de um crescimento populacional avaliado em 0,75%. Para o setor residencial em particular, a intensidade energética *per capita* cresceu a uma taxa anual de 3,54% no referido período em resultado de uma taxa de crescimento de 4,32% do consumo de energia elétrica e 0,75% da população.

Figura 25– Evolução da Taxa de Crescimento da Intensidade Energética (energia elétrica) *per capita* no Brasil

Fonte: IBGE, 2008; EPE, 2011.

Figura 26– Evolução da Taxa de Crescimento da Intensidade Energética (energia elétrica) *per capita* no Estado de São Paulo

Fonte: São Paulo (Estado), 2011a; SEADE, 2011.

Figura 27 – Evolução da Taxa de Crescimento da Intensidade Energética (energia elétrica) *per capita* no Município de São Paulo

Fonte: SEADE, 2011.

Relativamente à intensidade energética por unidade de área construída, cabe destacar que não foi possível encontrar dados oficiais publicados relativamente ao valor da área construída no setor residencial (que permitissem o cálculo do indicador) nem estudos na literatura que apresentem tal valor. Trata-se de um indicador muito utilizado internacionalmente na comparação do consumo energético entre edificações (ex. kWh/m² ou toe/m²), em particular, entre consumo energético de padrões construtivos ao longo do tempo. Conforme referido no capítulo 3, é também um parâmetro muito utilizado para estabelecer

limites ao consumo de energia dos edifícios em instrumentos regulatórios que recorrem a métodos de conformidade baseados no desempenho do edifício.

O último indicador tratado na literatura diz respeito ao perfil do consumo do setor residencial por usos finais de energia. Foram analisado dados recolhidos de duas fontes distintas mas que se basearam em dados do PROCEL e ELETROBRAS de dois anos diferentes. Conforme apresentado na tabela 17, de acordo com Ghisi, Gosch e Lamberts (2007), que se baseou em dados recolhidos entre 1997 e 1999, a geladeira é o uso final com maior peso no consumo de energia elétrica, seguido do chuveiro elétrico. Já com base na fonte ELETROBRAS (2007) que se baseou em dados de 2005, o chuveiro elétrico assume-se como o uso final de maior consumo, seguido da geladeira. Os estudo sugerem um aumento acentuado da participação da iluminação, que terá passado de 8-11% em 1997/1999 para 19% em 2005. É igualmente interessante destacar a participação do ar condicionado no Verão quando o peso no consumo chega a atingir os 28%. De acordo com Ghisi, Gosch e Lamberts (2007) o ar condicionado deve ser uma alvo de atenção no setor residencial na medida em que os hábitos de posse são ainda relativamente baixos (entre 0,03 e 0,11 por domicílio) mas a sua participação no consumo já é significativa em especial no Verão. Segundo dados de 2005, a posse média de aparelho de ar condicionado na região Sudeste era de 0,09 por domicílio.

Tabela 17 - Perfil do Consumo de Energia Elétrica por Usos Finais

Uso Final	Ghisi, Gosch e Lamberts, 2007		ELETROBRAS, 2007
	Verão	Inverno	
Geladeira	33-34%	30%	22%
Freezer	8-9%	8%	5%
Iluminação	8-11%	11%	19%
Chuveiro Elétrico	14-28%	26%	26%
Ar- Condicionado	2-18%	1%	11%
Microondas	0%	2%	-
Máquina de Lavar	1-2%	5%	1%
Ferro	3%	5%	3%
Som	5-9%	5%	3%
TV	5-7%	6%	10%

Nota: A primeira fonte apresenta dados de perfil de consumo de eletricidade de acordo com a divisão bioclimática do Brasil em 8 regiões. Os dados apresentados referem-se à região bioclimática 3 onde se situa o Município de São Paulo. A segunda fonte refere-se a dados agregados para a região Sudeste.

Fonte: Extraído de Ghisi et al. (2007); ELETROBRAS, 2007

Consumo Indireto

Conforme referido, o cenário completo deverá incluir também os valores do consumo indireto. A coleta de dados deste tipo de consumo é extremamente complexa já que inclui parcelas de diversos setores. Quando considerado o ciclo de vida da edificação desde a extração de matérias primas para a produção materiais de construção até à fase de demolição da edificação, a energia embutida numa edificação engloba parcelas de consumo energético contabilizadas no setor industrial, de transporte, e energético. No sentido de apresentar dados que possam contribuir para a caracterização do tema a nível nacional e em particular no Município e Estado de São Paulo, a presente pesquisa procurou informações relativas às indústrias produtivas dos principais materiais de construção, setor de transportes, desperdício na construção, matriz de produção de energia elétrica e perdas na transmissão.

Relativamente ao valor de energia embutida nas construções brasileiras, a bibliografia disponível permite concluir que se trata de um tema ainda pouco explorado. Na tabela 18 apresentam-se alguns valores coletados em estudos realizados por diferentes autores em diferentes anos. Verifica-se um grande heterogeneidade de valores, que se atribui a diferentes metodologias, em particular no que concerne às etapas da vida útil da edificação consideradas nos cálculos.

Tabela 18 – Valor de Energia Embutida nas Edificações Brasileiras

Valor (GJ/m²)	Observações	Referência	Ano
1,00	Ed.Residencial	CETEC/MG para MIC	1982
1,5	Ed. Público		
2,19	Ed. Comercial		
3,026	Edifício Padrão	Mascaró	1983
2,47	Ed. Multifamiliar padrão	Guimarães	1985
0,5	Sistema tradicional de construção	Agopyan	1991
3,6	Baseado NBR 12721	Pietrobon	1995
3,940	Baseado NBR 12721	Lamberts e Tavares	2006

Destaca-se o estudo de Tavares e Lamberts (2006), por ser o mais recente, segundo o qual o valor de energia embutida por unidade de área numa edificação brasileira construída segundo padrões definidos na norma da ABNT NBR 12721 de 1999 (tendo em conta as fases

de produção de materiais de construção, o transporte e o desperdício na construção) totaliza 3,940 GJ/m². De acordo com o mesmo estudo, e conforme apresentado na figura 28, o piso, a cobertura e a alvenaria são os elementos construtivos com maior peso, representando 73,9% da energia embutida na edificação. Ainda referindo os mesmos autores num estudo de 2005, o valor da energia embutida nas edificações em 2002 totalizou 40% da energia consumida no setor residencial.

Figura 28 – Energia Embutida por partes da Edificação

Fonte: Tavares e Lamberts, 2006

Relativamente aos materiais de construção em particular, conforme visto no capítulo 2, a sua energia embutida depende em parte do seu processo produtivo e do nível de eficiência da fábrica que o produz. Cabe destacar, com base na estimativa de Tavares e Lamberts (2006), e conforme apresentado na tabela 19, que materiais como o cimento, aço e cerâmica respondem por 80% da energia embutida nas edificações residenciais. Os referidos materiais são produzidos por indústrias intensivas em energia cuja participação no consumo final de energia, considerando os consumo da indústria de cimento, ferro gusa e aço e cerâmica, foi de 10,4% a nível nacional e 6,8% no Estado de São Paulo tendo em conta dados para o ano de 2009. Quando considerado o consumo de energia elétrica as mesmas indústrias consumiram 6,5% do total nacional e 5,4% do consumo do Estado de São Paulo (BEN, 2010; BEESP, 2010). Embora a produção de aço, cimento e cerâmica não seja inteiramente absorvida pelo setor de edificações, parece realista supor que uma parcela importante seja consumida por este setor.

Tabela 19 – Participação de Materiais de Construção no valor de Energia Embutida numa Edificação

Materiais	Participação no valor de Energia Embutida
Cimento Portland	45%
Tijolo 8 furos (10x20x20 cm)	19%
Aço CA 20 ^A D=12,5 mm	16%
Chapa compensado resinado 17 mm	4%
Telha ondulada fibrocimento esp.= 6 mm	3%
Azulejo Branco (15x15 cm)	2%
Cerâmica Esmaltada (7,5 x 15 cm)	1%
Fio termoplástico área = 1,5 mm	2%
Basculante de ferro (60x100 cm)	1%
Outros (16)	6%
Total	100%

Fonte: Adaptada de Tavares e Lamberts, 2006.

Um segundo tema com impacto ao nível da energia embutida nos materiais de construção é a energia gasta no seu transporte, que deverá incluir desde o transporte das matérias primas até ao local de produção, até ao transporte dos materiais desde o local de fabrico e venda até ao local da construção do edifício. Trata-se de um tema complexo, já que a energia gasta no transporte depende de um conjunto de fatores tais como a distância percorrida, o tipo de veículo utilizado para o transporte e a sua eficiência energética, e o tipo de combustível ou de fonte energética utilizados pelo veículo. O estudo detalhado de cada tema sai fora do escopo da presente dissertação. Dessa forma, apresentam-se apenas alguns dados que se consideram relevantes na caracterização do panorama dos transportes no Brasil e no Estado de São Paulo.

De acordo com EPE (2011), o setor dos transportes representou cerca de 31,0% do consumo de energia primária nacional, dos quais 92% em resultado do transporte rodoviário. Já os transportes ferroviário, dutoviário e aéreo contribuíram com valores de 1%, 2% e 5% respectivamente. A figura 29 apresenta a matriz de transportes brasileira de acordo com dados da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT, 2005), segundo a qual o transporte rodoviário apresenta o maior peso com 58%, seguido do ferroviário com 25%. Os transportes aquáticos e dutoviários e aéreos, representam, respectivamente 14% e 4% dos transportes nacionais. O cenário para o Estado de São Paulo, em 2000, apresentado na figura 30, revela

que o transporte rodoviário assume uma posição ainda mais relevante com um peso de 93,1% do total de carga transportada, longe do segundo modal, a ferrovia, responsável apenas por 5,2%. A hidrovia, dutovia e transporte aéreo responderam por 0,5%, 0,8% e 0,3% do total de carga transportada.

Figura 29 – Matriz de Transportes Brasileira

Fonte: ANTT, 2005

Figura 30 – Participação dos Modais na Matriz de Transportes de Carga do Estado de São Paulo em 2000

Fonte: SÃO PAULO (ESTADO), 2005

Apesar de cada modal apresentar especificidades que o tornam mais ou menos adequado para determinado tipo de transporte ou de mercadoria, o transporte rodoviário de cargas para grandes distâncias revela-se uma opção com elevado custo energético pela sua baixa capacidade de carga (quando comparado por exemplo com o ferroviário) e elevado consumo energético, que resulta em elevados valores de energia embutida por unidade de carga transportada. Kojima e Ryan (2010) aconselham como meta política para melhoria da

eficiência energética nos transportes, a mudança do modal rodoviário, no transporte de cargas, para modais menos intensivos em energia tais como o ferroviário. A mesma fonte destaca que os benefícios superam significativamente os custos.

Relativamente às distâncias percorridas, cabe realçar que o Brasil é um país de dimensões continentais, e como tal é expectável que as mercadorias percorram grandes distâncias entre os centros de produção e os de consumo. Para além disso, os fenómenos de globalização permitiram que o comércio de mercadorias ganhasse dimensão internacional. Desta forma as distâncias percorridas por mercadorias podem ser tão grandes quanto as relações comerciais que se estabeleçam entre países.

Um terceiro tema impactante na energia embutida nas edificações são os resíduos e desperdício da indústria da construção civil. De acordo com Sinduscon-SP (2005) a produção de resíduos na construção no município de São Paulo totalizou em 2003, 17240 ton/dia, correspondendo a 55% da geração de Resíduos Sólidos Urbanos. Este valor está em parte relacionado com o desperdício que se gera no canteiro de obra. Relativamente a este tema, destaca-se o estudo *Perdas de Materiais nos canteiros de obras* de Agopyan et al. (1998), que apresenta resultados de uma pesquisa envolvendo 69 canteiros de obras em 12 Estados do Brasil. Conforme se pode observar da tabela 20, os valores de perdas variam de material para material mas são, em geral, significativos e não desprezáveis.

Uma forma de reduzir o impacto dos resíduos da construção civil é promover a sua reciclagem. Já existe atualmente legislação nacional e estadual bem como normas técnicas da ABNT no sentido de organizar o setor para a correta gestão de resíduos com vista ao seu reaproveitamento e reciclagem (Resolução CONAMA nº307 de Julho 2002, Resolução SMA nº41 de Outubro de 2002, ABNT NBR 15112, ABNT 15113, ABNT 15114, entre outras). Também o Sistema de Qualificação de Empresas de Serviços e Obras (SIQ – Construtoras), do PBQP-H, prevê, em seu escopo, a necessidade da consideração dos impactos no meio ambiente dos resíduos sólidos e líquidos produzidos pela obra (entulhos, esgotos, águas servidas), definindo um destino adequado para os mesmos, como condição para qualificação das construtoras no nível “A”. A falta de observância desses requisitos poderá resultar na restrição ao crédito oferecido por instituições financeiras que exigem tal qualificação como critério de seleção para seus tomadores de recursos.

Tabela 20 – Indicadores de Perdas por serviço

Materiais	Media	Mediana	Mínimo	Máximo
Concreto Usinado	10	8	2	23
Aço	12	8	-31	134
Blocos	18	11	1	83
Eletrodutos	18	16	5	44
Condutores	21	19	0	39
Tubos	29	11	-58	486
Placas Cerâmicas – Piso	22	19	5	78
Placas Cerâmicas – Paredes	16	13	-1	50
Placas Cerâmicas - Fachada	12	13	5	19
Revestimento Têxtil	14	14	14	14
Gesso	45	30	-14	120
Tinta – Pintura Interna	14	24	-5	24
Tinta Pintura Externa	15	15	13	17
Arg. Ind. Chapisco	21	21	14	29
Arg. Ind. Emboço	99	90	5	209
Arg. Ind. Reboco	13	13	13	13
Arg. Ind. Contrapiso	42	42	36	47

Fonte: Agopyan et al., 1998

Um último tema que cabe referir é a energia que é desperdiçada no processo de produção e transporte da energia consumida nas edificações brasileiras. Com base no Balanço Energético Nacional referente ao ano de 2010 (EPE, 2011) as perdas de energia primária face ao total de energia consumida para fins energéticos representaram no total 3,8%³⁸. Cabe destacar que quando consideradas apenas as perdas relativas ao consumo de eletricidade, este valor ascendeu a 21,9%. Conforme visto, a fonte energética com maior peso no consumo energético do setor residencial do Estado de São Paulo é a energia elétrica, o que permite supor que o setor tem uma participação elevada no valor das perdas energéticas contabilizadas.

Os dados de consumo direto e indireto apresentados demonstram que o setor das edificações, e em particular o setor Residencial é responsável por uma parcela muito significativa do consumo energético do Estado e do Município de São Paulo, com destaque

³⁸ Inclui perdas na transformação, distribuição e armazenagem inclusive energia não aproveitada, rejeição e ajustes.

para o consumo de energia elétrica. Relativamente ao consumo indireto sugere-se que o setor das edificações é responsável por uma parcela do consumo energético no Estado e Município de São Paulo maior que os valores oficialmente publicados. Em relação à energia elétrica parece realista supor que o peso dos edifícios no consumo ao nível do Estado ultrapasse os 50%.

4.2.3 Tendências futuras

Além do atual cenário de elevado consumo energético no setor de edificações do Município de São Paulo, a presente pesquisa diagnosticou três tendências futuras que apontam no sentido do contínuo aumento desse consumo. Em primeiro lugar refere-se o *crescimento econômico* que o Brasil atravessa que se reflete numa maior disponibilidade de renda por parte das famílias. Com efeito, a análise de dados do SEADE (2011) relativos à evolução do PIB do Estado de São Paulo entre 1997 e 2007 e entre 2002 e 2007, a preços constantes de 2002, revela uma taxa de crescimento anual de 2,4% e de 4,1% respectivamente, valores que comprovam o crescimento econômico do Estado nesse período. A correlação histórica existente entre crescimento econômico e consumo de energia resulta de um conjunto de fatores tais como o processo de industrialização, maior disponibilidade de rendimento por parte das famílias e o próprio processo de urbanização (WBSCD, 2008).

Dados relativos à venda de novas residências e de eletrodomésticos parecem comprovar tal afirmação. Conforme referido, o consumo energético do setor residencial está diretamente relacionado com a operação de eletrodomésticos dentro dos edifícios e indiretamente com a própria construção das edificações. A figura 31 mostra que a venda de edifícios residenciais na cidade de São Paulo, avaliada em número de imóveis e respectivo valor, teve crescimento contínuo no período de 2004 a 2010, com exceção do ano de 2008. Vale destacar que a taxa de crescimento do número de imóveis residenciais vendidos na Cidade São Paulo no referido período foi de 9% ao ano, valor que sobe para 16% quando calculado a partir do valor de venda desses imóveis.

Figura 31 - Venda de Edifícios Residenciais Novos na Cidade de São Paulo

Fonte: Secovi, 2011

Também no caso dos eletrodomésticos, os dados coletados e apresentados na figura 32, revelam um contínuo aumento do número de famílias com aparelhos eletrodomésticos entre 2002 e 2008. No caso de geladeiras, máquina de lavar a roupa e computador, as taxas de crescimento anuais no período estudado, calculadas a partir de dados do IBGE, foram de 2,4%, 5,5% e 14,9% respectivamente,

Figura 32 - Evolução do Numero de domicílios com aparelhos eletrodomésticos

Fonte: IBGE, 2011.

A evolução da área construída comprova o dinamismo do mercado imobiliário e da construção resultante do contexto econômico do país. De acordo com a figura 33, onde constam dados da empresa de consultoria ITC, o crescimento da área construída no setor

residencial brasileiro entre os anos de 2007 e 2010 situou-se nos 37%, ao ano, sendo que cerca de 60% das obras se localizam na região Sudeste. O aumento do número de edifícios impacta no crescimento do consumo de energia no setor residencial mais uma vez pelo próprio processo de construção das edificações e sua ocupação.

Figura 33 - Evolução da área construída no setor residencial

Fonte: ITC, 2011.

Uma segunda tendência com impacto ao nível do consumo energético do setor de edifícios é o *crescimento populacional*. O Brasil e em particular o Estado de São Paulo, apresentam taxas positivas de crescimento populacional o que deverá resultar em demanda de novas construções e consequente estímulo ao setor da construção. A análise de dados do SEADE, revela que a população do Estado de São Paulo tem crescido a uma taxa anual de 1,2% entre 1999 e 2008, o que representa um aumento demográfico de cerca de 4 milhões de pessoas. O município de São Paulo, em particular, apresenta crescimento mais moderado com uma taxa de 0,75% entre 2001 e 2008. Na medida em que, ainda com base em dados do SEADE (2011), o município em estudo apresentava um grau de urbanização de 99,1% em 2010, o crescimento populacional, aparentemente baixo, dá-se majoritariamente em áreas urbanas cujo impacto ao nível do consumo de energia é elevado. Com efeito, um estudo do Banco Mundial (2003 *apud* WBCSD, 2008) refere que o aumento de 1% na população urbana, traduz-se num aumento de 2,2% na demanda de energia. Dados relativos ao Estado de São Paulo confirmam esta afirmação na medida em que o consumo de energia elétrica estadual apresentou uma CAGR de 5,2% no período de 2002 a 2008 (BEESP, 2010), valor bastante superior à taxa de crescimento populacional para o mesmo período.

Como última tendência refere-se o crescimento de novas residências consequente dos *Programas Habitacionais do Governo* implantados com objetivo de reduzir o déficit populacional. Atendendo aos dados da Secretaria de Habitação do Estado de São Paulo, em 2006 o déficit habitacional³⁹ totalizava 1217550 domicílios, ou seja, 10,4% do total de domicílios do Estado. A este valor juntam-se os domicílios classificados como inadequados⁴⁰ que avaliados em 2683655 ou 22,9% de todos os domicílios do território. No que se refere particularmente ao Município de São Paulo, de acordo com o Plano Municipal de Habitação, cujo objetivo é acabar com o déficit habitacional, a necessidade de novas moradias, para famílias até 6 salários mínimos, até 2024 é de 840030 unidades, valor resultante de um déficit habitacional avaliado em 133296 moradias em 2009 e das novas necessidades habitacionais estimadas em 706734 unidade para o referido horizonte temporal.

Ainda no que diz respeito ao futuro no setor de edificações no Município de São Paulo, é interessante destacar a existência de um elevado estoque de edifícios tecnologicamente ultrapassados cujo nível de eficiência energética poderia ser melhorado com ações de *retrofitting*. As vantagens do *retrofit* face a uma nova construção prendem-se com a possibilidade de concluir o processo em menos tempo e permitir a ocupação de áreas mais nobres nos centros urbanos. O setor comercial registra a maior demanda por este tipo de ação pois tende a valorizar o conforto do ambiente e a redução dos gastos com sistemas artificiais de climatização e iluminação. De acordo com “*A Folha de São Paulo*” a cidade de São Paulo tem um estoque de 9,7 milhões de metros quadrados úteis de escritórios, e quase metade desse total (47%) apresenta bom potencial para *retrofit*. Este potencial representa 85% na área central da cidade. A aposta em ações de *retrofitting* pode representar um contributo importante para a redução das necessidades de novas construções no Estado e redução do consumo operacional de edifícios obsoletos.

As tendências atuais e futuras diagnosticadas no segmento de edifícios deverão resultar num aumento do consumo direto e indireto de energia no setor. Por um lado a dinâmica do mercado imobiliário juntamente com os planos habitacionais do governo em curso deixam antever um cenário de elevado número de novos edifícios no Município de São Paulo para os próximos anos, o que, conforme visto, acarreta um consumo energético elevado consequente do próprio processo de construção e da produção e transporte dos materiais necessários. Por outro lado, o crescimento no número de edificações aliado a maiores gastos familiares com equipamentos eletrônicos impacta num crescimento do consumo direto de

³⁹ Definido como o número de moradias que requerem substituição (por se situarem em favelas ou áreas de risco).

⁴⁰ Inclui as moradias com carências diversas que podem ser solucionadas com ações corretivas.

energia.

4.3 O Código de Obras e Edificações: requisitos de eficiência energética

A lei municipal nº11228, de 25 de junho de 1992, aprova o Código de Obras e Edificações, que “dispõe sobre as regras gerais e específicas a serem obedecidas no projeto, licenciamento, execução, manutenção e utilização das obras e edificações, dentro dos limites dos imóveis, no Município de São Paulo” (SÃO PAULO (SP), 1992a). Na sequência da aprovação do Código de Obras e Edificações (COE), foi publicado o Decreto nº32329, de 23 de Setembro de 1992, que o regulamenta e dá outras providências (SÃO PAULO (SP), 1992b).

De acordo com a Lei Orgânica Municipal, a Lei Fundamental do Município de São Paulo, conforme definido no artigo 13 a aprovação do COE é responsabilidade da Câmara Municipal que detém o poder legislativo e, conforme artigo 40, depende da maioria absoluta dos membros da Câmara. Também com base na Lei Orgânica do Município, o artigo 56 estabelece que a execução do COE está sob a responsabilidade do prefeito, auxiliado pelos Secretários Municipais e pelos Subprefeitos:

[...]

Art. 13 - Cabe à Câmara, com sanção do Prefeito, não exigida esta para o especificado no artigo 14, dispor sobre as matérias de competência do Município, especialmente: (Alterado pela Emenda 05/91)

[...]

Art. 40 - A discussão e votação de matéria constante da Ordem do Dia só poderá ser efetuada com a presença da maioria absoluta dos membros da Câmara.

§ 3º - Dependerão do voto favorável da maioria absoluta dos membros da Câmara a aprovação e as alterações das seguintes matérias:

II - Código de Obras e Edificações e outros Códigos;

[...]

Art. 56 - O Poder Executivo é exercido pelo Prefeito, auxiliado pelos Secretários Municipais e pelos Subprefeitos.

Com efeito a execução do processo de licenciamento de novas edificações está sob responsabilidade da Secretaria Municipal de Habitação (SEHAB), em particular do Departamento de Aprovação de Edificações (APROV), ou das Subprefeituras, em função do tipo de edificação.

No capítulo 1 do COE, encontra-se definido o seu objetivo, a saber

Este Código disciplina, no Município de São Paulo, os procedimentos administrativos e executivos, e as regras gerais e específicas a serem obedecidas no projeto, licenciamento, execução, manutenção e utilização de obras, edificações e equipamentos, dentro dos limites do imóvel em que se situam, inclusive os destinados ao funcionamento de órgãos ou serviços públicos, sem prejuízo do disposto nas legislações estadual e federal pertinentes, no âmbito e suas respectivas competências.

Da definição acima apresentada, resulta que o documento define os requisitos a que os projetos de edificações deverão obedecer. Da análise do COE, verifica-se que nos capítulos apresentados no documento não se encontra nenhum capítulo especificamente dedicado à questão do desempenho térmico das edificações e seu consumo energético. Contudo, cabe destacar alguns artigos e capítulos do COE, merecedores de discussão no âmbito do tema em foco.

Em primeiro lugar, no artigo 17 do COE, fica definido que:

Art.17 O Executivo regulamentará a presente lei no prazo de 90 (noventa dias).

Parágrafo Único – O Executivo fixará as Normas Técnicas Oficiais, ou emanadas da autoridade competente, a serem observadas no projeto e execução das edificações conforme expressamente previsto nas disposições desta lei ou sempre que sua aplicação seja conveniente

De acordo com o ponto 1.2 “Siglas e Abreviaturas”, estão incluídas nas Normas Técnicas Oficiais as normas registradas na ABNT. A regulamentação do Art.17 do COE, pelo Art.27 do decreto 32.329, define que deverá ser observado o atendimento a uma lista de normas devidamente identificadas. Da lista apresentada, considerou-se relevante destacar as seguintes :

- *Norma 6401 – Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto – Parâmetros Básicos de Projeto.* Norma que já não está em vigor e foi substituída pela norma ABNT NR 16401: Instalações de Ar condicionado Sistemas Centrais e Unitários: 2008, parte 1, parte 2 e parte 3. A norma atualmente em vigor, conforme apresentado no capítulo 3.4, além de dedicar um ponto a requisitos com vista à conservação de energia, define parâmetros de conforto térmico para os usuários a serem atendidos e dá orientações com vista ao dimensionamento adequado do sistema de ar condicionado.
- *Norma 7202 – Desempenho de Janelas de Alumínio em Edificações de Uso Residencial.* A norma já não está em vigor mas foi substituída pela norma ABNT NBR 10821:2011, - *Esquadrias Externas para Edificações.* O novo documento contempla esquadrias de alumínio, madeira, aço ou PVC,

padronizadas ou especiais e está dividido em 5 partes das quais estão em vigor as 3 primeiras: terminologias; requisitos e classificação; métodos de ensaio. Das partes não publicadas, destaca-se a parte 4 que focará requisitos de desempenho adicionais em particular o desempenho térmico e acústico.

As restantes normas da ABNT, em particular as normas ABNT NBR 15220 e ABNT NBR 15575, que focam o desempenho térmico das edificações, uma vez que não se encontram referenciadas no decreto regulamentar, não apresentam caráter de lei e o seu cumprimento não é obrigatório no âmbito do licenciamento de edificações.

Em segundo lugar, na seção 9 do capítulo I do COE, intitulada *Componentes – Materiais, Elementos Construtivos e Equipamentos* são definidas exigências de desempenho genéricas remetendo ao projetista a responsabilidade da obtenção de um desempenho adequado seguindo as Normas Técnicas Oficiais. Em particular transcreve-se o ponto 9, onde fica definido que:

Os componentes básicos da edificação, que compreendem fundações, estruturas, paredes e cobertura, deverão apresentar resistência ao fogo, isolamento térmico, isolamento e condicionamento acústicos, estabilidade e impermeabilidade adequados à função e porte do edifício, de acordo com as N.T.O (Normas Técnicas Oficiais), especificados e dimensionados por Profissional Habilitado.

Relativamente a este ponto fica ainda estabelecido através do Decreto nº 32.329 de 23 de Setembro de 1992 que:

As fundações, estruturas, paredes, pisos, revestimentos e cobertura deverão apresentar resistência ao fogo, isolamento térmico, isolamento e condicionamento acústico e impermeabilidades adequados à função e porte do edifício de acordo com as Normas Técnicas Oficiais.

Atendendo a que as normas técnicas enumeradas no art.27 do decreto 32.329, não focam o isolamento térmico, o COE não define requisitos obrigatórios relativamente às propriedades térmicas dos materiais dos componentes da edificação.

Cabe referir que apesar do conforto higrotérmico dos usuários não ser alvo de uma seção específica, na seção 10 intitulada *Implantação, Aeração e Insolação das edificações* o COE define requisitos com vista à qualidade de vida das edificações vizinhas e à higiene e salubridade dos compartimentos da edificação a ser construída. Em particular destaca-se o ponto 10.2 *Dispositivos para atendimento da aeração e insolação*:

Observados os mínimos previstos nesta lei, a aeração e a insolação naturais poderão ser proporcionadas por:

- a) recuos obrigatórios previstos na LPUOS⁴¹;
- b) áreas livres internas do lote;
- c) espaço dos logradouros;
- d) faixa livre de aeração “A”;
- e) aeração induzida;
- g) alternativa natural que comprovadamente garanta desempenho, o mínimo, similar ao obtido quando atendidas apenas as disposições gerais desta lei”;
- (...)

As aberturas destinadas à aeração e insolação dos compartimentos deverão estar voltadas para os espaços de aeração de insolação correspondentes.

A volumetria da edificação determinará os afastamentos necessários à aeração e insolação, na dependência da altura (...).

Ainda relativamente ao conforto higrotérmico, refere-se seção *II – Compartimentos* que define requisitos a que os ambientes devem obedecer a fim de proporcionar as devidas condições de utilização aos usuários da edificação. A saber:

Os compartimentos e ambientes deverão ser posicionados na edificação e dimensionado de forma a proporcionar conforto ambiental, térmico, acústico, e proteção contra a umidade, obtidos pelo adequado dimensionamento e emprego dos materiais das paredes, cobertura, pavimento e aberturas, bem como das instalações e equipamentos”.

Com vista ao objetivo acima definido, o decreto 32.3329 define na tabela 11A requisitos mínimos de dimensionamento e aberturas. Conforme visto no capítulo 2, edificações que proporcionem conforto térmico aos seus usuários de forma passiva são energeticamente mais eficientes dadas as menores necessidade de gastos energéticos com sistemas de condicionamento ambiental. Contudo, cabe destacar que os requisitos apresentados estão essencialmente relacionados com a saúde dos usuários, em particular a aeração e dimensionamento mínimos para disponibilidade e renovação do ar.

Cabe ainda destacar que em 2007, por aprovação do da Lei 14.459 de 3 de Julho de 2007, regulamentada pelo Decreto 49.148 de 21 de Janeiro de 2008, foi acrescentado ao ponto 9.3 (Instalações Prediais) exigências que tornam obrigatório para as novas edificações, residenciais e não residenciais, a previsão de instalações destinadas a receber sistemas de aquecimento de água por meio do aproveitamento da energia solar (SÃO PAULO (SP), 2007). Desde que tecnicamente viável, o Sistema de Aquecimento Solar instalado deve atender no mínimo 40% de toda a demanda anual de energia necessária para aquecimento de água sanitária e água de piscina. Adicionalmente os equipamentos instalados deverão ter

⁴¹ Legislação de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo

eficiência comprovada através da etiqueta do INMETRO de acordo com os regulamentos específicos aplicáveis do Programa Brasileiro de Etiquetagem (SÃO PAULO (SP), 2008).

5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Nos capítulos anteriores foram tratados três temas que tiveram como objetivo reunir dados e informações tendo em vista a resposta à questão central definida no início do presente trabalho e o objetivo central, a saber:

1. Os fatores que explicam o consumo energético das edificações e as estratégias disponíveis para promover um maior nível de eficiência energética no setor;
2. Os instrumentos regulatórios existentes para promoção de eficiência energética em edificações, com destaque para o Código de Obras;
3. Caracterização do consumo energético das edificações no município de São Paulo e diagnóstico de tendência futuras bem como análise dos requisitos de eficiência energética incluídos no atual COE;

No presente capítulo apresentam-se e discutem-se os resultados da pesquisa. Considerou-se conveniente dividir o capítulo em quatro tópicos: os primeiros três dedicados à discussão e comentário dos capítulos anteriores e a última com vista à apresentação dos resultados que respondem diretamente ao objetivo central da presente pesquisa.

- *Consumo Energético de Edificações*

Relativamente ao primeiro tema, apresentado no capítulo 2, cabe reforçar que o consumo energético de uma edificação deve ser avaliado numa perspectiva de ciclo de vida, a fim de captar, por um lado, o consumo direto de energia resultante da ocupação da edificação e, por outro lado, o consumo indireto que inclui a energia embutida nos materiais de construção pela sua produção e transporte, a energia gasta na construção do edifício, fornecimento de serviços de energia e de saneamento, entre outras parcelas. Quando o objetivo é reduzir o consumo de energia com vista à poupança de recursos e minimização da necessidade de expansão dos sistemas energéticos, de pouco serve conceber uma edificação que apresenta baixo consumo operacional, se, para esse fim, os materiais nela empregues implicaram um elevado consumo energético. Nesse sentido é necessário promover uma visão abrangente e integrada da eficiência energética nas edificações que resulte em real redução do consumo de recursos energéticos.

O consumo energético operacional (também chamado de consumo direto) de uma edificação resulta, por um lado, do uso de equipamentos que atuam sobre as variáveis ambientais (temperatura e umidade) a fim de criar condições ambientais de conforto térmico e visual aos seus usuários e, por outro lado, dos equipamentos utilizados pelos usuários nas diversas atividades que ocorrem dentro das edificações. De forma a minimizar esse consumo é fundamental, em primeiro lugar, projetar e construir edificações que tirem partido das características climáticas locais, proporcionando conforto térmico e visual de forma passiva (estratégias bioclimáticas). Para tal, os projetistas podem recorrer a um conjunto de variáveis arquitetônicas tais como a exposição solar, as propriedades térmicas e óticas dos materiais da envoltória do edifício, os elementos da vegetação, a dimensão de aberturas, entre outras. Em segundo lugar faz-se necessário escolher equipamentos com elevado nível de eficiência energética que permitam o condicionamento ambiental e a execução das atividades inerentes à função de cada edificação com baixo consumo de energia.

Atendendo aos fatores que explicam o consumo operacional, o papel dos projetistas, em particular dos arquitetos, engenheiros e outros profissionais envolvidos no processo de concepção e construção de uma edificação é fundamental. Igualmente importante é o papel dos próprios usuários da edificação cujos hábitos são, em última instância, a variável mais impactante no consumo de uma edificação. Com efeito, uma edificação com excelente desempenho térmico e bom aproveitamento da luz natural, apresentará um elevado consumo operacional de energia caso os seus ocupantes optem por trabalhar com luz artificial e de janelas abertas. Desta forma, é importante, por um lado, educar a população com vista à promoção da eficiência energética enquanto critério de escolha de equipamento e à adoção de hábitos que minimizem o desperdício de energia e, por outro lado, promover um marco regulatório que oriente os profissionais do setor da construção a conceber edificações de qualidade que proporcionem as adequadas condições de conforto com baixo uso de energia.

Quanto ao consumo indireto de energia, faz-se importante destacar que se trata de uma variável complexa cuja minimização envolve tanto opções do projetista e/ou construtor (tais como a escolha de materiais com baixo valor de energia embutida e de fornecedores próximos ao local de construção), como o desenvolvimento de políticas públicas dirigidas aos diversos setores económicos, em particular aos setores energético, de transportes e industrial. Incluem-se nesta última opção políticas de planeamento da expansão do setor de oferta de energia, como a escolha de fontes de energia primária e respectivas tecnologias com elevados fatores de conversão e baixo desperdício, o planeamento do setor de transportes investindo em

modais com maior eficiência energética por unidade de carga transportada, opções tecnológicas das indústrias, entre outras medidas. Para que tal aconteça, a curto e médio prazo, é necessário que a eficiência energética seja assumida como um objetivo prioritário e transversal às estratégias governativas.

Apesar das reconhecidas vantagens econômicas, ambientais e sociais da eficiência energética, e das tecnologias e conhecimento técnico existentes para promoção de edifícios de baixo consumo energético, apontam-se um conjunto de barreiras à melhoria da eficiência energética no setor de edificações que deverão ser ultrapassadas com recurso a instrumentos de política pública de promoção de eficiência energética. A literatura consultada destaca os instrumentos regulatórios pela sua efetividade e custo benefício.

- *Instrumentos Regulatórios de Promoção de Eficiência Energética: o Código de Obras*

No capítulo 3, dedicado à regulação energética em edificações, segundo tema explorado pela presente dissertação, definem-se instrumentos regulatórios de eficiência energética em edificações como todos os instrumentos da esfera governamental ou privada que estabelecem *standards* ou padrões de consumo energético para as edificações. Tratam-se de documentos que fornecem referências aos profissionais do setor e constituem uma leitura das práticas e soluções que devem ser adotadas, permitindo orientar o setor de edificações para os objetivos desejados.

De entre os diversos tipos de instrumentos regulatórios com vista à promoção da eficiência energética em edifícios destacam-se os Códigos de Eficiência Energética para Edificações (CEEE), definidos na literatura como um conjunto explícito de requisitos mínimos que fazem parte de uma lei (federal, estadual ou local) e são associados a procedimentos de conformidade. Em termos formais, os CEEE podem ser implantados como um documento independente ou fazer parte do Código de Obras, definido como uma coleção de leis, regulamentos, ordenações ou outras exigências legais adotadas por uma autoridade governamental legislativa que visa estabelecer requisitos às edificações relativamente a um conjunto de temas tais como desempenho estrutural, condições sanitárias, entre outros.

A concepção de um CEEE compreende diversos passos, nomeadamente: a fase de *elaboração* que implica decidir quais os edifícios abrangidos, os requisitos a serem incluídos, os métodos de determinação da conformidade, e a obrigatoriedade; as fases de *implementação e execução* que têm como objetivo garantir que os edifícios construídos estão em

conformidade com o CEEE e dizem respeito ao arranjo institucional necessário e às formas de fiscalização; a fase de *revisão/atualização* que deverá garantir que o CEEE acompanha a evolução tecnológica e as mudanças de mercado.

Da literatura consultada, apontam-se um conjunto de vantagens e desvantagens relativamente à inclusão de requisitos de eficiência energética no Código de Obras. Relativamente às vantagens, cabe referir: a sua abrangência (aplica-se quer a novas edificações quer a edificações existentes que passem por reformas ou ampliação); a obrigatoriedade que acelera a adoção pelo mercado; o fato de definir requisitos desde a fase de projeto, quando os custos de inclusão de requisitos de eficiência energética são mais fáceis de executar e apresentam maior rentabilidade; trata-se de um instrumento com um processo de fiscalização já implementado e conhecido pelo mercado. Das desvantagens referidas na literatura destacam-se: o grau de exigência deverá ser baixo de forma a ser exequível por todos os tipos de edificações abrangidas sem por em causa a sua viabilidade econômica; a sua eficácia e efetividade dependem fortemente do processo de fiscalização, sem o qual os níveis de conformidade podem resultar muito baixos; os requisitos são muitas vezes assimilados pelo mercado como o objetivo a ser atingido, não promovendo que as edificações excedam os valores definidos.

Para além do estudo efetuado sobre as características do Código de Obras enquanto instrumento regulatório de eficiência energética em edificações, considerou-se importante caracterizar o cenário mundial no que se refere à adoção de Códigos de Eficiência Energética para Edificações e apresentar o caso específico da União Europeia e de alguns países, em particular os Estados Unidos da América, Austrália, Índia, China, Japão, Chile, Argentina, México e Venezuela. Considera-se importante referir que a amostra estudada não foi definida com a finalidade de ser representativa do cenário mundial, mas sim, a de incluir países com realidades distintas: países com marco regulatório avançado, países com semelhanças climáticas com o Município de São Paulo, países emergentes, e países da América latina.

Os casos de estudo apresentados foram analisados com o objetivo de subsidiar o desenvolvimento do marco regulatório brasileiro no que concerne ao consumo energético de edificações. Nesse sentido, foram pesquisados dados relativos a um conjunto de tópicos sobre os CEEE em vigor nesses países que se apresentam na tabela 21: setor(es) em foco; escopo; relação com o código de obras; custo; tipo de requisitos incluídos; método de conformidade; responsabilidade pelo desenvolvimento do CEEE; responsabilidade pela implementação e execução do CEEE; obrigatoriedade. Dos resultados obtidos vale realçar:

- Todos os países analisados têm em vigor algum tipo de instrumento regulatório com vista ao controle do consumo energético das edificações, cujas características permitem a sua classificação como Código de Eficiência Energética para Edificações;
- 90% dos CEEE analisados focam quer o setor residencial quer o setor comercial, contra 10% (Chile) que foca apenas o setor residencial;
- 80% dos CEEE da amostra em estudo constituem um documento independente do Código de Obras. Apenas a Austrália e o Chile optaram por incluir os requisitos de eficiência energética dirigidos a edificações nos seus códigos de obras;
- Relativamente à obtenção do documento, resulta da análise efetuada que em 40% dos casos, a mesma pode ser efetuada de forma gratuita e em 30% dos casos implica um pagamento. Nos restantes casos (Japão, China e Índia) não foi possível obter informações conclusivas;
- Quanto ao tipo de sistemas prediais regulados, é interessante notar que a envoltória (piso e/ou cobertura e/ou paredes externas e/ou janelas, etc.) é alvo de medidas em 100% dos casos, seguida do sistema de condicionamento de ar (80%) e aquecimento de água (70%);
- Da amostra analisada, 50% dos CEEE colocam à escolha dois métodos de conformidade (um de natureza prescritiva e outro baseado no desempenho da edificação). No que diz respeito particularmente à América Latina, apenas o Chile oferece só a opção prescritiva, enquanto nos restantes países (México, Argentina e Venezuela) o método escolhido é de natureza mista (atrás designado de “Método de Desempenho Parcial”), tal como no caso da União Européia;
- 90% dos países estudados optaram por deixar sob responsabilidade pública o desenvolvimento do CEEE (todos com exceção do EUA);
- No que concerne ao tópico sobre implementação e execução, cabe referir que em 70% dos casos o processo é de responsabilidade de entidades públicas (governamentais) e em 30% dos casos (União Européia, China e México) verifica-se o envolvimento dos privados no processo;
- O último tópico analisado revela que 60% dos CEEE apresentados é de natureza obrigatória e que, dos 40% implementados de forma voluntária a nível nacional (ou federal), 80% são obrigatórios em alguma(s) jurisdição(ões).

Tabela 21 – Resultados da análise de casos de estudo

Setor			
Residencial	Chile		
Comercial			
Ambos	UE	China	Argentina*
	EUA	Japão	Venezuela*
	Austrália	México	Índia
*os requisitos não fazem distinção entre o setor residencial e comercial			
Escopo			
Edifícios Novos			
Edifícios Existentes			
Ambos	UE	EUA	Austrália
	Índia	Japão	China
	México	Chile	Argentina
	Venezuela		
CEEE face ao Código de Obras			
Independente	UE	China	Argentina
	EUA	Japão	Venezuela
	Índia	México	
Incluído	Chile	Austrália	
Custo*			
Gratuito	UE	Chile	México
	Venezuela		
Pago	EUA	Austrália	Argentina
* Não foi possível esclarecer os casos da China, Índia e Japão			

continua....

continuação

Tabela 21 – Resultados da análise de casos de estudo

Requisitos			
Envoltória	UE	China	Argentina
	EUA	Japão	Venezuela
	Austrália	México	
	Chile		
Iluminação	UE	Austrália**	China*
Condicionamento Ambiental	UE	EUA	Japão
	Austrália	China	Argentina
	México	Índia	
Aquecimento de Água	UE	EUA	Austrália
	México	Japão	China*
	Índia		
Sistemas Elétricos	EUA	Índia	
Outros	EUA	UE	Austrália
* Requisitos obrigatórios através de referência a normas			
** Apenas edifícios multiresidenciais			
Método de Conformidade			
Prescritivo	Chile		
Desempenho			
Ambos	EUA	Austrália	Índia
	China	Japão	
Misto	México	Argentina	Venezuela
	U.E		
Desenvolvimento			
Esfera Pública	UE	China	Argentina
	Chile	Japão	Venezuela
	Índia	México	Austrália
Esfera Privada	EUA		

Continua....

Continuação

Tabela 21 – Resultados da análise de casos de estudo

Implementação e Execução			
Esfera Pública	EUA	Austrália	Índia
	Japão	Chile	Argentina
	Venezuela		
Esfera Privada			
Ambos	UE	China	México
Obrigatoriedade			
Voluntário	EUA*	Índia	Japão
	Argentina*	Venezuela*	
Obrigatório	UE	Austrália	China
	Japão**	Chile	México
<p>* Não são obrigatórios a nível nacional. Países com jurisdições onde existe um CEEE obrigatório.</p> <p>** Obrigatório para edificações acima dos 300 m² de área construída</p>			

Fonte: Elaboração própria

Para concluir a análise dos dados apresentados na tabela 21, cabe destacar que todos os países da América Latina incluídos na amostra (Argentina, Chile, México e Venezuela) implantaram requisitos de eficiência energética sob a forma de CEEE a partir do ano 2000, ao contrário dos países analisados pertencentes ao chamado grupo de países desenvolvidos (UE, EUA, Austrália e Japão) para os quais a adoção de CEEE remonta à década de 70 (ou até a datas anteriores como no caso de alguns países europeus), resultado já esperado pela revisão bibliográfica efetuada. Quanto ao universo de países emergentes estudados (Índia e China), verifica-se realidades muito heterogêneas com a China a apresentar um marco regulatório muito mais sofisticado e antigo que a Índia.

Ainda com base nos casos de estudo analisados, efetuou-se um levantamento das exigências estabelecidas pelos diferentes CEEE relativamente às propriedades térmicas das paredes externas, coberturas e janelas verticais. A comparação entre os diferentes países é um processo complexo na medida em que as condições climáticas não são diretamente comparáveis. Nos casos das normas ASHRAE 90.1 2007 e IECC 2012, os próprios documentos fornecem instruções para a classificação climática de localidades fora dos EUA

de acordo com as zonas climáticas consideradas. Para os restantes países, os dados foram selecionados tendo em conta a semelhança climática entre as regiões dos países estudados com o Município de São Paulo, em particular no que diz respeito às temperaturas e necessidades de aquecimento e resfriamento avaliadas em graus-dia (para maior detalhe consultar o apêndice A).

Não foram incluídos dados da União Européia já que o instrumento comunitário em vigor deixa ao critério de cada Estado Membro a definição dos requisitos e, por restrições de tempo, não foi possível incluir na amostra nenhum exemplo concreto. Cabe ressaltar que, em alguns casos, os dados foram colhidos a partir de documentos sobre os CEEE e não diretamente do código, o que pode contribuir para que a informação não esteja completa, constituindo assim uma possível fonte de erro. Também os critérios utilizados para determinação da semelhança climática entre os países e o Município de São Paulo para recolha de dados podem constituir uma fonte de erro na medida em que os climas não sejam diretamente comparáveis.

A compilação dos dados obtidos encontra-se nas tabelas 22, 23 e 24. A análise dos dados dá lugar a um conjunto de observações, das quais se destacam os seguintes pontos:

- Todos os Códigos analisados apresentam limites para o valor da transmitância térmica dos componentes da envoltória (fator-U), tanto no caso dos fechamentos opacos (cobertura e paredes externas) como no caso dos fechamentos translúcidos (janelas verticais);
- No caso das paredes externas e da cobertura, o valor do fator-U depende, em geral, do valor de outras propriedades térmicas ou características da edificação, nomeadamente o percentual de parede na fachada (Venezuela), o valor da absorptância da superfície externa da parede (ABNT NBR 15575 e a Argentina), o tipo de estrutura da edificação (EUA e Japão), o tipo de edifício quanto a ser moradia ou edificação vertical (Austrália, México e EUA);
- Relativamente às janelas verticais, alguns países associam ao valor do fator U, exigências relativamente ao Fator Solar, percentagem de aberturas na fachada e sombreamento;
- Observa-se que as exigências definidas para a cobertura são sempre superiores às das paredes. Tendo em conta a revisão bibliográfica efetuada, tal resultado era esperado na medida em que a cobertura é o elemento opaco da envoltória responsável por maiores trocas térmicas;

- Parece existir uma tendência para definir valores mais exigentes para moradias face aos edifícios verticais multifamiliares, mas os dados não são conclusivos;
- Os países pertencentes aos chamados países desenvolvidos (EUA, Austrália e Japão) apresentam valores de fator-U em ambientes condicionados situados no intervalo entre $[0,08;1,76]$ $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ para paredes externas e entre $[0,03;0,45]$ $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ para cobertura;
- Já os países da América Latina têm em vigor limites de fator-U que variam entre $[0,38; 4,00]$ para as paredes externas e $[0,19-1,15]$ para as coberturas;
- Relativamente às janelas, os valores coletados são muito heterogêneos $[0,4;6,51]$, mesmo entre os países designados por desenvolvidos;

Tabela 22 – Propriedades térmicas exigidas às paredes externas nos CEEE analisados

País/Norma	Paredes externas						
	Transmitância Térmica	Resistência Térmica Total	Absortância	Atraso Térmico	Fator Solar	Índice de Inércia Térmica	Capacidade Térmica
	Fator U Max $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	R_T Min $(\text{m}^2\cdot\text{K})/\text{W}$	α	ϕ	FS	D	CT $\text{KJ}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
ABNT 15575	3,70		$\leq 0,6$				
	2,50		$> 0,6$				≥ 130
ABNT 15220	3,60			$\leq 4,3$	$\leq 4,0$		
Programa Nacional de Etiquetagem de Edificações (RTQ-R valores para obtenção de nível A e B)	3,70		$\leq 0,6$				
	2,50		$> 0,6$				
Austrália							
<i>Moradia</i>	0,526	1,90					
<i>Vertical</i>	0,714	1,40					
Japão							
<i>Estrutura Cimento Reforçado</i>	1,570/1,760						
<i>Outras</i>	0,530						
EUA (ASHRAE 90.1 2007)							
<i>Estrutura Maciça</i>	0,701/3,293	1,30					
<i>Edifício de Metal</i>	0,642/1,045	2,3/1,1					
<i>Estrutura de Aço</i>	0,365/0,705	2,3+1,3/2,3					
<i>Estrutura de Madeira e outras</i>	0,504	2,30					
EUA (IECC 2012)							
<i>Maciça</i>	0,165						
<i>Outras</i>	0,082						
México							
<i>Até 3 pisos</i>	0,476-0,909						
<i>Mais que 3 pisos</i>	0,556-0,909						
Chile	4,00	0,25					

Continua....

Continuação

Paredes externas							
País/Norma	Transmitância Térmica	Resistência Térmica Total	Absortância	Atraso Térmico	Fator Solar	Índice de Inércia Térmica	Capacidade Térmica
	Fator U Max W/(m ² .K)	R _T Min (m ² .K)/W	α	φ	FS	D	CT KJ/(m ² .K)
Argentina							
<i>Inverno</i>							
<i>A / B / C</i>	0,38/1,00/1,85						
<i>Verão</i>							
<i>A / B / C</i>	0,50/1,25/2,00		0,7±0,1				
<i>A / B / C</i>	0,60/1,50/2,40		≤0,6				
<i>A / B / C</i>	0,43/1,06/1,70		>0,8				
Venezuela	0,64-2,07 (60%-90%)*						
	2,00					≥3	U Cobertura ≤ 1
China	1,50					≥3	D Cobertura ≥ 2,5
	1,00					≥2,5	
	0,70						
Índia							
<i>Uso 24 horas</i>							
<i>Uso durante o dia</i>	0,352	2,350					

* Porcentual de elementos opacos

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 23 – Propriedades térmicas exigidas às coberturas nos CEEE analisados

Cobertura							
País/Norma	Transmitância Térmica	Resistência Térmica Total	Absortância	Atraso Térmico	Fator Solar	Índice de Inércia Térmica	Capacidade Térmica
	Fator U Max W/(m ² .K)	R _T Min (m ² .K)/W	α	φ	FS	D	CT KJ/(m ² .K)
ABNT 15575	2,30		≤0,6				Se ≥150 usar isolamento térmico
	1,50		>0,6				
ABNT 15220	2,00			≤3,3	≤6,5		
Programa Nacional de Etiquetagem de Edificações (RTQ-R valores para obtenção de nível A e B)	2,30		≤0,6				
	1,50		>0,6				
Austrália							
<i>Moradia</i>	0,37	2,70					
<i>Vertical</i>	0,45	2,20					
Japão							
<i>Estrutura Cimento Reforçado</i>	0,37/0,43						
<i>Outras</i>	0,24						

Continua....

Continuação

Cobertura							
País/Norma	Transmitância Térmica	Resistência Térmica Total	Absortância	Atraso Térmico	Fator Solar	Índice de Inércia Térmica	Capacidade Térmica
	Fator U Max W/(m ² .K)	R _T Min (m ² .K)/W	α	φ	FS	D	CT KJ/(m ² .K)
EUA (ASHRAE 90.1 2007)							
<i>Maciça</i>	0,273/1,240	3,5/0,7					
<i>Viga Aço</i>	0,369/0,948	3,3/1,1					
<i>Estrutura de Madeira</i>	0,153/0,459	6,7/2,3					
EUA (IECC 2012)	0,03						
México							
<i>Até 3 pisos</i>							
<i>Mais que 3 pisos</i>	0,476-0,909						
Chile	0,84	1,19					
Argentina							
<i>Inverno</i>							
<i>A/B/C</i>	0,32/0,83/1,00						
<i>Verão</i>							
<i>A/B/C</i>	0,19/0,48/0,76		0,7±0,1				
<i>A/B/C</i>	0,25/0,62/0,99		≤0,6				
<i>A/B/C</i>	0,15/0,38/0,61		>0,8				
Venezuela	0,63-1,15 (80%-100%)*						
	1,00					≥2,5	
China	0,50	(U parede ≤0,7)					
Índia							
<i>Uso 24 horas</i>	0,261	3,500					
<i>Uso durante o dia</i>	0,406	2,100					

* Porcentual de elementos opacos

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 24 – Propriedades térmicas exigidas às janelas verticais nos CEEE analisados

Janelas Verticais					
País/Norma	Transmitância Térmica Máx Fator U W/(m ² .K)	Fator Solar F _S max	% de elementos translúcidos na fachada	Coeficiente de Sombreamento	Sombreamento
Japão					
<i>Janelas +/- 30° Norte</i>	6,51	0,6			
<i>Outras janelas</i>		0,4			
EUA (ASHRAE 90.1 2007)					
<i>Estrutura Não metálica</i>	4,26/ 6,81	0,25	≤40%		Sim
<i>Estrutura Metal</i>					
EUA (IECC 2012)	0,4				
México	5,319		10%	Sim	Sim
Chile					
<i>Vidro Simples</i>			≤ 50%		
<i>Vidro Duplo Hermético</i>	3,6		≤ 60%		
	2,4		≤ 80%		
Venezuela	5,91		10% - 40%	Sim	Sim
Argentina	4,0				
China					
<i>U_{parede} ≤ 2</i>	2,00-4,00				
<i>U_{parede} ≤ 1,5</i>	2,00-6,50		0 - 45%	0,2 - 0,9	
<i>U_{parede} ≤ 1</i>	2,50-6,50				
Índia	3,177	0,25	≤40%		

Fonte: Elaboração Própria

Para terminar o capítulo 3, elaborou-se um panorama regulatório da eficiência energética das edificações no Brasil, com foco nos instrumentos regulatórios e programas de eficiência energética vigentes no setor de edificações. No contexto da discussão de CEEE merecem destaque o Programa Nacional de Etiquetagem de Edificações, iniciativa dos Programas PROCEL Edifica da Eletrobras e do Programa Brasileiro de Etiquetagem do Inmetro e as Normas das ABNT com foco no desempenho térmico das edificações e eficiência energética dos sistemas prediais de condicionamento ambiental, em particular ABNT 15220, ABNT 16401 e ABNT 15575. Cabe referir que o RTQ-R, documento onde se encontram definidos os requisitos técnicos a serem analisados com vista à classificação e etiquetagem da eficiência energética das edificações residenciais no âmbito do Programa Nacional de Etiquetagem de Edificações, pode ser classificado como um CEEE. Contudo, não está associado ao processo de aprovação e licenciamento de novas edificações e reformas e ampliação das existentes, tal como nos casos de estudo analisados, estando em vigência como programa informativo para o mercado.

Comparando a realidade brasileira com os restantes países da América Latina

estudados, sugere-se que, com exceção da Venezuela que está a dar os primeiros passos, o cenário brasileiro aproxima-se das realidades encontradas, onde a regulação da eficiência energética nas edificações é feita, em grande parte, com recurso às normas técnicas nacionais, e verifica-se a falta de um instrumento abrangente e centralizador que oriente de forma clara o setor da construção. Relativamente à análise de exigências de propriedades térmicas, conforme apresentado nas tabelas 22 e 23, quando comparamos os valores definidos nos instrumentos regulatórios brasileiros (normas da ABNT e RTQ-R do programa Nacional de Etiquetagem de Edificações) com os valores definidos nos restantes códigos analisados, é notório que, com exceção do Chile, todos os países definem valores mais exigentes para o limite de transmitância térmica da envoltória das suas edificações. Tal fato sugere que os instrumentos regulatórios brasileiros são pouco exigentes. Cabe referir que os instrumentos regulatórios brasileiros estabelecem os limites de transmitância térmica tendo em conta ambientes não condicionado artificialmente, o que pode ajudar a explicar tal discrepância. Contudo, dada a expectativa de aumento da penetração de equipamentos de condicionamento artificial associada à melhoria dos níveis de vida da população brasileira, considera-se que a regulação deveria ser estendida a ambientes condicionados, assumindo valores mais exigentes.

- *O Município de São Paulo: Consumo energético e requisitos de eficiência energética no Código de Obras e Edificações*

O último tema explorado pela presente pesquisa, apresentado no capítulo 4, foi a realidade concreta do Município de São Paulo no que diz respeito ao consumo energético do setor de edificações e à presença de requisitos de eficiência energética no atual Código de Obras do Município.

Relativamente à caracterização do setor residencial de edificações, foram coletados dados relativos ao consumo energético atual e apuradas tendências com impacto futuro nesse consumo. A realidade encontrada, conforme já enfatizado, revelou que o setor residencial já é atualmente um grande consumidor de energia, em particular de energia elétrica com uma participação de 74,3% no consumo do Município de São Paulo (SECRETARIA DE ENERGIA, 2011). A conjuntura econômica, o crescimento populacional e os programas de governo de combate ao déficit habitacional deixam antever o contínuo aumento da demanda energética no setor quer em termos de consumo direto de energia (via maior disponibilidade

das famílias para consumir aparelhos eletrodomésticos) quer em termos de consumo indireto (via novas construções).

A fim quantificar parte das necessidades adicionais de oferta energética resultantes das tendências apresentadas, a presente pesquisa estimou o aumento do consumo energético caso sejam construídas as 840030 novas unidades estimadas no Plano Municipal de Habitação, valor necessário para acabar com déficit habitacional atual e atender às necessidades de novas moradias para famílias de até 6 salários mínimos até 2024. Conforme os resultados apresentados na tabela 25, o aumento de *consumo indireto* estimado tendo por base o valor de energia embutida de 3,94 GJ/m² (calculado por Tavares de Lamberts (2006)) e uma área mínima de 40,1 m² por nova unidade (conforme definido pela Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano (CDHU,2008)) é de 36,86 TWh, ou seja, 139% ao consumo de energia elétrica do Município de São Paulo em 2010 e representa uma taxa de crescimento anual de 6,0% até 2024 (distribuindo equitativamente pelos 15 anos a construção das novas moradias). Relativamente ao *consumo direto*, partindo do valor de consumo energético por moradia de interesse social de 145 kWh/mês (avaliado pela Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA, 2006), o aumento da demanda energética é de 1,46 TWh, equivalente a 14% do consumo de energia elétrica do setor residencial do Município de São Paulo e a uma taxa de crescimento do consumo de energia elétrica de 0,9% ao ano até 2024. É interessante notar que, caso as moradias sejam construídas com Sistema de Aquecimento de Água Solar, também de acordo com dados da ABRAVA, o consumo de energia mensal por domicílio é reduzido para 81 kWh, e o impacto estimado cai para 9% e 0,5% ao ano.

Ainda relativamente à caracterização do consumo de energia elétrica do município, a presente pesquisa apurou um *gap* de informação na literatura e nos documentos oficiais publicados, relativamente à intensidade energética por unidade de área construída. Com base em dados obtidos junto da Fundação SEADE e da Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano de São Paulo, elaborou-se o gráfico, apresentado na figura 34, onde se apresenta a evolução do valor de intensidade energética por unidade de área construída (kWh/m²) para os setores residências e comerciais do Município de São Paulo entre 2001 e 2009. Conforme se pode observar, relativamente ao setor residencial, o valor apresentou crescimento no período estudado (com exceção de 2002), registrando-se uma taxa de 2,6% ao ano, e em 2009, dado mais recente, situava-se no 38,11 kWh/m². Já para o setor comercial, o indicador revela crescimento da intensidade energética por área construída, com uma taxa anual de 1,36%, mas

com valores absolutos muito superiores face valor residencial, registrando 84,2 kWh/m² em 2009.

Tabela 25 – Estimativa do impacto do Plano Municipal no consumo energético do Município de São Paulo

Variável	Valor	Fonte
Consumo de Energia Elétrica Município São Paulo em 2010 (kWh)	26431346926	São Paulo, 2011b
Consumo de Energia Elétrica do Setor Residencial do Município São Paulo em 2010 (kWh)	10754774406	São Paulo, 2011b
Déficit Habitacional 2009	133296	Prefeitura SP, 2010
Necessidades Habitacionais até 2024	706734	Prefeitura SP, 2010
Total (1)	840030	Prefeitura SP, 2010
Consumo Indireto		
Área Mínima das Moradias (m ²) (a)	40,1	CDHU (2008)
Energia Embutida/m ² (GJ/m ²) (b)	3,94	Tavares e Lamberts (2006)
Energia para construção (GJ)	132719699,8	Calculado
Energia para construção (kWh) (2 = a x b x 1)	36866612777	Calculado
Peso no Consumo de Energia Elétrica do Município São Paulo	139%	Calculado
Peso no Consumo de Energia Elétrica do Setor Residencial do Município	343%	Calculado
Peso no Consumo de Energia Elétrica Anual do Município *	9%	Calculado
Peso no Consumo de Energia Elétrica do Setor Residencial do Município *	23%	Calculado
Taxa de Crescimento anual do Consumo de Energia elétrica do Município (2009-2024) *	6,0%	Calculado
Consumo Direto		
Consumo Mensal Moradias com Aquecimento Solar (kWh/mês)	81	Abrava, 2006
Consumo anual (kWh)	972	Calculado
Aumento total de Consumo de Energia	816509160	Calculado
Peso no Consumo de Energia Elétrica do Setor Residencial do Município	8%	Calculado
Taxa de Crescimento anual do Consumo de Energia elétrica do setor Residencial do Município de São Paulo (2009-2024)	0,5%	Calculado
Consumo Mensal de Moradias sem Aquecimento Solar (kWh/mês)	145	ABRAVA, 2006
Consumo anual (kWh)	1740	Calculado
Aumento total de Consumo de Energia	1461652200	Calculado
Peso no Consumo de Energia Elétrica do Setor Residencial do Município	14%	Calculado
Taxa de Crescimento anual do Consumo de Energia elétrica do setor Residencial do Município de São Paulo (2009-2024)	0,9%	Calculado

* Considerando a construção das moradias ao longo do horizonte temporal considerado

Fonte: Elaboração Própria

Figura 34 – Evolução do indicador de intensidade energética por unidade de área construída nos setores residencial e comercial do Município de São Paulo

Fonte: Fundação SEADE, 2011; São Paulo (Estado), 2011b.

Cabe referir que embora os dados considerarem apenas o consumo de energia elétrica, uma vez que os gastos para aquecimento ambiental no município de São Paulo são baixos e a penetração do chuveiro elétrico é elevada, parece realista supor que o valor estimado aproxima-se da intensidade energética por área construída tendo em conta o consumo total de energia. Considera-se ainda importante referir que o valor estimado é um indicador importante para a caracterização da evolução do consumo energético no setor de edificações e como tal de enorme relevância para avaliar o sucesso de políticas públicas direcionadas à promoção da eficiência energética no setor.

Para além da caracterização do consumo energético do setor residencial, o diagnóstico da realidade do setor de edificações no município de São Paulo revelou ainda uma realidade complexa que coloca desafios ao desenvolvimento de políticas públicas adequadas. Por um lado, as tendências apuradas apontam para uma problemática característica de um país em desenvolvimento com elevadas taxas de crescimento de novas edificações. Por outro, o elevado estoque de edifícios, tecnologicamente ultrapassados e com baixo nível de eficiência no uso da energia, que conformam a realidade encontrada sobretudo na capital do Município de São Paulo, representa um potencial significativo de poupança se implementadas ações de *retrofitting*, tema cada vez mais em voga nos países desenvolvidos. Relativamente ao tipo de edificações residenciais, a realidade é também muito heterogênea, verificando-se áreas de construção vertical de médio e alto padrão que alternam com áreas de moradias de baixa renda, muitas vezes em situações precárias e irregulares.

Relativamente à análise do Código de Obras e Edificações (COE) do Município de

São Paulo, definido na lei 11.228 de 25 de Junho de 1992 e regulamentado pelo decreto 32.329 de 23 de Setembro de 1992, cabe referir que a eficiência energética é um tema pouco explorado, não havendo nenhum capítulo dedicado ao assunto. Apesar de o conforto térmico ser assumido no documento como um parâmetro que deverá ser proporcionado pelos ambientes das edificações, as medidas consequentes são pouco sofisticadas (dimensão mínima de aberturas, pé-direito mínimo, entre outras) e remetem para a questão das condições mínimas de habitabilidade e saúde para os usuários. As restantes exigências de eficiência energética e desempenho térmico são deixadas à responsabilidade das Normas Técnicas Oficiais, elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, organização de natureza privada. Cabe destacar que o documento não sofre revisão há quase 20 anos.

- *Proposições para o COE do Município de São Paulo*

No capítulo introdutório da presente pesquisa, definiu-se como objetivo principal da presente dissertação aferir o potencial do Código de Obras como ferramenta de política pública voltada a uma maior eficiência energética das edificações no município de São Paulo. Considera-se estarem reunidas as condições para defesa da hipótese elaborada, segundo a qual o Código de Obras Municipal é um instrumento adequado à promoção de um estoque de edifícios energeticamente mais eficiente. Com efeito, apesar de nos casos de estudo elaborados, a maioria dos CEEE constituírem um documento independente, defende-se que o código de obras é um documento adequado para estabelecer requisitos de eficiência energética dirigidos ao setor de edificações tendo em conta a realidade do município de São Paulo.

Em primeiro lugar a sua abrangência e caráter compulsório indicam sua força intrínseca e sua adequação à realidade estudada. Por se tratar de um instrumento que atua na fase de projeto, mostra-se especialmente apropriado ao cenário de elevado número de novas edificações, mas que também se aplica a edifícios antigos que deverão sofrer reabilitação e *retrofitting* dentro de normas e padrões mais eficientes e sustentáveis. A elevada taxa de crescimento de novas construções que se observa um pouco por todo o Brasil e em particular no Estado e Município de São Paulo deve ser encarada pelos governos como uma oportunidade de decisão por políticas de promoção de eficiência energética na medida em que, na fase de concepção e construção, as soluções técnicas disponíveis são de mais fácil

aplicação e rentabilidade e permitem influenciar o consumo energético do edifício logo desde o começo do longo período de vida útil das edificações.

Em segundo lugar, a obrigatoriedade do COE faz com que abranja todos os *players* do mercado, permitindo fazer frente à elevada fragmentação da cadeia de valor do setor da construção civil e ao elevado número de empresas que nele operam. Além disso, obriga o setor da construção a considerar o tema da eficiência energética mesmo que os benefícios de poupança no uso da edificação estejam do lado do usuário. Apesar da elevada informalidade do setor da construção brasileiro ser uma barreira à abrangência do COE, as políticas de habitação governamentais em curso constituem um marco importante que, se espera, tragam um contributo fundamental para a resolução do problema, dando força a todo o marco regulatório dirigido ao setor de edificações.

Conforme visto, a versatilidade dos métodos de avaliação da conformidade que podem ser definido nos CEEE permite atender à heterogeneidade do setor das construções onde se verificam edifícios com diferentes tipologias e características: os métodos prescritivos facilitam a compreensão das exigências tornando-se adequados às pequenas construtoras e aos projetos particulares de moradias, enquanto as métodos baseados no desempenho, dão liberdade para grandes edificações e novas soluções construtivas. Outra vantagem prende-se com o fato de o COE do Município de São Paulo ser de obtenção gratuita e apresentar um arranjo institucional já definido, fatores que facilitam a sua adoção por parte do mercado e contribuem para maiores níveis de conformidade.

Para concluir a argumentação, considera-se que a definição de um patamar mínimo de eficiência energética para todas as edificações constitui uma orientação clara para evolução desejada do mercado (fornecedores, construtoras, projetistas, entre outros) e uma declaração à sociedade da importância do tema.

Ainda concretizando o objetivo principal da presente pesquisa, apresentam-se de seguida algumas **diretrizes a serem inseridas** no COE do Município de São Paulo, com vista à melhoria do nível e eficiência energética das edificações:

1. *Inclusão de um capítulo dedicado à eficiência energética, o qual deverá fazer distinção entre edificações de mercado e habitação de interesse de interesse social;*

A Para habitação de interesse social:

- i. *Exigir os limites de transmitância térmica de paredes e coberturas definidos na normas ABNT 15575:*

Tabela 26 – Exigências de Transmitância Térmicas sugeridas para moradias de interesse social no Município de São Paulo

<i>Transmitância Térmica (Fator U) $W/m^2.K$</i>			
<i>Paredes Externas</i>		<i>Cobertura</i>	
$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$
$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$	$U \leq 2,3$	$U \leq 1,5$

Fonte: Elaboração Própria a partir de ABNT, 2008

B Para edificações de mercado:

- i. Exigir que os equipamentos instalados durante a construção do edifício, quando contemplados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem, estejam classificados com nível A;
- ii. Incluir como critério de aprovação das edificações na prefeitura, a comprovação da classificação mínima B do projeto, no âmbito do Programa Nacional de Etiquetagem de Edificações;
- iii. Definir limites para Transmitância Térmica (fator-U) dos componentes da envoltória do edifício, de acordo com a tabela 27:

Tabela 27 – Exigências de Transmitância Térmicas sugeridas para Edificações de Mercado no Município de São Paulo

<i>Fator U ($W/m^2.K$)</i>	<i>Paredes Externas</i>	<i>Cobertura</i>
<i>Ambientes Condicionados</i>	$U \leq 1,5$	$U \leq 0,5$
<i>Ambientes não condicionados</i>	$U \leq 2,5$	$U \leq 1,5$

Fonte: Elaboração Própria

2. Definição de um prazo limite para revisão do COE de no máximo 5 anos;

No que diz respeito às sugestões do ponto 1, cabe referir que a segmentação das propostas de acordo com o rendimento das famílias alvo das edificações pretende maximizar o potencial de poupança energética associado à adoção de Códigos de Obras permitindo a adaptação dos requisitos exigidos à capacidade financeira do mercado. Relativamente às

moradias de interesse social, a exigência de requisitos de acordo com a norma ABNT 15575 tem como objetivo garantir um desempenho térmico mínimo para este tipo de edificações. Conforme visto na revisão bibliográfica, a eficiência energética desempenha um papel particularmente importante na população de baixa renda já que permite que o consumo energético, indispensável ao bem estar e qualidade de vida humana, represente um peso inferior no orçamento familiar. Dada a importância social e o peso que este tipo de edificações representará no consumo energético do município, considera-se importante que o segmento de habitação social não seja excluído das políticas de eficiência energética, em particular do Código de Obras e Edificações municipal.

Relativamente às chamadas edificações de mercado (todas as que não são de interesse social), as medidas apresentadas têm como objetivo promover a redução no consumo de energia, em particular para condicionamento de ar, uso final para o qual se espera um aumento considerável de peso no perfil de consumo energético das famílias nos próximos anos, tendo em conta o atual cenário de melhoria do nível de vida e rendimento da população brasileira. Além disso, em particular os pontos b.i e b.ii, são medidas que procuram integrar outros instrumentos de política pública de promoção de eficiência energética em edificações atualmente em vigor no mercado. Cabe destacar que a exigência mínima de classificação energética das edificações no âmbito do Programa Nacional de Etiquetagem de Edificações como requisito de aprovação e licenciamento de projeto e obras contribuiria para acelerar a implementação do programa no mercado, resultando em sinergias para os dois instrumentos regulatórios. A opção de definir como nível mínimo para aprovação de edificações o desempenho energético de acordo com o nível B, pretende servir ao propósito de estabelecer um nível mínimo de eficiência energética para todas as edificações mantendo um incentivo de mercado para edificações que queiram destacar-se por melhores desempenhos (que deverão assim procurar obter o nível A).

No que concerne particularmente aos valores de transmitância térmica definidos, considera-se relevante referir que o seu valor resulta da comparação com os CEEE estudados, optando-se por valores que coloquem o Brasil na dianteira do cenário regional da América Latina. A definição de limites mais exigentes para ambientes condicionados (face aos não condicionados) é uma medida importante já que nestes as condições de conforto são conseguidas por recursos ao sistema de condicionamento artificial (ou seja, com consumo de energia) pelo que deverão ser mantidas através da minimização das trocas térmicas entre o exterior e o interior da edificação, com consequente minimização do consumo energético.

Cabe ainda referir que os valores apresentados deverão ser revistos periodicamente (acompanhando no máximo o prazo de revisão do Código de Obras e Edificações) de forma a convergirem no médio prazo para o nível de exigência presente nos CEEE mais sofisticados.

O ponto 2, que estabelece um prazo de revisão do COE, é essencial a fim de criar um processo de atualização recorrente que permita, por um lado, acompanhar a evolução tecnológica no que diz respeito a soluções construtivas e equipamentos energeticamente eficientes e, por outro lado, obrigar o mercado a atualizar-se de forma a cumprir os requisitos do documento. O processo de revisão deverá ser preparado e executado por um comitê técnico que integre representantes de diferentes interessados no mercado da construção (arquitetos e engenheiros, fabricantes de materiais, empresas construtoras, pesquisadores, representantes de instituições governamentais tais como o Ministério de Minas e Energia, entre outros).

As medidas apresentadas não pretendem esgotar os requisitos de eficiência energética a serem inseridos numa revisão do atual Código de Obras. Nesse sentido, apresenta-se de seguida um conjunto de **sugestões** cujo potencial e exequibilidade merecem ser explorados a fim de se concretizarem em medidas efetivas e adequadas à realidade do Município de São Paulo:

- Considerar a inclusão de exigências relativamente à gestão de materiais em canteiro de obra, com vista à redução do desperdício, aplicação de práticas de reciclagem e reuso de materiais (resolução CONAMA 307);
- Estudar o desenvolvimento de um mix de políticas com vista à maximização dos resultados atingidos, tais como a implementação de incentivos fiscais (ex. através do IPTU) e concessão de facilidades de crédito para edificações que ultrapassem as exigência contidas no Código de Obras;
- Disponibilizar programas de formação e treinamento para os profissionais da indústria de construção, visando não só a mão de obra mais qualificada, como engenheiros e arquitetos, mas também a mão de obra técnica para execução dos trabalhos, na medida em que os construtores e instaladores são essenciais para a correta aplicação das medidas;
- Disponibilizar documentos de apoio (manuais, site, fóruns, entre outros) esclarecendo sobre a correta aplicação das medidas de eficiência energética exigidas;
- Investigar a possibilidade de abrir o processo de fiscalização dos requisitos de eficiência energética das edificações ao setor privado de forma a reduzir as necessidades de formação de inspetores;

- Considerar o desenvolvimento de um sistema de certificação de materiais de construção e soluções construtivas em conformidade com os requisitos inseridos nos COE, como existe nos EUA e Austrália;
- Desenvolver e disponibilizar ao mercado instrumentos com dados climáticos locais dirigidos aos projetistas (nomeadamente radiação solar, temperatura, umidade do ar e ventos, e as suas variações diárias, sazonais e anuais), no sentido de promover a aplicação dos princípios da Arquitetura Bioclimática, em particular o uso de técnicas passivas de condicionamento ambiental;
- Explorar outros temas com vista à melhoria da eficiência energética das moradias de interesse social (e não só) com melhoria do conforto térmico dos usuários: planejamento urbano que promova ventilação adequada; orientação de aberturas de acordo com ventos dominantes de forma a promover a ventilação natural; exigência de elementos de vegetação nas ruas, para minimização da temperatura do ar, nas orientações que precisem de sombreamento e na orientação dos ventos dominantes de forma a promover o resfriamento por ventilação natural; iluminação natural; proteção solar externa de janelas (em particular nas aberturas orientadas a este e a oeste); insolação para aquecimento no Inverno; campanhas educativas para as comunidades sobre os potenciais de poupança energética, entre outros temas;
- Dada a extensão territorial do Brasil, e à semelhança do que é feito em outros países, avaliar o potencial de desenvolver um Código de Obras Modelo (ou um Código de Eficiência Energética para Edificações Modelo) que possa ser adotados pelos Estados e/ou Municípios mediante algumas adaptações. Tal medida permitiria acelerar a promoção da eficiência energética em edificações a nível nacional já que reduz o custo de desenvolvimento de códigos para os municípios, muitas vezes de pequena dimensão e sem capacidade financeira para suportar o processo. Além disso, trata-se de uma medida que contribuiria para a harmonização da regulamentação nacional, facilitando o conhecimento do marco regulatório por parte do setor da construção, fator com impacto positivo nos níveis de conformidade.

Conforme referido, o processo de desenvolvimento de Regulamentos e Códigos energéticos para edifícios é um processo de elevada complexidade e o seu sucesso depende de um conjunto de fatores que precisam ser cuidadosamente analisados. Os requisitos a serem definidos devem ter em conta um conjunto de critérios tais como o clima, o conforto dos usuários, o nível de sofisticação do mercado, a rentabilidade dos projetos, o tipo de edifícios e

sua idade. Neste contexto, cabe ainda destacar que é essencial promover, não só a nível municipal, mas também federal, o conhecimento detalhado da realidade no setor de edificações, em particular, através do levantamento da eficiência energética de referência no estoque de edifícios atuais, do estudo das práticas construtivas locais (a fim de determinar quais as tecnologias com melhor desempenho e que representem menor esforço de adaptação por parte do setor da construção) e do estudo da cadeia da indústria da construção nacional a fim de avaliar a sua preparação para aplicar corretamente regulamentos energéticos bem como os potenciais custos resultantes da inserção de novos requisitos na legislação.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O diagnóstico do consumo de energia no Município de São Paulo demonstra que o setor das edificações já é, neste início de século XXI, responsável por uma parcela muito significativa deste consumo, em particular quando considerado o consumo de energia elétrica, no qual a participação das edificações atingiu os 74,3% em 2010 (SÃO PAULO (ESTADO), 2011b). O cenário de crescimento econômico aliado ao crescimento populacional e aos programas federais e estaduais de combate ao déficit habitacional apontam para o contínuo crescimento do consumo energético dos edifícios no Município de São Paulo consequente da melhoria do nível de vida das populações e da elevada taxa de crescimento de novas construções. Neste contexto, é importante promover a eficiente e racional utilização da energia no setor, na certeza de que a energia conservada é em geral um “recurso energético” mais barato e menos impactante em termos ambientais e sociais que os investimentos para expansão dos sistemas de oferta de energia.

O atendimento à crescente demanda de energia coloca ao país o desafio de estabelecer estratégias que viabilizem o crescimento e desenvolvimento econômico minimizando os impactos ambientais e sociais. O Brasil apresenta uma matriz energética com um percentual elevado de fontes renováveis e uma produção de energia elétrica majoritariamente hidroelétrica, com baixa participação das fontes fósseis. Apesar de a matriz energética brasileira contribuir com baixa emissão de gases de efeito de estufa quando comparada com a matriz mundial, a viabilização de novos aproveitamentos hidrelétricos não é desprovida de impacto ambiental, para além de implicar elevados investimentos do ponto de vista econômico e ser fonte de contestação social, dado as localizações disponíveis situarem-se, em muitos casos, em territórios de ocupação indígena.

Neste contexto a promoção da melhoria da eficiência no uso da energia, em todos os setores e em particular nas edificações, constitui uma estratégia importante na medida em que contribui para aumentar a disponibilidade de energia postergando as necessidades de expansão da oferta energética. A fim de concretizar o potencial de poupança energética nas edificações brasileiras, avaliado pelo PROCEL (ELETROBRAS, 2010) em 25% para o estoque de edificações existentes e em 50% para novas edificações, a presente dissertação sinaliza a importância do desenvolvimento de políticas públicas capazes de racionalizar o consumo energético futuro nas edificações do município de São Paulo. Selecionou-se o Código de Obras como alvo de estudo e definiu-se como objetivo principal determinar o seu

potencial enquanto instrumento regulatório de melhoria de eficiência energética em edificações adequado à realidade do Município de São Paulo e sugerir diretrizes para a implementação de requisitos de eficiência energética no referido documento, com foco no setor residencial.

É de se esperar que a efetividade e eficácia de políticas públicas estejam fortemente relacionadas por um lado com um diagnóstico acurado da realidade e, por outro, com a compreensão da dinâmica das variáveis em estudo. Para esse fim, considerou-se relevante focar três temas:

1. Os fatores que explicam o consumo energético das edificações e as estratégias disponíveis para promover um maior nível de eficiência energética no setor;
2. Os instrumentos regulatórios existentes para promoção de eficiência energética em edificações, com destaque para o Código de Obras;
3. Caracterização do consumo energético das edificações no município de São Paulo e diagnóstico de tendência futuras;

O primeiro tema foi tratado no capítulo 2 onde se apresentou uma revisão bibliográfica do consumo energético em edificações, com destaque para a importância da sua avaliação numa perspectiva de ciclo de vida de forma a incluir não só o consumo operacional resultante do uso das edificações, mas também o consumo indireto que inclui parcelas de consumo energético que apesar de contabilizadas em outros setores, são resultantes do uso e construção das edificações (tais como a energia gasta na produção e transporte de materiais de construção, as perdas energéticas resultantes da produção e transmissão de energia elétrica até às edificações, entre outras).

No capítulo 3, onde se abordou a segundo tema, apresentou-se os Códigos de Eficiência Energética para Edificações, suas características e processo de desenvolvimento, com destaque para o caso em que são incluídos no Código de Obras. Ainda no âmbito do segundo tema, efetuou-se um panorama internacional quanto à adoção de CEEE e analisou-se a situação particular de um conjunto de países (União Europeia, Estados Unidos da América, Japão, China, Índia, Austrália, Chile, México, Argentina e Venezuela) e do marco regulatório brasileiro no que diz respeito à eficiência energética em edificações.

O último tema, apresentado no capítulo 4, focou a coleta de dados relativamente ao setor de edificações do Município de São Paulo, em particular a caracterização do cenário atual e diagnóstico de tendência no que diz respeito ao consumo de energia. Terminou-se o capítulo fazendo uma análise ao Código de Obras e Edificações do Município de São Paulo,

publicado na lei 11.228 de 2 de Junho de 1992 com vista ao levantamento de exigências com impacto ao nível da eficiência energética dos edifícios.

O estudo efetuado levou a um conjunto de resultados e contribuições das quais se destacam os seguintes pontos:

- I. O setor residencial do Município de São Paulo apresenta uma realidade muito heterogênea quer do ponto de vista da idade das suas construções, já que apresenta elevadas taxas de novas construções e um elevado estoque de edifícios obsoletos que poderiam beneficiar de *retrofitting*, quer do ponto de vista do perfil socioeconômico, uma vez que se observa a existência de áreas de habitação de altíssimo padrão e extensas áreas de habitação precária com condições inadequadas para os seus usuários;
- II. Atendendo ao crescimento económico, ao crescimento populacional e aos programas governamentais de habitação prevê-se que o consumo energético do setor residencial do município de São Paulo continue a aumentar no futuro;
- III. Caso se concretize a construção das 840030 unidades habitacionais previstas pelo Programa Municipal de Habitação como necessárias para acabar com o déficit habitacional do Município até 2024, estimou-se um aumento do consumo de energia elétrica no setor residencial municipal de 0,9% ao ano, consequente da nova demanda energética por parte das famílias, e um aumento anual do consumo de energia no município de 6,0% pela energia gasta na construção das novas edificações. Caso seja instalado aquecimento solar térmico nas novas unidades habitacionais a estimativa de crescimento anual da nova demanda energética das famílias cai para 0,5%;
- IV. Existe um *gap* de informação relativamente à divulgação de dados de intensidade energética por unidade de área construída no Brasil e, em particular, no Município de São Paulo. A presente pesquisa avaliou o valor do consumo de energia elétrica por área construída no setor residencial do Município de São Paulo, em 38,11 kWh/m², com base em dados de 2009;
- V. O Código de Obras é um instrumento regulatório adequado à realidade do Município de São Paulo para promoção de um estoque de edificações energeticamente mais eficiente dado ser obrigatório, abrangente, atuar na fase de projeto (quando as medidas de eficiência energética são mais fáceis de aplicar e apresentam melhor custo-benefício) e ter um processo de execução e fiscalização já conhecido pelo mercado;
- VI. O atual Código de Obras e Edificações municipal, publicado na Lei 11.228 de 25 de

Junho de 1992 e regulamentado pelo Decreto 32.329 de 23 de Setembro de 1992, foca o tema da eficiência energética nas edificações de forma muito superficial e, essencialmente pela referência às Normas Técnicas Oficiais (da Associação Brasileira de Normas Técnicas);

VII. O Código de Obras e Edificações do Município de São Paulo não é revisto desde 1992 podendo beneficiar de um processo de atualização com vista à sua modernização e inclusão de temas que promovam não só a segurança, saúde e bem estar dos usuários, mas também a sustentabilidade das edificações, em particular um melhor nível de eficiência energética. Neste contexto apresentou-se um conjunto de sugestões a serem inseridas num processo de revisão do documento, a saber:

1. *Inclusão de um capítulo dedicado à eficiência energética, o qual deverá fazer distinção entre edificações de mercado e habitação de interesse de interesse social;*

a. ***Para habitação de interesse social:***

i. *Exigir os limites de transmitância térmica de paredes e coberturas definidos na normas ABNT 15575:*

Tabela 26 – Exigências de Transmitância Térmicas sugeridas para moradias de interesse social no Município de São Paulo

<i>Transmitância Térmica (Fator U) $W/m^2.K$</i>			
<i>Paredes Externas</i>		<i>Cobertura</i>	
$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$
$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$	$U \leq 2,3$	$U \leq 1,5$

Fonte: Elaboração Própria a partir de ABNT, 2008

b. ***Para edificações de mercado:***

i. *Exigir que os equipamentos instalados durante a construção do edifício, quando contemplados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem estejam classificados com nível A;*

ii. *Incluir como critério de aprovação das edificações na prefeitura, a comprovação da classificação mínima B do projeto, no âmbito do Programa Nacional de Etiquetagem de Edificações;*

- iii. Definir limites para Transmitância Térmica (fator U) dos componentes da envoltória do edifício, de acordo com a tabela 27:

Tabela 27 – Limites de Transmitância Térmica para Paredes e Coberturas

Fator U (W/m ² .K)	Paredes Externas	Cobertura
Ambientes Condicionados	U=<1,5	U=<0,5
Ambientes não condicionados	U=<2,5	U=<1,5

Fonte: Elaboração Própria

2. Definição de um prazo limite para revisão do COE de no máximo 5 anos;

VIII. Adicionalmente é apresentado um conjunto de sugestões que deverão ser aprofundadas a fim de contribuírem para a evolução do marco regulatório de eficiência energética no setor de edificações do Município de São Paulo e do Brasil, tais como: o levantamento do nível de eficiência energética no atual estoque de edificações, avaliação do potencial de desenvolvimento de um Código de Obras Modelo (ou de um Código de Eficiência Energética para Edificações Modelo) que possa ser adotado pelos Estado e/ou Municípios mediante algumas adaptações; certificação de materiais de construção e soluções construtivas em conformidade com os requisitos inseridos nos Código de Obras e Edificações; envolvimento do setor privado no processo de execução de licenciamento e fiscalização do requisitos de eficiência energética; considerar a inclusão de exigências relativamente à gestão de materiais em canteiro de obra, com vista à redução do desperdício, aplicação de práticas de reciclagem e reuso de materiais; entre outras medidas;

O presente trabalho pretende contribuir para a discussão de um tema atual e pertinente, destacando a eficiência energética no setor residencial como um tópico essencial ao planejamento energético brasileiro com vista à redução das necessidades de expansão do sistema de produção energética e à defesa de uma sociedade mais sustentável, socialmente mais justa e menos impactante no meio ambiente.

A elevada taxa de crescimento de novas construções que se observa um pouco por todo o Brasil e em particular no Estado e Município de São Paulo deve ser encarada pelos governos como uma oportunidade de decisão por políticas de promoção de eficiência energética na medida em que, na fase de concepção e construção, as soluções técnicas

disponíveis são de mais fácil aplicação e rentabilidade e permitem influenciar o consumo energético do edifício logo desde o começo do longo período de vida útil das edificações.

Conforme visto ao longo do presente trabalho, o desenvolvimento de instrumentos regulatórios de promoção de eficiência energética em edificações, em particular a inclusão de requisitos de eficiência energética em Códigos de Obras, adequados à realidade e bem aceites pelo mercado, que resultem em elevados níveis de conformidade e efetiva redução do consumo energético é um tema complexo. Trata-se de um processo que deverá envolver equipes multidisciplinares com representação de diferentes setores da sociedade (projetistas, fabricantes, fornecedores, pesquisadores, instituições governamentais, entre outros) e ser pensado de forma integrada dentro de um marco regulatório que inclua outras políticas de natureza econômica e social. São essenciais ao seu sucesso não só a excelência técnica e um diagnóstico apurado da realidade que orientem o desenvolvimento de políticas de qualidade, mas também um forte comprometimento governamental que viabilize a sua efetiva implantação e execução.

Com as diretrizes e sugestões apresentadas, espera-se dar um contributo importante para o avanço do marco regulatório do município de São Paulo no que concerne à promoção de eficiência energética nas edificações. Atendendo ao grau de desenvolvimento do município no contexto nacional, considera-se ainda importante destacar que os benefícios resultantes da inserção de requisitos de eficiência energética no Código de Obras do Município de São Paulo vão além do próprio município, na medida em que o mesmo pode constituir um exemplo para os restantes municípios do Estado e do Brasil, promovendo uma mais rápida transformação do mercado não só a nível municipal mas também estadual e federal;

Termina-se a presente dissertação, fazendo referência a dois tópicos abordados ao longo do trabalho, que se consideram merecedores de estudos mais aprofundados podendo constituir tema de futuras pesquisas: em primeiro lugar, dado o *gap* de informação existente na literatura, considera-se importante a realização de um estudo que caracterize o panorama da regulamentação de eficiência energética na América Latina, em particular com recurso a questionários que permitam colher dados juntos dos especialistas dos diferentes países; em segundo lugar, dada a complexidade do tema e a pouca informação encontrada, considera-se importante aprofundar o estudo sobre a energia embutida nas edificações brasileiras e do município de São Paulo, a fim de elaborar um cenário completo do consumo energético no setor das edificações que permita avaliar o real impacto do setor e desenvolver políticas de eficiência energética abrangentes.

REFERÊNCIAS

ABRAVA. **Workshop de Aquecimento Solar em habitações de interesse social**. 2006.
Disponível em:
<<http://www.cidadessolares.org.br/downloads/CDHU.ppt.pdf>>. Acesso em, Janeiro, 2012.

ALCORN, A. **Embodied Energy and CO₂ Coeficientes for NZ Building Materials**.
Centre for Building Performance Research, Victoria University of Wellington. New Zealand:
March, 2003.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Anuário Estatístico dos Transportes Terrestres**. Brasília, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413**. Iluminância de Interiores. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 15220** – Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 16401**. Instalações de ar-condicionado. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 15215**. Iluminação Natural. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **NBR 15575**. Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Desempenho. Rio de Janeiro, 2008.

AGOPYAN, V. et al. **Perdas de Materiais nos Canteiros de Obras: A quebra do mito**. São Paulo, 1998.

AGOPYAH, V.; JOHN, V.M.; GOLDEMBERG, J. (Coord). **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**. São Paulo: Blucher, 2011. (Série Sustentabilidade) .

ANSI/ASHRAE. **Standard 55-2004**. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. 2004.

ANSI/ASHRAE. **Standard 90.1-2007 (SI Edition)** - Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings (ANSI Approved; IESNA Co-sponsored). 2010.

BAHIA, S.R (Coord.). **Modelo para Elaboração de Código de Obras e Edificações**. Rio de Janeiro: IBAM/DUMA, 1997.

BARBIRATO, G.M.; TORRES, S.C.; SOUZA, L.C.L. **Clima Urbano e Eficiência Energética nas Edificações**. Rio de Janeiro, Agosto 2011.

BARROSO-KRAUSE, C. **Desempenho Térmico e Eficiência Energética em Edificações**. Rio de Janeiro: PROCEL EDIFICA, Agosto 2011.

BEE – BUREAU OF ENERGY EFFICIENCY. **Energy Conservation Building Code**, 2006.

_____. Disponível em:
<<http://www.beeindia.in/>>. Acesso em: Outubro 2011.

BERG, S.V. **Glossary for the body of knowledge on infrastructure regulation**. Banco Mundial: 2008. (Traduzido para português por Associação Brasileira de Agências Reguladoras).

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Ventilação Natural em Edificações**. Rio de Janeiro: PROCEL EDIFICA, Agosto 2010.

BRASIL. Lei n. 10295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2001a.

_____. Decreto n. 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2001b.

_____. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Política Nacional de Habitação. Novembro de 2004.

_____. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Matriz Energética Nacional 2030. Brasília: MME : EPE, 2007a.

_____. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Plano Nacional de Energia 2030. Brasília: MME : EPE, 2007b.

_____. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Etiquetagem de Eficiência Energética em

Edificações. Junho, 2009.

_____. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Plano Nacional de Eficiência Energética: Permissas e Diretrizes Básicas. Rio de Janeiro, 2011.

BRIBIÁN, I.Z; USÓN, A.A; SCARPELLINI, S. Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. **Building and Environment**, v.44, p. 2510–2520, 2009.

BRIBIÁN, I.Z; CAPILLA, A.V.; USÓN, A.A. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. **Building and Environment**, v.46, p. 1133–1140, 2011.

BUSTAMANTE G., W. (Org). **Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social**. Santiago do Chile: Ministerio de Vivienda y Urbanismo. División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional (minvu) y Programa País de Eficiencia Energética (cne), Abril, 2009.

CASALS, X.G. Analysis of building energy regulation and certification in Europe: Their role, limitations and differences. **Energy and Buildings**, v.38, p. 381–392, 2006.

CABO - COUNCIL OF AMERICAN BUILDING OFFICIALS. **An Introduction to Model Codes, Estados Unidos**. Abril, 1997.

CBIC. Programa de Inovação Tecnológica. 2011. Disponível em: <<http://www.pit.org.br/>>. Acesso em: Janeiro 2012.

CEN, 2011. Disponível em: <<http://www.cen.eu/cen/Products/EN/Pages/default.aspx>>. Acesso em: Novembro 2011.

CEPAGRI, 2011. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/>>. Acesso em: Agosto de 2011.

CHILE. MINISTERIO DE LA VIVIENDA. Decreto-Ley 458. Ley General de Urbanismo e Construcciones de 23 Novembro de 2010.

_____. Decreto 47. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC). Regula o decreto-lei 458. 16 de Abril de 1992.

CDHU – COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO HABITACIONAL E URBANO. **Manual Técnico de Projetos**. Versão Dezembro 1998, Revisão Agosto 2008.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2011. Disponível em:
<http://www.normalizacao.cni.org.br/f_index.htm>. Acesso em: Outubro 2011.

EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies**. October 2008. Disponível em:
< <http://www.epa.gov/heatisl/resources/compendium.htm>>. Acesso em: Janeiro 2012.

_____. 2011. Disponível em:
<http://www.epa.gov/radon/rrnc/buildingcodes_primer.html>. Acesso em: Março 2011.

ELETROBRAS. Pesquisa de Posses e Hábitos de Uso – Ano base 2005: Classe Residencial Região Sudeste. PROCEL, Setembro, 2007.

_____. Resultados PROCEL 2009. Rio de Janeiro, 2010.

_____. 2011. Disponível em:
<<http://www.eletrabras.com/elb/procel/main.asp>>. Acesso em: Setembro 2011.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2010: ano base 2009**. Rio de Janeiro: EPE, 2010. Disponível em:
<<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: Janeiro 2012.

_____. **Balanço Energético Nacional 2011: ano base 2010**. Rio de Janeiro: EPE, 2011. Disponível em:
<<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: Janeiro 2012

EVANS, M. et al. **Enforcing Building Energy Codes in China: Progress and Comparative Lessons**. Pacific Northwest National Laboratory. Agosto, 2009.

EVANS, M.; SHUI, B.; SOMASUDARAM, S. **Country Report on Building Energy Codes in India**. Pacific Northwest National Laboratory. Abril, 2009.

EVANS, M.; SHUI, B.; TAKAGY, T. **Country Report on Building Energy Codes in**

Japan. Pacific Northwest National Laboratory. Abril, 2009.

GHISI, E., GOSCH, S., LAMBERTS, R., Eletricidy end-uses in the residential sector f Brazil, **Energy Policy**, V.35, p. 4107-4120, Abril de 2007.

GIVONI, B. Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 11-23, Lausanne, 1992.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. 3ª edição revista e ampliada. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

GONÇALVES, J.C.S.; VIANNA, N.S.; MOURA, N.C. **Iluminação Natural e Artificial**. Rio de Janeiro: PROCEL EDIFICA, Agosto 2011.

HARVELSON, M.A.; SHUI, B.; EVANS, M. **Country Report on Building Energy Codes in the United States**. Pacific Northwest National Laboratory. Abril, 2009.

HARVEY, L. D. D. **A handbook on Low-Energy Buildings and District- Energy Systems, Fundamentals, Techniques and Examples**. Londres: Earthscan, 2006.

IBAM, 2011. Disponível em:

<<http://www.ibam.org.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm>>. Acesso em: Julho de 2011.

IBGE. **Pesquisa Nacional Por Amostra de Domicilios**. Rio de Janeiro, V.28, p.1-129, 2007.

_____. Projeção da População do Brasil por Sexo e Idade 1980 – 2050: Revisão 2008. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **Pesquisa Nacional Por Amostra de Domicilios**. Rio de Janeiro, V.30, 2009.

_____. Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em Outubro 2011.

ICC – INTERNATIONAL CODE COUNCIL. **2012 International Energy Code**. USA, 2011.

IEA. 2011. Disponível em:
<<http://www.iea.org/stats/index.asp>>. Acesso em: Agosto 2011.

INMETRO. Portaria nº18 de 2012. Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais, 2012. Disponível em:
<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/detalhe.asp?seq_classe=1&seq_ato=1788>. Acesso em: Janeiro 2012.

INSTITUTO DE METEOROLOGIA, 2011. Disponível em:
<<http://www.meteo.pt/pt/>>. Acesso em: Agosto de 2011.

ITC, 2001. Disponível em:
<<http://www.itc.etc.br/>>. Acesso em: Setembro de 2011.

IRAM, **IRAM 11604**. Aislamiento Térmico de Edificios. Verificación de Sus Condiciones higrotérmicas. Ahorro de Energía en Calefacción. Coeficiente Volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculos y valores límites, Fevereiro de 2001.

IRAM, **IRAM 11605**. Acondicionamiento Térmico de Edificios. Condiciones de Habitabilidad en Edificios. Valores Máximos de Transmitância Térmica en cerramientos opacos. Dezembro, 1996.

IWARO, J.; MWASHA, A. Implications of Building Energy Standard for Energy Conservation in Developing Countries. **8th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology**. Peru, Junho 2010a.

_____. Implications of building energy standard for sustainable energy efficient design in buildings. **International Journal of Energy and Environment**, v.1, Issue 5, p.745- 756, 2010b.

JANDA, K. B., BUSCH, J. F. Worldwide Status of Energy Standards for Buildings. **Energy**, v.19, n.1 p.27-44, 1994.

JANDA, K. B. Worldwide Status of Energy Standards for Buildings: A 2007 Update. In: THE FIFTH ANNUAL IMPROVING ENERGY EFFICIENCY IN COMMERCIAL BUILDINGS. **Proceedings. IEECB**. Frankfurt, Germany. Abril 9-10, 2008.

_____. Worldwide status of energy standards for buildings: a 2009 update. **ECEEE 2009 Summer Study. Proceedings**. 2009.

JOKILEHTO, J. **A History of Architectural Conservation**, Oxford: Butterworth-Heinemann, 1999.

KOJIMA, K.; RYAN, L. Transport Energy Efficiency. Implementation of IEA Recommendations since 2009 and next steps: IEA Information paper. Paris: OECD/IEA, 2010.

KRIGGER, J.; DORSI, C. **Residential Energy – Cost Savings and Confort for existing buildings**. 5ª edição. Montana: 2009.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo, PW, 1997.

LAMBERTS, R.; GARNICA B., M. **ECV5161 - Diretrizes Construtivas Utilizando o Zoneamento Bioclimático Brasileiro**. Universidade Federal de Santa Catarina: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2011.

LAUSTEN, J. **Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for New Buildings: IEA Information paper**. Paris: OECD/IEA, 2008.

LEE, W.L.; YIK, F.W.H. Regulatory and voluntary approaches for enhancing building energy efficiency. **Progress in Energy and Combustion Science**, v.30, p.477–499, 2004.

LENZEN, M. et al. A comparative multivariate analysis of household energy requirements in Australia, Brazil, Denmark, Índia and Japan. **Energy**, v.31, p.181–207, 2006.

LISTOKIN, D.; HATTIS, D. **Building Codes and Housing**. Abril 2004. Disponível em: <http://www.huduser.org/rbc/pdf/building_codes.pdf>. Acesso em: Janeiro de 2012.

LIU, F.; MEYER, A.S.; HOGAN, J. F. **Mainstreaming Buildings Energy Efficiency Codes in Developing Countries – Global Experiences and Lessons from Early Adopters**. Washington, D.C.: The World Bank, 2010. (World Bank Working Paper nº 204).

MANKIW, G. **Introdução à Economia**, tradução da 3ª edição norte-americana, São Paulo: Cengage Learning, 2008.

MÉXICO. SECRETARIA DE ENERGIA. Norma Oficial Mexicana. **NOM-020-ENER-2011**, Eficiencia energética en edificaciones.- Envoltente de edificios para uso habitacional. 9 de Agosto de 2011.

MONTEIRO, CAF, **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: IGEOG/USP; 1976. Séries Teses e Monografias nº25 (tese de livre docência).

OCEAN, 2011. Disponível em:
<<http://bcap-ocean.org/research-topic/implementation>>. Acesso em Novembro 2011.

OECD. **Environmentally Sustainable Buildings: Challenges and Policies**. Paris: OECD, 2003.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Plano Municipal de Habitação: PMH 2009-2024**. Setembro, 2010.

PROVINCIA DE BUENOS AIRES. Decreto Buenos Aires 1030/2010. Condiciones de condicionamientos Térmicos exigibles en la construcción de edificios. Normativas, alcances y disposiciones de diseno en edificios de habitación humana. Reglamentación de la Ley Nº 13.059. La Plata, 2 de Julho de 2010.

REEDY, B.V.V.; JAGADISH, K.S. Embodied Energy of common and alternative building materials and technologies. **Energy and Buildings**. v.35, p.129-137, 2003.

ROMERO, M. A. B. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. 2ª Edição. São Paulo: Pro- Editores, 2000.

RYGHAUG, M.; SØRENSEN, H. How energy efficiency fails in the building industry. **Energy Policy**, v. 37, p. 984–991, 2009.

SACHT, H.M., ROSSIGNOLO, J.A. Habitações Térreas e Multipavimentos de Interesse Social: Avaliação de Desempenho Térmico para Tipologias com Vedações em Alvenaria de Blocos Cerâmicos de Concreto. **Pesquisa em Arquitetura e Construção**. v.1, n.4, Novembro 2009.

SANTOS, I.G; SOUZA, R.V.G. **Revisão de Regulamentação em Eficiência Energética: uma Atualização das últimas décadas**. 2011.

SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DE ESTADO DOS TRANSPORTES. Hidrovia Tietê-Paraná – Projetos e Ações em Desenvolvimento. **1º Encontro de Logística e Transportes no Oeste Paulista**. Outubro , 2005.

SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DE SANEAMENTO E ENERGIA. **Balanco Energético do Estado de São Paulo 2010: Ano Base 2009**. São Paulo, 2010a. Disponível em:

<<http://www.energia.sp.gov.br>>. Acesso em: Janeiro de 2012.

_____. **Balanco Energético do Estado de São Paulo 2011: Ano Base 2010**. São Paulo, 2011a. Disponível em:

<<http://www.energia.sp.gov.br>>. Acesso em: Janeiro de 2012.

_____. Anuário Estatístico de Energéticos por Município no Estado de São Paulo 2010: Ano base 2009. São Paulo, 2010b. Disponível em:

<<http://www.energia.sp.gov.br>> Acesso em: Janeiro de 2012.

_____. Anuário Estatístico de Energéticos por Município no Estado de São Paulo 2011: Ano base 2010. São Paulo, 2011b. Disponível em:

<<http://www.energia.sp.gov.br>> Acesso em: Janeiro de 2012.

SÃO PAULO (SP). CÂMARA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Lei nº 11.229, de 25 de junho de 1992. Dispõe sobre as regras gerais e específicas a serem obedecidas no projeto, licenciamento, execução, manutenção e utilização de obras e edificações, dentro dos limites dos imóveis revoga a Lei nº 8.266, de 20 de Junho de 1975, com as alterações adotadas por leis posteriores, e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de São Paulo**, São Paulo, 26 Junho 1992a.

_____. Decreto nº 32.329, de 23 de Setembro de 1992. Regulamenta a Lei n 11.228, de 25 de junho de 1992 (Código de Obras e Edificações), e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de São Paulo**, São Paulo, 24 Setembro 1992b.

_____. Lei nº14.459, de 3 de Julho de 2007. Acrescenta o item 9.3.5 à Seção 9.3 - Instalações Prediais do Anexo I da Lei n.º 11.228, de 25 de junho de 1992 (Código de Obras e Edificações), e dispõe sobre a instalação de sistema de aquecimento de água por energia solar nas novas edificações do Município de São Paulo. **Diário Oficial do Município de São Paulo** de 05 de Maio de 2007, Seção I, pág. 01.

_____. Decreto nº 49.148, de 21 de Janeiro DE 2008. Regulamenta a Lei nº 14.459, de 3 de julho de 2007, que acrescenta o item 9.3.5 à Seção 9.3 - Instalações Prediais do Anexo I da Lei nº 11.228, de 25 de junho de 1992 (Código de Obras e Edificações), e dispõe sobre a instalação de sistema de aquecimento de água por energia solar nas novas edificações do Município de São Paulo. **Diário Oficial de Município de São Paulo**, São Paulo, 22 de Janeiro de 2008.

_____. Lei Orgânica do Município de 4 de Abril de 1990 **Diário Oficial do Município de São Paulo, São Paulo**, 6 de Abril de 1990.

SARTORI, I; HESTNES A.G. Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. **Energy and Buildings**, V.39, p.249–257, 2007.

SEADE, 2011. Disponível em:
<<http://www.seade.gov.br/>>. Acesso em Dezembro 2011.

SECOVI, 2011. Disponível em:
<<http://www.secovi.com.br/>>. Acesso em: Agosto 2011.

SHIEL, P.; JEFFERS, N.; DYAR, M. Energy Conservation Measures in Japan. Trinity College Dublin. January, 2011.

SHOVE, E., MOEZZI, M. What Do Standards Standardize?. **ACEEE Summer Study on Energy Efficiency Buildings. Proceedings**. Pacific Grove, CA, 2002.

SINDUSCON-SP, **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil: A experiência do SindusCon-SP**. São Paulo, 2005.

SHUI et al. **Country Report on Building Energy Codes in China**. Pacific Northwest National Laboratory .Abril, 2009.

SHUI, B.; EVANS, M.; SOMASUDARAM, S. **Country Report on Building Energy Codes in Australia**. Pacific Northwest National Laboratory .Abril, 2009.

TAKIYA, H. **Atlas Ambiental de São Paulo: Fase I: Diagnóstico e Bases para a definição de políticas públicas para as áreas verdes no município de São Paulo. Relatório Final**. Julho de 2002.

TARIFA, J.R, ARMANI, G., **As Unidades Climáticas urbanas da Cidade de São Paulo: Os Climas e a (Re)Produção do Espaço nas Metrôpoles**. 2001.

TAVARES, S.; LAMBERTS, R. Consumo de Energia para construção, operação e manutenção das edificações residenciais no Brasil. **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC e Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído - ELACAC**, Maceió, 2005.

_____. Determinação da Energia Embutida em Edificações: um Atributo de Sustentabilidade, **XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído**, Florianópolis, 2006.

U.E. Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, 4 de Janeiro de 2003.

_____. Diretiva 2010/31/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação). Jornal Oficial das Comunidades Europeias, 18 de Junho de 2010.

UNEP. **Buildings and Climate Change: Status Challenges and Opportunities**, 2007.

_____. **Green Economy Report: GREEN BUILDINGS**. Janeiro 2010.

URGE-VORSATZ, D., NOVIKOVA, A., SHARMINA, M. Counting Good: Quantifying de eco-benefits of improved efficiency in buildings. **ECEEE 2009 Summer Study. Proceedings**. 2009

URGE-VORSATZ, D., (Coord.). Energy End Use (Efficiency): Buildings (Commercial and Residential). Áustria, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), 2009. (KM10, **Global Energy Assessment Report**).

U.S Department of Energy (DOE) Building Energy Codes Program (BECP). **Building Energy Codes – An Introduction**. Fevereiro, 2010.

VENEZUELA. Ordenanza sobre calidad térmica de edificaciones en el municipio Maracaíbo. Janeiro de 2005.

_____. La eficiencia energética en Venezuela. Reunión Intergubernamental de América Latina y el Caribe. Situación y perspectivas de la eficiencia energética en America Latina e El Caribe – CEPAL. Santiago do Chile: Setembro de 2009.

WBCSD – World Business Council for Sustainable Development. **Energy Efficiency in Buildings, Business Realities and Opportunities**. Julho, 2008.

_____. **Energy Efficiency in Buildings: Transforming de Market**. Agosto, 2009.

WEC – WORLD ENERGY COUNCIL. **Energy Efficiency Policies around the World: Review and Evaluation.** Janeiro, 2008.

WEI, X. China Building Energy Efficiency Policies and Codes and Standards System. **REHVA Seminar . Buildings related EU regulations and projects.** Brussels, 27 de Outubro de 2011.

YANG, B. **Residencial Energy Code Evaluations – Review and Future Directions, Building Codes Assistance Project,** Providence, Junho 2005;

GLOSSÁRIO

Absortância à Radiação Solar – Quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.

Atraso Térmico – 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.

Capacidade Térmica – Quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema.

Coefficiente de Sombreamento – Quociente entre o fator solar do componente transparente ou translúcido estudado e o fator solar de um vidro plano incolor de 3 mm de espessura ($FS=0,87$).

Condutividade Térmica – Propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m^2 , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro.

Conforto Térmico – Satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente.

Emissividade – Quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura.

Emitância – Taxa de emissão de radiação por unidade de área.

Fator Solar de Elementos Opacos – Quociente da taxa de radiação solar transmitida através de

um componente opaco pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo.

Fator Solar de Elementos transparentes ou translúcidos – Quociente da taxa de radiação solar diretamente transmitida através de um componente transparente ou translúcido, sob determinado ângulo de incidência, mais a parcela absorvida e posteriormente retransmitida para o interior, pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa dela.

Irradiância – Taxa de radiação incidente sobre um corpo, por unidade de área da superfície.

Irradiância Solar Difusa – Taxa de radiação solar incidente sobre uma superfície por unidade de área, no conjunto de todas as direções, exceto a de incidência direta.

Irradiância Solar Total – Fluxo de radiação solar direto e difuso incidente sobre uma superfície unitária a uma dada inclinação e orientação.

Refletância à Radiação Solar – Quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.

Resistência Superficial Interna – Resistência Térmica da camada de ar adjacente à superfície interna de um componente que transfere calor por radiação e/ou convecção.

Resistência Superficial Externa – Resistência Térmica da camada de ar adjacente à superfície externa de um componente que transfere calor por radiação e/ou convecção.

Resistência Térmica de elementos e Componentes – Quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário.

Resistência Térmica Total – Somatório do conjunto de resistência térmicas correspondentes às

camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa.

Taxa de infiltração – Vazão de ar exterior que circula por um ambiente através de aberturas não intencionais.

Taxa de Renovação de Ar – Numero de trocas de ar de um ambiente por unidade de tempo.

Taxa de ventilação – Vazão de ar exterior que circula por um ambiente através de aberturas intencionais.

Transmitância à Radiação Solar – Quociente da taxa de radiação solar que atravessa um elemento pela taxa de radiação solar incidente sobre este mesmo elemento.

Transmitância Térmica ou Coeficiente Global de Transferência de Calor - Inverso da resistência térmica total.

Umidade Absoluta do ar – Quociente da massa de vapor d'água (em gramas) pela massa de ar seco (em quilogramas)

Umidade Relativa do ar – Quociente da umidade absoluta do ar pela umidade absoluta do ar saturado para a mesma temperatura e pressão atmosférica.

Zona Bioclimática – Região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano.

Irradiância Solar Direta – Taxa de radiação solar direta incidente sobre uma superfície por unidade de área.

APÊNDICE A – Metodologia de seleção de dados dos casos de estudo

O presente apêndice tem como objetivo dar maior detalhe relativamente à metodologia de coleta de dados dos diferentes CEEE analisado. Em primeiro lugar foram recolhidos dados sobre o clima de São Paulo.

Conforme referido na subsecção 4.1, o clima do Município de São Paulo é do tipo Cwa ou seja, um clima subtropical com Inverno Seco e Verão Quente. Na tabela 28 encontram-se resumidos valores de temperatura anuais característicos do município. Já na tabela 29 apresentam-se as necessidades de aquecimento e resfriamento avaliadas em graus dia, *Heating Degree-Days* (HDD) e *Cooling Degree-Days* (CDD) respectivamente, tendo em conta os valores médios dos últimos 5 anos e considerando o local onde se situa o aeroporto de Congonhas (Latitude 23,63 Sul; Longitude 46,66 Oeste).

Tabela 28 – Temperaturas características do Clima de São Paulo

Temperaturas	Máxima	Mínima	Média
Janeiro	28°C	19°C	23°C
Julho	23°C	12°C	17°C

Fonte: CEPAGRI, 2011.

Tabela 29 – Necessidades de Aquecimento e Resfriamento do Município de São Paulo avaliadas em Graus-Dia (HDD e CDD)

Temperatura	HDD	CDD
10°C	-	3643
15°C	91	2005
18°C	343	1061
20°C	653	642

Fonte:Elaboração própria a partir de www.degreedays.net/

A seleção das exigências de propriedades térmicas em cada CEEE analisado teve por base a semelhança climática com o Município de São Paulo. Para os casos em que o CEEE em estudo apresentava requisitos diferenciados em função de um zoneamento bioclimático, foram selecionados os dados das zonas com condições climáticas mais semelhantes ao Município de São Paulo. Na tabela 30 apresentam-se os climas selecionados para coleta de dados e a respectiva justificativa.

Tabela 30 - Semelhanças climáticas dos países estudados face ao Município de São Paulo

País	Clima Escolhido	Justificativa
Chile	ZB 1	HDD (15°C) < 500
Venezuela	Sem zoneamento	País com clima quente
Argentina	Temperatura Inverno > 0°C Z4 (requisitos de Verão)	Não foi possível ter acesso ao zoneamento climático da argentina mas selecionou-se a Z4 por corresponder às regiões mais quentes do país.
Austrália	ZB2 – Verão quente e úmido e Inverno ameno	Temperatura media máxima do Verão < 30°C
China	HSWM – Verão Quente e Inverno Ameno	HDD(18°C) ≤ 600 CDD (18°C) > 200
Japão	ZB 6	HDD (18°C) ≤ 500
México	Não foi determinar a semelhança com nenhum município em particular	País com clima quente
Índia	Clima Quente e Úmido	
IECC e ASHARE 90.1	Z2	3500 ≤ CDD(10°C) ≤ 5000

Fonte: Elaboração própria