

**Carolina Tavares**

**PROPOSTA DE REGULAMENTO DE DESEMPENHO TERMO-ENERGÉTICO DE  
EDIFICAÇÕES PARA A CIDADE DE JOÃO PESSOA – PB**  
**Uma Aplicação à Estação Ciência, Cultura e Artes**

Dissertação apresentada à Coordenação do Mestrado  
em Engenharia Urbana e Ambiental da Universidade  
Federal da Paraíba, para fins de obtenção do título de  
Mestre, sob a orientação do Prof. Dr. Francisco de  
Assis Gonçalves da Silva.

João Pessoa  
Março de 2009

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E AMBIENTAL**

**PROPOSTA DE REGULAMENTO DE DESEMPENHO TERMO-ENERGÉTICO DE  
EDIFICAÇÕES PARA A CIDADE DE JOÃO PESSOA – PB  
Uma Aplicação à Estação Ciência, Cultura e Artes**

**Carolina Tavares**

João Pessoa

Março de 2009

**"PROPOSTA DE REGULAMENTO DE DESEMPENHO TERMO-  
ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES PARA A CIDADE DE JOÃO PESSOA–  
PB – uma aplicação à Estação Ciência, Cultura e Artes"**

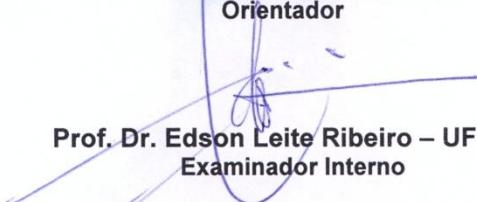
**Por**

**Carolina Guarita Tavares Leite**

Dissertação aprovada em 30 de março de 2009

Período Letivo: 2009.1

  
**Prof. Dr. Francisco de Assis Gonçalves da Silva – UFPB**  
Orientador

  
**Prof. Dr. Edson Leite Ribeiro – UFPB**  
Examinador Interno

  
**Prof. Dr. Homero Jorge Matos de Carvalho – CEFET-PB**  
Examinador Externo

**João Pessoa-PB  
2009**

## **RESUMO**

---

A presente pesquisa refere-se à elaboração uma proposta de um instrumento de legislação urbana para a regulamentação do desempenho termo-energético das edificações, visando dotar a cidade de João Pessoa, Paraíba de uma legislação de Desempenho Termo-energético de Edificações. Está embasada no estudo de regulamentos já existentes em diferentes países e na análise de suas metodologias de avaliação da qualidade térmica da envoltória das edificações. Tem como resultado final um texto regulamentar que impõe determinadas condições de referência que devem ser atendidas no cumprimento do regulamento. Apresenta, ainda, sua validação a partir da análise de um objeto empírico, a Estação Ciência, Cultura e Artes, submetido a aplicação do regulamento proposto na pesquisa, a Norma Brasileira de Desempenho Térmico (ABNT, 2005) e o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (Portugal, 2006).

Palavras chave: regulamentação energética, desempenho térmico, eficiência energética.

---

## **SUMÁRIO**

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS	08
LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE GRÁFICOS	14
LISTA DE TABELAS	16
1 INTRODUÇÃO	18
2 REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1 Princípios Bioclimáticos em Arquitetura	20
2.2 Conforto Térmico e Eficiência Energética no Meio Urbano	22
2.3 Índices de Conforto	24
2.4 Os Elementos Climáticos	27
3 ESTUDOS ANTECEDENTES	29
3.1 Políticas Públicas Energéticas	29
3.2 Contexto Energético Mundial	33
3.3 Contexto Energético no Brasil	35
3.4 Desempenho Térmico das Edificações	38
3.5 Características Térmicas dos Materiais Construtivos	41
4 METODOLOGIA	43
5 NORMATIZAÇÕES EM CONFORTO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	57
5.1 A União Européia	59
5.1.1 Situação Atual nos Estados Membros da União Européia	65
5.1.2 Situação Espanhola	71
5.1.3 Situação Portuguesa	82
5.2 Situação na América do Norte	91

5.3 Situação na América do Sul	93
5.3.1 Situação Brasileira	94
5.3.2 Análise Comparativa dos Regulamentos	100
5.4 UNIVERSO DE ESTUDO	109
6 REGULAMENTO DE DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES PARA A CIDADE DE JOÃO PESSOA	112
7 APLICAÇÃO	130
7.1 Estação Ciência, Cultura e Artes	130
7.1.1 Análise Frente à ABNT	138
7.1.2 Análise Frente ao RCCTE	140
7.1.3 Análise Frente ao Regulamento	141
7.1.4 Análise do Consumo Elétrico	143
8 CONCLUSÕES	145
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	146
10 APÊNDICES E ANEXOS	154
10.1 Apêndice 01 – Tabelas de Características Volumétricas e Materiais Construtivos da Estação Ciência, Cultura e Artes	154
10.2 Apêndice 02 – Tabelas de cálculos das Propriedades Térmicas da Estação Ciência, Cultura e Artes	159
10.3 Apêndice 03 – Tabelas de Levantamento de Componentes e Iluminação e Condicionamento Artificial da Estação Ciência, Cultura e Artes	161
10.4 Anexo 01 – Caracterização Climática da Cidade de João Pessoa	164
10.5 Anexo 02 – Metodologia CTSB / Metodologia de Croiset	168
10.6 Anexo 03 – Metodologia de Cálculo de Número de Renovações do Ar e Dimensionamento das Aberturas	174

10.7	Anexo 04 – Metodologia de Cálculo de Iluminação Natural - Diagramas de G. Pleijel	<hr/> <u>175</u>
10.8	Anexo 05 – Metodologia de Cálculo de Produção de Água Quente Sanitária Através de Energia Solar Térmica	<u>180</u>
10.9	Anexo 06 – Metodologia de Avaliação de Desempenho Térmico – RCCTE	<u>182</u>
10.10	Anexo 07 – Metodologia de Avaliação de Desempenho Térmico – ABNT	<hr/> <u>184</u>

## **LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS**

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
- AQS - Água Quente Sanitária
- ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
- CADE - Centro de Conservação e Diversificação de Energética
- CADEM - Centro para Conservação e Desenvolvimento Energético e Mineral
- CINDACTA 3-PE – Centro de Informações de Dados e Controle de Tráfego Aéreo
- CNDE - Conselho Nacional de Política Energética
- CSTB – Centre Scientifique et Technique du Batiment
- CTE - Código Técnico de Edificações
- DOE - Department of Energy
- Eletrobrás - Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
- EUA – Estados Unidos da América
- EPA - Energie Prestatie Advies - energy performance study
- ERBM - Energy Rating Bench Mark
- EPA' - Environmental Protection Agency
- FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos
- HER - Heat Energy Rating – 1997
- ICAEN - Instituto Catalão da Energia
- ISO - International Organization for Standardization
- LEED - Green Building Rating System: Leadership in Energy and Environmental Design
- LES - Laboratório de Energia Solar
- MME - Ministério de Minas e Energia
- NHER - The National Home Energy Rating Scheme
- NBR - Norma Técnica Brasileira
- PIB - Produto Interno Bruto
- PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PRODEEM - Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios

PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RDTEE - Regulamento de Desempenho Térmico e Eficiência Energética em Edificações para a cidade de João Pessoa

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SAP - Standard Assessment Procedure

SCE - Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

SPQ - Sistema Português da Qualidade

SS - StartPoint Sheme

UE – União Européia

UFPB – Universidade Federal da Paraíba

---

A- Amplitude ( $^{\circ}\text{C}$ )

Aop – Área da superfície opaca ( $\text{m}^2$ )

Atr – Área da superfície transparente ( $\text{m}^2$ )

c – Calor específico ( Kcal/ Kg  $^{\circ}\text{C}$ )

E - Enlongação ( $^{\circ}\text{C}$ )

Ee - Aclaramento na superfície horizontal externa

Eu - Valor do aclaramento útil médio no plano de trabalho

Fi - Fluxo que penetra no recinto pela janela

Fu - Fluxo útil no recinto

he – Coeficiente de condutividade térmica externo ( $\text{W}/\text{m}^2 \ ^{\circ}\text{C}$ )

hi – Coeficiente de condutividade térmica interno ( $\text{W}/\text{m}^2 \ ^{\circ}\text{C}$ )

Ig - Intensidade da radiação solar incidente ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

IL - Índice de local

Ir - Índice de recinto

K – Coeficiente global de transmissão térmica (W/m<sup>2</sup> °C)

Kp - Coeficiente de poço

Kop - Coeficiente de transmissão térmica de superfície opaca (W/m<sup>2</sup> °C)

Ktr - Coeficiente de transmissão térmica de superfície transparente (W/m<sup>2</sup> °C)

Ku - Coeficiente de utilização do local

N - Número de renovações do ar

N<sub>ac</sub> - Necessidade de energia útil para produção de água quente sanitária (W)

N<sub>ic</sub> - Necessidade de energia útil para aquecimento (W)

N<sub>vc</sub> - Necessidade de energia útil para arrefecimento (W)

Q – Ganhos térmicos (W)

Q<sub>op</sub> – Ganhos de calor em superfícies opacas (W)

Q<sub>tr</sub> – Ganhos de calor em superfícies transparentes (W)

Q<sub>p</sub> – Ganhos de calor devido a presença humana (W)

Q' - Perdas térmicas (W)

Q'<sub>op</sub> – Perdas de calor pelas superfícies opacas (W)

Q'<sub>tr</sub> – Perdas de calor pelas superfícies transparentes (W)

Q'<sub>vent</sub> – Perdas de calor por renovação do ar (W)

R<sub>op</sub> - Resistência térmica de superfície opaca (m<sup>2</sup>°C/W)

R<sub>tr</sub> - Resistência térmica de superfície Transparente (m<sup>2</sup>°C/W)

S – Determinação da área coletora

S<sub>op</sub> – Fator solar das superfícies opacas

S<sub>tr</sub> – Fator Solar das superfícies transparentes

S<sub>zt</sub> – Superfície iluminante zenital total requerida (m<sup>2</sup>)

t<sub>e</sub> – Temperatura exterior ao edifício (°C)

ti - Temperatura interior ( $^{\circ}\text{C}$ )

timax - Temperatura interna máxima ( $^{\circ}\text{C}$ )

tq - Temperatura equivalente ( $^{\circ}\text{C}$ )

tqm - Temperatura equivalente média ( $^{\circ}\text{C}$ )

tqn - Temperatura equivalente mínima ( $^{\circ}\text{C}$ )

tqx - Temperatura equivalente máxima ( $^{\circ}\text{C}$ )

tse - Temperatura superficial externa ( $^{\circ}\text{C}$ )

tsi - Temperatura superficial interna ( $^{\circ}\text{C}$ )

tsm - Temperatura superficial interior média ( $^{\circ}\text{C}$ )

tsn - Temperatura superficial interior mínima ( $^{\circ}\text{C}$ )

tsx - Temperatura superficial interior máxima ( $^{\circ}\text{C}$ )

U – Coeficiente global de transmitância térmica ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ )

V – Velocidade do vento (m/s)

v - Coeficiente de caixilho

---

$\alpha$  – Coeficiente de absorção da radiação solar

$\varepsilon$  - Emissividade

$\Delta T$  – Diferença de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Theta_i$  – Amplitude inferior equivalente

$\Theta_s$  – Amplitude superior equivalente

$\mu$  - Coeficiente de amortecimento

$\omega_s$  – Amplitude superior interna

$\omega_i$  – Amplitude inferior interna

---

## **LISTA DE FIGURAS**

Fig.01 – Planta baixa residência 60m <sup>2</sup>	<u>124</u>
Fig.02 – Corte residência 60m <sup>2</sup>	<u>124</u>
Fig.03 – Caudal de ventilação	<u>125</u>
Fig.04 – Implantação	<u>130</u>
Fig. 05 - Planta Baixa Subsolo	<u>131</u>
Fig. 06 - Planta Baixa Térreo	<u>131</u>
Fig. 07 - Planta Baixa Primeiro Pavimento	<u>132</u>
Fig. 08 - Planta Baixa Segundo Pavimento	<u>132</u>
Fig. 09 - Planta Baixa Terceiro Pavimento	<u>132</u>
Fig. 10 - Planta Baixa Pavimento Técnico	<u>132</u>
Fig. 11 – Corte	<u>133</u>
Fig. 12 – Fachada Leste	<u>133</u>
Fig. 13 – Fachada Sul	<u>133</u>
Fig. 14 – Planta Baixa Térreo Auditório	<u>134</u>
Fig. 15 – Planta Baixa Subsolo Auditório	<u>134</u>
Fig. 16 – Corte Auditório	<u>135</u>
Fig. 17 – Fachada Norte Auditório	<u>135</u>
Fig. 18 – Fachada Oeste Auditório	<u>135</u>
Fig. 19 – Fachada Leste Auditório	<u>135</u>
Fig. 20 – Fachada Sul Auditório	<u>135</u>
Fig. 21 – Planta Baixa Anfiteatro	<u>136</u>

Fig. 22 – Corte Baixa Anfiteatro	<u>136</u>
Fig. 23 – Fachada Oeste Anfiteatro	<u>136</u>
Fig. 24 – Fachada Leste Anfiteatro	<u>137</u>
Fig. 25 – Fachada Sul Anfiteatro	<u>137</u>
Fig. 26 – Planta Baixa Lanchonete	<u>137</u>
Fig. 27 – Corte Lanchonete	<u>137</u>
Fig. 28 – Fachada Norte Lanchonete	<u>137</u>
Fig. 29 – Fachada Leste Lanchonete	<u>138</u>
Fig. 30 – Fachada Oeste Lanchonete	<u>138</u>

---

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Dados de temperatura do ar para dia típico em João Pessoa	51
Gráfico 02 – Radiação solar incidente fachada sul	51
Gráfico 03 – Radiação solar incidente fachada leste	51
Gráfico 04 – Radiação solar incidente fachada norte	51
Gráfico 05 – Radiação solar incidente fachada oeste	51
Gráfico 06 – Radiação solar incidente plano horizontal	51
Gráfico 07 – Radiação solar incidente total	51
Gráfico 08 – Temperatura equivalente horizontal	53
Gráfico 09 – Temperatura equivalente fachada sul	53
Gráfico 10 – Temperatura equivalente fachada leste	53
Gráfico 11 – Temperatura equivalente fachada norte	53
Gráfico 12 – Temperatura equivalente fachada oeste	53
Gráfico 13 – Temperatura equivalente total	53
Gráfico 14 – Definição dos parâmetros básicos para o cálculo da transmissão do calor em regime periódico	55
Gráfico 15 – Gráfico para o cálculo do coeficiente de amortecimento térmico	56
Gráfico 16 – Gráfico para o cálculo do retardo térmico	57
Gráfico 17 – Médias mensais de insolação	110
Gráfico 18 – Médias mensais de nebulosidade	110
Gráfico 19 – Médias máximas mensais de temperatura do ar	110
Gráfico 20 – Médias mínimas mensais de temperatura do ar	110
Gráfico 21 – Médias mensais de temperatura do ar	110
Gráfico 22 – Médias mensais de umidade relativa do ar	110

Gráfico 23 – Médias mensais de radiação solar \_\_\_\_\_ 111

Gráfico 24 – Médias mensais de velocidade do vento \_\_\_\_\_ 111

---

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Dados de radiação solar incidente ( $I_g$ ) sobre os planos verticais e horizontais ( $W/m^2$ ) – 22 de dezembro	50
Tabela 02 – Dados de temperatura do ar para dia típico em João Pessoa	50
Tabela 03– Temperatura equivalente plano horizontal	52
Tabela 04– Temperatura equivalente fachada sul	52
Tabela 05– Temperatura equivalente fachada leste	52
Tabela 06– Temperatura equivalente fachada norte	53
Tabela 07– Temperatura equivalente fachada oeste	53
Tabela 08 – Índices para condições limite de desempenho térmico da envolvente	55
Tabela 09 – Principais diretrizes e características das normativas europeias relativas às edificações	101
Tabela 10 – Principais características das normativas norte-americanas relativas às edificações	107
Tabela 11 – Principais características das normativas sul-americanas relativas às edificações	107
Tabela 12 – Condições Climáticas da Cidade de João Pessoa	115
Tabela 13 – Edificação – Caracterização Geométrica e Construtiva	116
Tabela 14 – Quantificação dos Parâmetros Térmicos	118
Tabela 15 – Quantificação da Iluminação Natural Zenital	119
Tabela 16 – Quantificação da Iluminação Natural Lateral	120
Tabela 17 – Quantificação da Produção de Água quente Sanitária	121
Tabela 18 – Edificação – Caracterização Geométrica e Construtiva	124
Tabela 19 – Ar Exterior para Renovação	125
Tabela 20 – Áreas de abertura e volumes do recinto	125

Tabela 21 – Quantidade de renovações do ar quartos	126
Tabela 22 – Quantidade de renovações do ar serviço	126
Tabela 23 – Quantidade de renovações do ar WC, cozinha e sala	126
Tabela 24 – Aclaramento útil no plano de trabalho	127
Tabela 25 – Aclaramento útil no plano de trabalho para residência	127
Tabela 26 – Quantificação da Produção de Água quente Sanitária	128
Tabela 27 – Condições internas para verão	128
Tabela 28 – Determinação da temperatura superficial interior máxima	128
Tabela 29 – RCCTE - Folha de cálculo	141
Tabela 30 – Sistema Elétrico e de Iluminação Artificial	143
Tabela 31 – Sistema de Condicionamento de Ar	144
Tabela 32 – Consumo Anual de Energia da Escola Almirante Barroso	144

---

## **INTRODUÇÃO**

A primeira grande crise do petróleo, na década de setenta, revelou a vulnerabilidade das economias ocidentais frente às mudanças no preço dessa matéria prima, criando-se políticas para melhorar a eficiência energética e reduzir a dependência do petróleo. A segunda crise acentuou a necessidade dessas políticas, que produziram de forma generalizada a redução da intensidade energética e a diminuição do peso do petróleo nos balanços energéticos, ao mesmo tempo em que a energia nuclear e o carbono aumentavam sua participação. A globalização da economia aliada à obrigação de suprir as necessidades energéticas a custos competitivos e boa qualidade motivaram os países desenvolvidos a garantir a disponibilidade de recursos, adquirindo a eficiência energética uma alta relevância na liberação de mercados, nos quais o meio ambiente assume uma premissa crescente.

O termo “eficiência energética” é muitas vezes tido como um conceito auto-explicativo, descartando-se o enorme conjunto de fatores de influência e atributos comprometidos por essa consideração. Sendo diretamente relacionado com o aspecto tecnológico, as políticas e medidas de prática da eficiência energética englobam muitas vezes fatores de maior importância. Em qualquer sistema produtivo, a inserção de uma nova tecnologia pode resultar em redução da demanda energética, da mesma forma que o aumento do preço real dessa energia acarretará a redução de seu consumo.

A eficiência energética em vários setores é uma realidade muito difícil de ser alcançada, e vista como um empecilho à atividade econômica, onde a redução do consumo é entendida como redução da produção e rentabilidade. Muitas vezes são tomadas medidas de estímulo a atividades de melhoria do fornecimento e consumo de energia, porém sem haver uma correspondente melhora de eficiência energética. A inexistência de normativas e informação à população faz com que exista a idéia de que os custos sejam maiores do que os benefícios. Outra dificuldade está em identificar e calcular com precisão o valor da conservação e sua relação com a valorização e rentabilidade dos ativos atuais.

A energia é um elemento chave no desenvolvimento econômico e social. O aumento de consumo de energia deriva do crescimento econômico e da tendência de atender um maior número de necessidades, tornando-se cada vez mais urgente a integração dos aspectos ambientais ao desenvolvimento sustentável na política

energética. A tendência crescente deste consumo se deve à melhoria do nível de vida, com o aumento dos equipamentos eletro-eletrônicos familiares e à demanda de maiores níveis de conforto. Os consumos de energia no setor residencial dependem do crescente número de edificações, do clima, das características construtivas dos edifícios e do rendimento das instalações térmicas e lumínicas existentes.

A indústria de energia é responsável por uma série de impactos negativos no meio ambiente local e global. Existem basicamente três maneiras de se procurar refletir as preferências da sociedade de minimizar os efeitos negativos da produção ou consumo de energia: estabelecimento de normas e padrões, impostos ou taxas e mais recentemente tem-se a criação de quotas de poluição que podem ser transacionadas entre os agentes através de mecanismos de mercados. Nesse aspecto temos o setor público como o responsável para estabelecer limites e especificar padrões de desempenho e de eficiência energética em equipamentos e edificações, visando maiores benefícios sociais e ambientais.

Um edifício é um sistema energético muito complexo, especialmente quando permite um elevado grau de interação com seu ambiente imediato, com o propósito de melhorar seu desempenho energético. Além do mais, a relevância do setor de edificações na energia, a introdução de ferramentas rigorosas de análise energética, capacidade de avaliar apropriadamente as implicações operacionais de diferentes opções de projeto, devem ser promovidas. Originada pela deficiência da tradição da análise energética nesse setor, a função das normativas é de suma importância para se alcançar uma introdução efetiva das ferramentas de análise energética no setor de edificações.

O presente trabalho teve como objetivo geral: elaborar uma proposta de um instrumento de legislação urbana para a regulamentação do desempenho termo-energético das edificações, visando a dotar a cidade de João Pessoa, Paraíba de uma legislação de Desempenho Termo-energético de Edificações.

Teve-se como objetivos específicos: buscar soluções para a melhoria do conforto térmico, qualidade do ar interior e eficiência energética; apontar possibilidades de aplicação das técnicas solares passivas e estratégias bioclimáticas para as construções urbanas; e por fim promover a diminuição do consumo de energia elétrica configurado no uso de sistemas artificiais de iluminação e condicionamento do ar nas edificações da cidade.

---

## **REVISÃO DE LITERATURA**

A racionalização do uso da energia mantém estreitos vínculos com a adequação da arquitetura e do planejamento urbano ao clima. Os controles térmicos naturais podem propiciar a redução do excesso de calor no meio urbano e consequentemente no interior dos edifícios, minimizando, por vezes, o rigor climático. A conservação e o uso racional de energia não implicam redução de conforto ou bem-estar. O ambiente construído deve proteger o seu usuário, garantindo-lhe, condições aceitáveis de habitabilidade tanto em nível urbano quanto do edifício.

Uma das principais barreiras para avaliar o desempenho térmico de uma edificação diz respeito à definição de diretrizes embasadas pelos prognósticos de conforto térmico, onde é criado um critério comparativo. Geralmente são usadas ferramentas de simulação adotando o consumo energético e temperatura do ar no interior da edificação como critérios de desempenho térmico e eficiência energética.

A arquitetura e a construção civil devem utilizar novas tecnologias que propiciem soluções alternativas e sistemas eficientes de sustentabilidade. O desenvolvimento sustentável, dentro da arquitetura, visa ao uso racional dos recursos naturais e é um princípio que deve ser adotado em programas públicos e privados, uma vez que a demanda de consumo de energia e água já se mostrou maior em relação à disponibilidade de recursos existentes hoje.

### **Princípios Bioclimáticos em Arquitetura.**

Os princípios bioclimáticos eram utilizados antes da primeira crise do petróleo, empregados essencialmente em residências unifamiliares, baseando sua eficiência na eleição da forma do edifício, sua implantação, disposição dos espaços e orientação segundo as características do local: clima, ventos dominantes, qualidade do solo, topografia, radiação solar e iluminação.

O desempenho energético e as condições de conforto das edificações são diretamente dependentes da adequação climática dos projetos arquitetônicos. Para SHALDERS NETO (2003) de várias formas, o clima é o fator determinante para a escolha das características construtivas quando se busca o desempenho térmico e a eficiência energética em uma edificação. Quando as interferências climáticas são

consideradas no projeto e construção de um edifício, visando à melhoria do conforto e um menor consumo de energia, a arquitetura é denominada bioclimática.

O impacto que a construção de um edifício tem sobre o meio ambiente se pode analisar, segundo MARTINEZ (2006), através das seguintes características: implantação da construção em um solo determinado, integração com o entorno, comportamento do edifício ao longo de sua vida útil desde seu desenho arquitetônico até sua demolição, consumo energético durante a vida útil do edifício, características dos materiais utilizados, pelo impacto que podem produzir ao meio ambiente durante seu próprio processo de fabricação, durante sua vida útil e durante sua fase de reciclagem ou eliminação.

De acordo com LANHAM et al. (2004) a sustentabilidade na construção passa por três medidas essenciais: em primeiro lugar, a melhoria dos projetos em termos de eficiência energética, diminuindo as suas necessidades em iluminação, ventilação e climatização artificiais, em segundo lugar, a substituição do consumo de energia convencional por energia renovável, não poluente e gratuita e finalmente, em terceiro lugar, a utilização de materiais locais, preferencialmente materiais de fontes renováveis ou com possibilidade de reutilização e que minimizem o impacto ambiental (extração, gastos de energia, consumo de água na sua extração, aspectos de saúde, emissões poluentes etc.).

Na fase de projeto, têm-se condicionantes arquitetônicos e urbanísticos muito importantes nesse aspecto: loteamentos urbanos com critérios de urbanismo ou de cidade sustentável; utilização do solo maximizando seu valor ecológico (integração da edificação com seu entorno natural); consideração das formas adequadas do edifício para cada tipo de clima e em função do entorno construído; sombras sobre outros edifícios; cor das fachadas e sua situação relativa (localização topografia, ventilação dominante).

Com relação à tipologia edificatória, a orientação geográfica e distribuição interior, a iluminação natural, ventilação natural, centralização de funções, os elementos construtivos e materiais de acabamento afetam o comportamento ambiental dos edifícios. Os sistemas de instalação e a qualidade do ar interior são diretamente ligados à eficácia do sistema de ventilação, limitando a entrada de contaminantes exteriores no edifício e eliminando os contaminantes gerados interiormente, reduzindo suas concentrações a limites permissíveis.

Existe uma troca constante de energia térmica entre um edifício e seu entorno adjacente que varia em função das características de sua envolvente, cujos elementos podem ser utilizados para conforto, com uso reduzido de energia, sendo a envolvente determinante na absorção da carga térmica, devido às características dos materiais que as constituem, sua forma, a localização, proporção, orientação e tipo das aberturas. A quantidade de calor que entra em um edifício e o aproveitamento da luz natural podem definir um edifício como poupador ou não de energia.

Na grande maioria das edificações são desperdiçadas relevantes oportunidades de poupar energia e custos pela não consideração efetiva, desde o projeto arquitetônico, passando pela construção até a utilização final, de importantes desenvolvimentos nas áreas de novos conceitos arquitetônicos, materiais, equipamentos e tecnologias construtivas vinculados à eficiência energética.

### **Conforto Térmico e Eficiência Energética no Meio Urbano.**

O ambiente urbano deveria ser um local onde as necessidades de bem-estar para o indivíduo fossem contempladas, de acordo com PAULA (2004). Em alguns casos, porém, as cidades não oferecem condições ambientais adequadas para que seus habitantes tenham uma qualidade de vida satisfatória. Existem estudos desenvolvidos em várias regiões do mundo, em diferentes climas, voltados a aumentar esta qualidade de vida e o conforto ambiental que a ela está associado. O conforto térmico aplica-se tanto em relação aos ambientes internos quanto aos externos. Os ambientes internos são influenciados pelo externo, estando as duas formas relacionadas.

De acordo com SHALDERS NETO (2003) padrões arquitetônicos foram drasticamente alterados pela possibilidade do uso generalizado da energia elétrica para a climatização e iluminação. Energia elétrica esta, que era produzida basicamente a partir de combustíveis fósseis. Nesse contexto, pode-se afirmar que os princípios fundamentais que permitiram o desenvolvimento da moderna arquitetura estão ancorados na disponibilidade energética. A "máquina de morar" de Le Corbusier, a possibilidade de um movimento arquitetônico internacional, com padrões aplicáveis a diversas regiões do planeta, a construção em grande escala, os planos urbanísticos que se aplicavam igualmente em Paris ou Brasília somente foram possíveis devido à disponibilização dos recursos energéticos propiciada pelo acelerado desenvolvimento da indústria energética no século 20.

Da mesma forma, BUENO (2003) diz que o meio urbano é fruto das condições ambientais, mas sofre grande influência das atividades exercidas pelo homem, sendo alterado através de intervenções como a poluição de automóveis e a produção de energia pelas edificações. A forma e as características físicas dos elementos constituintes do meio urbano são determinantes na caracterização dos microclimas urbanos. As cidades são mais quentes, menos iluminadas e mais poluídas do que as áreas rurais. O fenômeno ilha de calor é um exemplo de alteração climática, causada a nível local, pelas cidades.

Para YOSHIDA (2006), um dos principais fatores que contribuem para esse acréscimo de temperatura nas cidades é a elevada capacidade de absorção de calor das superfícies urbanas. O mesmo é constatado por PAULA (2004), que aponta que a formação das ilhas de calor ocorre devido às massas de edificações, aos materiais das construções e vias públicas que absorvem grande quantidade de radiação solar, à redução da velocidade do vento, à poluição que reduz a perda de radiação de onda longa pelas superfícies para a atmosfera, à drenagem insuficiente pelo sistema de captação de águas pluviais, à não filtração de água no solo como consequência da utilização de revestimentos impermeáveis e à redução da energia utilizada nos processos de evapotranspiração realizados pela vegetação.

SANTAMOURIS (2001) salienta ainda, que além dos fatores mencionados, a geometria dos cânions urbanos que contribui para a redução da radiação de onda longa nas ruas trazendo uma complexa diferença entre as edificações e as condições do céu, a utilização de condicionadores de ar e refrigeradores e as emissões provenientes dos automóveis e das indústrias provocam o aumento de calor na área urbana.

O aumento do calor na cidade modifica a circulação dos ventos, a umidade e até as chuvas. Materiais impermeáveis como asfalto e concreto fazem a água da chuva escoar do solo rapidamente. As partículas lançadas na atmosfera pelos carros e indústrias propiciam o aumento da quantidade de nuvens e consequentemente de chuvas. A ventilação no meio urbano resulta das interferências morfológicas características e rugosidades das cidades, podendo a velocidade do ar ser maior ou menor nas cidades do que em áreas rurais dependendo das turbulências.

## **Índices de Conforto.**

O conforto ambiental pode ser explicado como o conjunto de sensações subjetivas das pessoas, em relação a determinadas características do ambiente. Essas podem, segundo CASTRO (1999), ser representadas pelo conforto acústico, luminoso, visual, psicológico, espacial e térmico. Essa definição não é facilmente traduzida a parâmetros físicos já que a sensação de bem-estar dos ocupantes não depende somente da qualidade do ambiente, e sim de hábitos, stress, condição social, nível cultural e critérios subjetivos conseqüentes de diferenças de sensibilidade entre os indivíduos.

Devido a esses fatores MENEZES (2006) afirma que o conforto térmico pode ser visto e analisado sob dois pontos de vista: pessoal ou ambiental. Se for considerado apenas o ponto de vista pessoal, define-se conforto térmico como sendo uma condição mental que expresse satisfação com o ambiente térmico. Do ponto de vista físico, confortável é o ambiente cujas condições permitam a manutenção da temperatura interna sem a necessidade de serem acionados os mecanismos termoreguladores, ou seja, é necessário que o organismo humano se encontre em equilíbrio térmico com o meio ambiente.

RUAS (2001) aponta que a preocupação do homem com o conforto térmico é muito antiga. Um exemplo disso é a obra, citada por NEVINS (1966), "*History and Art of Warming and Ventilation Rooms and Buildings*" escrita por Walter Bernan e publicada em 1845. Nela o autor prevê que a criação e controle de ambientes climáticos artificiais assumirão a dimensão de uma ciência que contribuirá para o desenvolvimento da humanidade, para a preservação da saúde e longevidade do ser humano. Sabendo-se que as populações urbanas passam quase que a totalidade do seu tempo em ambientes edificados, especial atenção deve ser dada ao estudo das condições ambientais satisfatórias à ocupação humana e às características construtivas das edificações necessárias à obtenção dessas condições.

Segundo COUTINHO (1988), em algumas condições termoambientais, a estabilidade da temperatura interna é obtida à custa de esforço do organismo, representado por desconforto e queda de rendimento. Em outras condições, a estabilidade é alcançada sem qualquer esforço do organismo, observando-se, então, conforto e aumento do rendimento.

BARBOSA (1997) diz que o processo de avaliação do ambiente térmico requer a existência de critérios e valores limites de referência baseados nos índices e escalas

de conforto térmico. No intuito de quantificar o comportamento humano ante as variações térmicas do ambiente, são definidos índices que expressam a relação entre causa e efeito, com a utilização de valores numéricos representativos do fenômeno. Com base nos índices, estabelecem-se as zonas de conforto térmico delimitadas graficamente sobre diversos tipos de nomogramas ou através de cartas e diagramas que limitam os parâmetros físicos e definem o domínio no qual se estabelecem as zonas de conforto térmico. As escalas são montadas em termos de sensações subjetivas graduadas por conforto e desconforto térmico, relacionando-se tais graduações com os parâmetros físicos de estímulo. Atualmente, os índices evoluíram e os modelos de conforto estão sendo desenvolvidos com o apoio da informática.

De acordo com BERALDO (2006) os elementos climáticos interagem-se mutuamente para criar a sensação de conforto. Estes elementos foram combinados em uma forma gráfica conhecida como carta bioclimática, desenvolvida por Olgay em 1954. O objetivo dessa carta é identificar as combinações dos elementos climáticos aos quais um ocupante pode se sentir confortável. Olgay, em 1963 propõe uma metodologia de desenvolvimento que permite ponderar questões relativas ao clima, localização, orientação, forma das edificações, ventos e critérios na escolha de materiais e componentes. Foi o primeiro a delinear uma zona de conforto através de um gráfico bioclimático onde, a partir de dados climáticos de temperatura de bulbo seco e umidade relativa, para um determinado clima, é possível verificar a porcentagem de desconforto e possíveis estratégias que poderiam restabelecer o nível de conforto em maior proporção.

BARBOSA (1997) apud LIM (1983), afirma que em anos mais recentes o aperfeiçoamento nessa área de conhecimento ocorreu da seguinte forma: Fanger em 1967 formulou uma equação geral de conforto para calcular a combinação das variáveis ambientais incluindo a temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade relativa, temperatura do ar, nível de atividade e vestimenta. Essa equação foi correlacionada com o Voto Médio Estimado que representa a sensação térmica subjetiva resultante de pesquisa, onde se obteve resposta de 1296 usuários dinamarqueses e norte americanos, submetidos a condições controladas de ambiente interno.

Em 1969, Givoni concebe a sua carta bioclimática para edifícios. BERALDO (2006) aponta que esta se baseia em temperaturas internas do edifício propondo estratégias construtivas para a adequação da arquitetura ao clima. A Carta bioclimática de Givoni é construída sobre o diagrama psicrométrico e apresenta nove

diferentes zonas relacionadas com diferentes estratégias de atuação: de conforto, de ventilação, de resfriamento evaporativo, de massa térmica para resfriamento, de ar condicionado, de umidificação, de massa térmica para aquecimento, de aquecimento solar passivo, de aquecimento artificial. As pesquisas em conforto se centraram na análise estatística de um grande grupo de pessoas para determinar quantas estavam satisfeitas em um dado conjunto de condições ambientais. Portanto a zona de conforto apenas representa uma área em um gráfico em que a combinação de parâmetros ambientais é aceitável para a maioria das pessoas estudadas.

Segundo BARBOSA (1997) apud LIM (1983) Fanger e Rohles, em 1970, usaram o conceito da “Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas” para suplementar o Voto Médio Estimado de indivíduos na avaliação de um ambiente térmico. Gagge, em 1972, definiu a temperatura efetiva padrão como a temperatura de um ambiente fechado isotérmico, com velocidade do ar abaixo de 0,15 m/s, umidade relativa de 50%, onde pessoas em atividade sedentária, vestidas com roupas de 0,6 Clo teriam os mesmos valores de suor e de temperatura média da pele que os ocupantes de um ambiente real não uniforme. Humphreys, em 1975 após examinar cerca de trinta estudos de campo, propôs um novo método de estimar a resposta média ao calor em uma escala de sete categorias, usando apenas a temperatura do ar do ambiente e a temperatura média mensal do local no início da manhã.

Em 1981, as conclusões de Fanger foram incorporadas à carta de conforto da norma ASHRAE 55-1981, revisada em 1992. Em continuidade, as normas ISO-7730 em 1984, também incorporaram as conclusões de suas pesquisas e recomendam que para conforto nos espaços de ocupação humana, a Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas deve ser menor do que 10%, o que corresponde a uma faixa de variação de -0,5 a +0,5. As conclusões das pesquisas realizadas resultou na definição de diversas cartas e diagramas bioclimáticos onde se integram informações complementares, como comportamento climático do entorno, previsão de estratégias indicadas para a correção desse comportamento climático por meio do desempenho esperado na edificação e zonas de conforto térmico.

Em 1992 Givoni descreve a sua nova carta bioclimática para países desenvolvidos e países em desenvolvimento, com suas estratégias para projetos, afirmindo que novas pesquisas trouxeram mais informações e base científica para a demarcação das condições climáticas, sob as quais estratégias de projeto diferentes para o conforto de verão podem ser aplicadas. Segundo BARBOSA (1997) apud LIM (1983) a carta bioclimática de Givoni é apresentada sobre uma carta psicrométrica e

os limites originais de conforto foram determinados com base em pesquisas conduzidas nos Estados Unidos, Europa e Israel. Entretanto, considerando estudos realizados em países quentes e apoiado no fato de que as pessoas que moram em países em desenvolvimento e de clima quente e úmido, aceitam limites máximos superiores de temperatura e umidade.

OLIVEIRA (2006) diz que a análise da ocorrência de temperaturas é uma alternativa ao método de classificação, porém implica na definição das zonas de conforto térmico para usuários de edificações condicionadas passivamente. É um equívoco a adoção de um índice de conforto validado em países de clima temperado e em edificações condicionadas artificialmente como critério para avaliação de edificações naturalmente ventiladas em países em desenvolvimento de clima tropical. Ainda que as normas ISO 7730-1994 e ASHRAE Standard 55-2004 sejam empregadas em normas de edificações em países em desenvolvimento e tragam novos estudos – como o caso da norma ASHRAE 55-2004 que inclui um modelo adaptativo de conforto térmico – seu uso apenas se justifica pela escassez de referências mais apropriadas, sendo necessário considerar estudos para avaliar as exigências de conforto térmico de cada região.

### **Os Elementos Climáticos.**

De acordo com GOULART et al. (1998) o conhecimento das condições climáticas externas é importante pois estas representam os requisitos básicos para projeto, cálculos simplificados do consumo de energia e para simulações mais detalhadas do comportamento térmico e consumo de energia em edificações. Entretanto, os dados meteorológicos existentes não são tratados para a solução de problemas da edificação, o que dificulta a atuação de profissionais e o desenvolvimento de pesquisas na área.

Os elementos climáticos mais relevantes, que devem ser considerados para efeito da concepção de ambientes com condições de conforto adequadas são, em termos gerais: a intensidade da radiação solar, a temperatura do ar, umidade do ar e as condições de vento.

Segundo LAMBERTS (1997) no que diz respeito, especificamente, aos efeitos da radiação em uma edificação, pode-se classificar os intercâmbios térmicos que ocorrem com seu componentes em função da origem e da característica da radiação, de modo a avaliar a parcela de contribuição para o desempenho termo-ambiental da

edificação: radiação solar direta, de onda curta, radiação solar difusa, de onda curta, proveniente da abóbada celeste, radiação de onda curta proveniente do solo e das superfícies adjacentes, radiação térmica (onda longa) proveniente do solo e dos objetos adjacentes com temperatura superior, radiação térmica (onda longa) emitida pelas superfícies da edificação.

Um dos parâmetros mais significativos ligado ao conforto térmico é a velocidade do ar. A ventilação natural proporciona trocas térmicas entre o meio interior e exterior, bem como a renovação do ar do ambiente, contribuindo para a qualidade do ar e conforto térmico. A circulação natural somente ocorre quando existem aberturas de entrada (locadas em zonas de pressão positiva) e aberturas de saída (locadas em zonas de pressão negativa). Considerando-se a direção, freqüência e velocidade dos ventos, as aberturas deverão ser dimensionadas e distribuídas de forma que garantam maior eficiência e rendimento da ventilação natural.

Segundo COSTA (2003), de um modo geral a renovação de ar de um ambiente pode ser classificada como natural (espontânea) ou artificial (forçada). Recebe o nome de ventilação natural de um local, aquela que se verifica em virtude das diferenças de pressões naturais (originadas pelos ventos e gradientes de temperatura), existentes através das superfícies que limitam o ambiente considerado.

A orientação de um edifício, baseada nas características climáticas locais, principalmente insolação e ventilação, é um dos princípios mais importantes a serem adotados na busca pelo conforto térmico e bom desempenho energético das edificações.

---

## **ESTUDOS ANTECEDENTES**

Desde a década de setenta numerosas medidas de eficiência energética foram implantadas no setor de edificações, principalmente através de códigos e normativas. Atualmente muitos governos e organismos públicos estão revisando tais códigos para reforçá-los e adequá-los às novas tecnologias de construção. As principais medidas em estudo são referentes à qualificação energética dos edifícios, maiores requerimentos de isolamento e regulação térmica (calefação e condicionamento de ar) em edifícios públicos e centros comerciais, como acontece em países como Noruega, França, Finlândia, Grécia, Irlanda, Japão, Países Baixos, entre outros.

A evolução dessas novas medidas se deve principalmente ao uso de equipamentos e eletrodomésticos nas famílias, para o aumento do conforto térmico das residências, aumentando o consumo de energia. Outro fator foi a ampliação urbanística e do parque automobilístico e as melhorias na infra-estrutura de transportes, produzindo maiores índices de mobilidade e consumo de combustíveis fósseis.

De acordo com GUGLIELMETTI (2002), um regulamento energético é facilmente executável uma vez que atua ainda na fase de projeto e só depende de uma nova postura frente ao mesmo e da adoção de parâmetros pré-estabelecidos. As decisões dos arquitetos relativas à forma, durante o processo de concepção dos edifícios, têm uma grande influência no futuro comportamento térmico dos mesmos, particularmente as decisões tomadas nas fases iniciais da concepção. Através da orientação do edifício e das suas áreas envidraçadas, além dos efeitos das sombras sobre este, pode estruturar-se, desde o início, o padrão de consumo energético do futuro edifício.

### **Políticas Públicas Energéticas**

O panorama da economia atual é caracterizado por novas condições financeiras, tecnológicas e custos para geração de eletricidade, fatores que vêm provocando grandes reformas do setor energético. Competitividade, eficiência econômica e maior investimento da iniciativa privada no setor energético também podem ser observados. GUGLIELMETTI (2002) diz que a melhoria das condições ambientais locais e regionais, a redução do consumo de energia global do país e a desvinculação das curvas de crescimento do consumo global versus a curva do

crescimento do PIB são apontados como fatores responsáveis por essas reformas. Além desses, pode-se citar outros fatores tais como a redução de poluentes na atmosfera amortizando os impactos sobre o efeito estufa, a promoção do desenvolvimento sustentado e da estabilidade econômica e a redução dos riscos globais e da dependência gerada pelo uso do petróleo.

De acordo com JANNUZZI (2000), um dos efeitos da crise energética ocorrida na década de setenta foi o posicionamento da energia no núcleo da política econômica. Dessa forma, uma vez identificada à energia como fator principal da economia ao longo dos últimos trinta anos, procedeu-se a implantar permanentemente, uma série de elementos de planificação energética: análise da estrutura de fornecimento, estratégias de diversificação, prospectiva de demanda e de mercado. Tal planificação considera questões socioeconômicas, geopolíticas, tecnológicas e ambientais e identifica objetivos comuns em quantidade, qualidade e preço, introduzindo uma nova política de eficiência energética.

Nesse contexto pode-se avaliar, por exemplo, a tradição em iniciativas de programas de eficiência energética dos Estados Unidos. De acordo com o mesmo autor, muitas delas foram conduzidas pelas próprias companhias verticalmente integradas e outras surgiram a partir de determinações no plano federal e estadual. Dentre exemplos que tiveram impactos mundialmente, estão os programas como *Energy Star Program* e *Green Lights Program*. O estabelecimento de normas técnicas mais rigorosas, federais e estaduais, tem acelerado a introdução em escala comercial de avanços técnicos e tecnologias que de outra maneira não teriam entrado no mercado. O mesmo acontece com as normas de edificações para prédios públicos federais, e em muitos estados o Departamento de Energia (*Department of Energy – DOE*) tem dedicado recursos substanciais para a pesquisa e desenvolvimento de tecnologias eficientes até recentemente. Muitas dessas iniciativas datam desde a década de 1970, durante o choque do petróleo e também como resposta à crescente pressão de ambientalistas preocupados com a proliferação da energia nuclear e poluição de termoelétricas a carvão e petróleo.

Fontes renováveis estão em desvantagem em um ambiente de maior competição para a produção de eletricidade, pois ainda apresentam custos maiores e requerem investimentos, em muitos casos. No entanto, existem diferentes tipos de programas de eficiência energética e conservação de energia:

-Programas para promover substituição de combustíveis, destinados a reduzir a demanda de energia em períodos de pico, ou tornar certos usos cativos, como

sistemas de ventilação e ar condicionado, aquecimento de água e bombas de calor, transporte elétrico.

-Programas de administração de carga, sem necessariamente reduzir o consumo de energia, como tarifas horizontais, aquecedores de água com reservatórios de armazenamento, sistemas de aquecimento abastecidos com dois tipos de combustíveis (ou eletricidade-gás), sistemas de ar condicionado com armazenamento de gelo.

-Programas de eficiência energética destinados a reduzir a quantidade de eletricidade consumida, como auditorias energéticas, condicionamento climático de edifícios, informação ao consumidor, melhoria de processos, mudanças de tecnologias.

É necessário introduzir medidas e instrumentos específicos para aproveitar o impacto energético no desempenho do setor das edificações. Esse setor apresenta diversas peculiaridades, algumas mais complicadas que outras, introduzindo importantes requisitos nos instrumentos e medidas propostas no intuito de torná-las efetivas. Deve-se considerar o propósito de redução do consumo de energia a partir de uma melhor interação passiva com o ambiente de entorno. Além disso, o setor de edificações é muito disperso e não existe uma tradição para análise energética, sendo complicado integrar profissionais para uma avaliação multidisciplinar dos aspectos do edifício.

As medidas fiscais no setor residencial e no setor comercial são empregadas principalmente para incentivar as reabilitações e remodelações de edifícios. Na Áustria e Bélgica os governos regionais cedem subsídios para a melhoria térmica dos edifícios. Na Dinamarca, Reino Unido e Irlanda existem projetos financeiros de ajuda a pessoas de baixa renda para que introduzam medidas de conservação em seus lares. A Alemanha implantou medidas fiscais e financeiras para facilitar a reabilitação de edifícios.

Segundo CASALS (2006), os dois principais mecanismos para articular a participação da importância energética no setor dos edifícios são a regulação energética e a certificação energética. A regulação energética tem uma percepção característica, e seu objetivo é estabelecer e limitar os níveis máximos de consumo nos edifícios. Com o caráter normativo, estabelece os mínimos instrumentos energéticos que devem ser introduzidos no setor e a responsabilidade na internalização das avaliações energéticas.

Novos estudos vêm sendo realizados em diferentes países, com elevado nível de desenvolvimento, nos quais fica claro que o potencial técnico disponível é suficiente para suprir todas as necessidades e aspirações da sociedade com muito menos gasto de energia. Existem muitos exemplos de aplicações da eficiência ou técnicas de conservação que são pouco onerosas e se amortizam com muita rapidez. No entanto, muitas das tecnologias disponíveis não são utilizadas com toda sua capacidade para a melhoria da eficiência.

Para GUGLIELMETTI (2002), tanto nos EUA quanto nos Países Europeus nos quais os regulamentos energéticos foram implantados, notou-se que as normas implantadas não tinham o objetivo de fornecer receitas descritivas, mas sim de fornecer condições para que os arquitetos pudessem adequar o clima aos materiais construtivos mais convenientes e às condições climáticas mais agressivas, optando, por exemplo, por isolar o edifício de modo a evitar as perdas.

Uma recente constatação deste fato foi verificada em Portugal. Este país implantou em 1990 o seu regulamento energético, considerando as diversas regiões climáticas do seu território. Até sua implantação que foi aprovada no Decreto Lei 40/90 de 06 de fevereiro de 1990, não existia no país nenhum tipo de regulamentação energética, nas áreas mais quentes ao sul, na região do Algarves, e áreas frias ao Norte, na região da Serra da Estrela. O regulamento está adaptado ao clima e não se pode mais construir no Norte da mesma forma que se constrói no Sul.

Segundo PÉREZ (2007) a conservação e eficiência energética, a curto prazo, é a única opção viável, do ponto de vista tecnológico e é a forma mais rápida para reduzir o consumo de combustíveis fósseis, introduzindo a eficiência energética nas residências e empresas. A etiquetagem energética é utilizada frequentemente para informar aos consumidores sobre o funcionamento e consumo dos equipamentos, começando a ser implantada também em edifícios. A maioria desses programas de eficiência energética são dirigidos ao setor industrial, mas já existem exemplos de promoção da eficiência nos setores residencial e comercial, edifícios públicos, centros comerciais, escolas e hospitais, como por exemplo os programas: *R-2000 Home Program y Energy Innovators Plus* no Canadá, *Rebuild America*, *Green Lights* e *Energy Star* nos Estados Unidos, e similares na Austrália, Luxemburgo, Países Baixos e Portugal.

No Brasil, como medida mais representativa para o incremento da eficiência no uso da eletricidade tem-se o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica,

o PROCEL, cujo objetivo é promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica, eliminando os desperdícios e reduzindo os custos e os investimentos setoriais. A Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL (2003) mostra que o Brasil enfrentou no segundo semestre de 2001 uma crise energética que obrigou quase toda a população a cumprir um plano de racionamento de 20% no consumo de eletricidade, o que teve como consequência um forte impacto econômico. Os problemas recentes com consumo de energia elétrica iniciaram-se nos anos 80 quando o crescimento da demanda superou o crescimento da produção. Nos anos 90, com o processo de privatização do setor, o Estado deixou de investir e a iniciativa privada, por ausência de regras claras, demorou a realizar seus investimentos, e nesse período, o consumo cresceu cerca de 15.000 GWh/ano, alcançando 56,2 GW em abril de 2001, valor superior ao da oferta de energia, que era de 52 GW.

De acordo com CARDOSO (2002), entre algumas intervenções e colaborações mais expressivas do PROCEL pode-se citar o desenvolvimento de reatores eletrônicos para iluminação fluorescente, aceleração da padronização dos níveis de tensão, criação de programas de informações que incorrem na classificação de equipamentos (já sendo mais popularizado e utilizado pelos consumidores), realização de auditorias de energia em indústrias e edifícios comerciais (auditorias estas que identificam medidas que podem baixar o consumo em torno de 8 a 15%), auditorias do tipo “faça você mesmo” para edifícios públicos, edição de manuais sobre conservação para residências, divulgação de tecnologias em feiras e anúncios na mídia incentivando a economia de energia.

### **Contexto Energético Mundial.**

Em várias partes do mundo, a crise energética evidenciou a necessidade da economia de energia, focando de muitas formas a qualidade das edificações além da questão do conforto térmico. Segundo YOSHIDA (2006), se por um lado as cidades são grandes consumidoras de energia e de produtos e ao mesmo tempo grandes geradoras de resíduos, por outro lado qualquer alteração positiva no sentido inverso seria de grande impacto na contribuição para o meio ambiente, uma mais valia para grande parte da população.

A preocupação com a utilização racional de energia nos edifícios surgiu no período posterior à primeira crise internacional do petróleo, em 1973. De acordo com CHVATAL (2007) o aumento significativo do custo da energia, acrescido da constatação de que as suas fontes não são ilimitadas do impacto ambiental relativo à

sua utilização, fomentaram iniciativas, medidas e pesquisas que estimulassem a eficiência energética. Desde então, muitos países passaram a adotar medidas legais e regulamentações com o objetivo de estabelecer certos níveis mínimos de desempenho térmico para os edifícios, as quais têm sido gradativamente alteradas, de modo a acompanhar a evolução do conhecimento referente ao tema.

CEPINHA (2007) diz que o progresso técnico ou tecnológico tem uma forte influência tanto sobre o consumo de energia como sobre a sua oferta. Pelo lado da procura, as novas tecnologias reduzem, de forma progressiva as necessidades de consumo de energia por unidade produzida, ao melhorar a eficiência das máquinas e dos processos industriais, geralmente grandes consumidores de energia. O progresso técnico também altera a estrutura do produto em benefício das atividades que utilizam a energia de forma menos intensiva, como as atividades industriais de alta tecnologia. Nesse contexto, seria de esperar que os países que se industrializam mais tarde utilizem menor quantidade de energia do que os pioneiros. Pelo lado da oferta, o avanço tecnológico também contribui para baixar os custos de produção da energia e aumentar o leque de recursos exploráveis a um determinado custo. Porém, o progresso técnico nem sempre consegue contrabalançar as tendências negativas de depleção das energias não renováveis (fósseis principalmente) e do aumento de poluição no meio ambiente, uma vez que a oferta de energias limpas e renováveis parece não ser ainda suficiente.

O papel energético preponderante do Estado tendeu a reduzir-se desde o final da década de 70, quando os países desenvolvidos tomaram uma série de iniciativas para abrir os seus mercados de energia à concorrência de novos produtores. Tal mudança é relativamente compreensível para esses países dado o estágio de desenvolvimento das suas economias, nas quais o consumo de energia cresce abaixo do produto e porque o progresso técnico, visível, sobretudo no sector de geração de energia elétrica, abre a possibilidade para entrada de novos produtores.

Nesse contexto a análise sobre o consumo residencial de energia é realizada considerando as características sócio-econômicas, aspectos regionais e hábitos culturais da população, de modo a permitir que se relate o consumo de energia com as diferenças econômicas, sociais e regionais do país. Para ACHÃO (2003), a caracterização da energia associada ao consumo por classes de renda, usos finais e regiões é uma estratégia válida não somente para estudos de projeções de demanda e planejamento energético, mas também para ajudar a definir políticas energéticas.

De acordo com OLIVEIRA (2006) a emissão de CO<sub>2</sub> e o consumo de energia são os critérios mais adotados nesses programas para avaliação do desempenho térmico das edificações, por vários motivos. O primeiro é a grande parcela da energia gerada em usinas termelétricas, que possuem altas taxas de emissão de gás carbono oriundos da queima de carvão ou de outro combustível. O segundo motivo é a grande parcela de energia consumida na residência relacionada com a manutenção do conforto ambiental, principalmente térmico e luminoso. No caso do Brasil, a emissão de CO<sub>2</sub> decorrente da geração da energia pelas edificações ainda não é tão preocupante, pois a maior parte da energia gerada advém de hidrelétricas.

Para GUGLIELMETTI (2002) a introdução de um regulamento energético traz impacto a curto e longo prazo, dentre os quais pode ser destacada a redução do consumo de energia através do incentivo do uso de técnicas passivas, diminuindo assim o emprego de tecnologias ou sistemas de aquecimento ou arrefecimento bem como a melhoria da qualidade das edificações, com maior conforto para os usuários. Desta forma a função dos regulamentos energéticos é não somente reduzir os consumos energéticos de um país, mas também elevar a qualidade das edificações e consequentemente o nível de satisfação de seus usuários.

Mesmo estando claro o funcionamento em vários países da busca pela conservação de energia e propriedades térmicas das edificações é perceptível o fato de que a maioria dos programas de conservação de recursos não contempla uma suficiente competitividade com outras tecnologias já existentes no mercado desse setor, sendo necessários mecanismos incentivadores como as normativas e legislações em vigor em vários países, principalmente nos estados membros da União Européia.

### **Contexto Energético no Brasil.**

Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME), 41% da oferta interna de energia no Brasil é suprida por fontes renováveis de energia. A média mundial de oferta de energias renováveis é de 14%, enquanto que nos países desenvolvidos é de 6%. A contribuição das fontes renováveis de energia na matriz energética brasileira é quase que em sua totalidade composta por biomassa e hidroeletricidade.

No Brasil, até meados de 1990 a Eletrobrás era a encarregada de planejar, financiar, construir e operar todo o sistema elétrico em cooperação com as demais empresas de eletricidade do país. No campo da eficiência energética o país mantinha

desde 1985 um programa de âmbito nacional, o PROCEL, que vinha acumulando experiência na coordenação, implantação e avaliação de uma série de ações nessa área. A partir de 1993, os trabalhos do PROCEL sofreram descontinuidade sem que fosse definido o seu novo papel.

Em 1998 a Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, criou a Resolução 242/98 estabelecendo a obrigatoriedade da aplicação de 1% da Receita operacional líquida das empresas privatizadas em programas de conservação de energia e pesquisa e desenvolvimento.

As reformas do setor energético e o novo arranjo institucional introduziram importantes modificações no aparelho público de formulação de políticas para o setor energético brasileiro. A organização do setor energético atual estabeleceu a criação do Conselho Nacional de Política Energética, CNDE, como sendo o mais importante órgão do setor, responsável pela determinação de políticas capazes de formatar o futuro desenvolvimento do setor e seu relacionamento com o mercado. Sabe-se que o mercado de eficiência energética necessita de informação adequada sobre preços de energia, desempenho de tecnologias, etc., para que seus agentes possam tomar decisões que funcione adequadamente.

Segundo SANTOS (2005) no caso do MME, os dois principais programas de incentivos às fontes renováveis de energia são o Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (PRODEEM) e o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA):

- O PRODEEM é um programa do Governo Federal, que foi instituído em dezembro de 1994 e é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia. Tem por objetivo atender às localidades isoladas, não supridas de energia elétrica pela rede convencional, obtendo essa energia de fontes renováveis locais, de modo a promover o desenvolvimento auto-sustentável, social e econômico, dessas localidades. Nestes casos, o custo da extensão de redes de transmissão/distribuição é considerado alto, em função de diversos fatores: grandes distâncias, vegetação, rios, etc., de forma que normalmente não é economicamente viável, pois o consumo esperado de energia nestas comunidades é muito restrito.

- O PROINFA instituído pela Lei n.º 10.438, de 26 de abril de 2002, é um programa do Governo Federal com o objetivo de diversificar a matriz energética brasileira, valorizar as características e potencialidades regionais e locais e reduzir a emissão de gases de

efeito estufa. Atualmente é o principal mecanismo de incentivo às fontes renováveis de energia existente no Brasil.

CARDOSO (2002) aponta que o país vem apresentando nos últimos anos taxas de crescimento econômico e melhoria em índices socioeconômicos, os quais em países em desenvolvimento como o Brasil acarretam o aumento do nível de renda, o que implica construções de residências maiores, com materiais mais sofisticados, melhores mobiliários e utensílios eletro-eletrônicos em maior quantidade, além de melhorias nas condições de conforto térmico em seu interior, muitas vezes obtido artificialmente.

Dados da PROCEL (2003) indicam que o perfil do consumo elétrico no Brasil divide-se em quatro grandes grupos: industrial, residencial, comercial e outros. Este último representa o setor rural, iluminação pública, órgãos do governo, entre outros. O setor industrial tem a maior taxa de consumo com 44% do consumo total de energia elétrica no país, seguindo-se o residencial com 25%, o comercial com 16% e outros com 15%. De acordo com ACHÃO (2003), pode-se caracterizar a energia direta no setor residencial pela simplicidade nos seus usos finais e pela especificidade de utilização dos equipamentos domésticos, ou seja, pela função específica que detém e, consequentemente, pela determinada quantidade de energia que demandam. O ar condicionado, por exemplo, muito utilizado na região Centro-Sul do Brasil, é um alto consumidor de energia elétrica. Quanto aos usos finais, a energia no setor residencial é destinada, basicamente, para as seguintes finalidades: cocção de alimentos, aquecimento de água, iluminação, condicionamento ambiental, conservação de alimentos (geladeira e freezer), serviços gerais (uso de máquina de lavar roupas, microondas, ferro elétrico, aspirador de pó, microcomputador etc.) e lazer (televisão, vídeo cassete, conjunto de som etc.).

De acordo com GELLER et al. (1997), os edifícios comerciais e residenciais ainda são responsáveis por grande parte do consumo de energia em nosso país, e mais especificamente a energia elétrica, que é a mais utilizada pelo setor residencial, com cerca de 23% do consumo total do Brasil. O setor residencial apresenta um peso significativo no consumo nacional e com potencial de melhoria na eficiência energética e conforto, com a concepção adequada a partir da fase do projeto arquitetônico.

Dados da PROCEL indicam que o aquecimento de água residencial é muito expressivo nas regiões Sul e Sudeste do país, onde mais de 85% dos domicílios possuem chuveiro elétrico. Nas regiões Norte e Nordeste, o uso da água quente é reduzido, devido ao menor nível de renda e às temperaturas médias elevadas. Os

chuveiros elétricos contribuem pesadamente para o pico de carga, principalmente nas regiões Sudeste e Sul – onde este equipamento é mais utilizado entre os domicílios, no início da noite.

De acordo com OLIVEIRA (2006) a manutenção desse perfil de crescimento do consumo de energia no Brasil já aponta a necessidade recorrente a programas de racionamento de energia elétrica e consequente elevação tarifária da energia. Outro problema reside na demanda pela ampliação da rede de produção e distribuição de energia, com a construção de novas hidrelétricas, termoelétricas ou usinas nucleares que implicaria em maiores gastos para o governo, em detrimento de outros investimentos e em uma série de impactos ambientais.

O prognóstico que se configura remete a eficiência energética das edificações que cada vez mais é alvo de programas federais do governo brasileiro que visam a minimizar o desperdício e reduzir o consumo de energia em edificações. Tais programas também contribuem com a regressão na emissão de gases poluentes à atmosfera, diminuindo os impactos ambientais provocados por estes como a poluição atmosférica e o aquecimento global.

### **Desempenho Térmico das Edificações.**

As variáveis ambientais numa edificação dependem das suas características construtivas, assim o clima deve ser decisivo na definição dessas características para que o desconforto imposto por condições climáticas adversas seja amenizado e dessa forma o consumo de energia para ventilação, refrigeração e/ou aquecimento seja o mínimo possível. RUAS (2001), no entanto aponta que as condições satisfatórias de conforto térmico de uma edificação não dependem somente da sua adequação ao clima, mas também da sua adaptação às atividades lá desenvolvidas e aos equipamentos nelas envolvidos.

O clima condiciona a carga térmica imposta externamente ao edifício, consequente da temperatura, radiação solar, umidade e vento. De acordo com BERALDO (2006), as cargas condicionadas pelo clima são dinâmicas, ou seja, mudam de hora a hora e são aproximadamente periódicas, uma vez que tendem a se repetir em ciclos diários. A principal parte da carga pela envolvente é proporcional à diferença de temperaturas de bulbo seco entre o interior e o exterior. As cargas internas ocorrem devido ao calor liberado por pessoas, equipamentos e sistemas de iluminação. Estas cargas se manifestam de duas maneiras: sobre o consumo de eletricidade, gás natural

ou outra fonte de energia; e sobre o ganho de calor no edifício, afetando as condições internas e modificando a taxa de energia que o edifício ganha ou perde para o exterior.

O mesmo autor afirma que em termos gerais, considerando a edificação como um sistema térmico inserido em uma região geográfica cujos fatores climáticos sejam conhecidos e que também seja conhecida a natureza do material da envolvente desse sistema, é possível calcular o balanço de ganhos e perdas de energia. O método de avaliação de um regulamento energético, ao calcular as necessidades de aquecimento e resfriamento das edificações, exprime as características de comportamento térmico da edificação. Para que o cálculo possua um grau adequado de fidelidade precisa estar adaptado às condições climáticas do local onde será aplicado e estar condizente com a realidade construtiva deste lugar. Afinal, ele avalia as características construtivas em acordo com as condições climáticas do ambiente em que o edifício está inserido.

Para GUGLIELMETTI (2002), um regulamento que visa à diminuição do consumo de energia das edificações exige que no projeto faça um balanço entre os ganhos e as perdas energéticas. As diretrizes para a concepção de projetos arquitetônicos que otimizam o desempenho térmico e energético resultam em uma arquitetura inteligente e mais consciente. Como pode-se notar, os edifícios projetados para o clima em que estão inseridos geram um consumo menor de energia, e um maior conforto para os usuários, trazendo consequências sociais e econômicas.

As cargas de aquecimento e resfriamento de um ambiente podem ser divididas em ganhos solares pelas aberturas, condução de calor, ventilação e cargas internas. A intensidade e a freqüência de cada um desses componentes determinam o comportamento da carga total atribuída ao edifício e aos seus sistemas de aquecimento e resfriamento. As três primeiras componentes são determinadas pelas características da envolvente do edifício.

Para SHALDERS NETO (2003) apenas a transmitância térmica ( $U$ ) de um componente não é suficiente para se avaliar o desempenho térmico de uma edificação em condições climáticas varáveis, onde variam principalmente a temperatura externa e a radiação solar incidente, pois parte do ganho de calor externo durante o dia, é armazenado na massa térmica dos elementos da envoltória e somente parte deste calor é transmitida para o interior da edificação. Para esse mesmo autor , o uso da inércia tem efeitos positivos tanto no verão como no inverno. No inverno, o ganho solar durante o dia é armazenado e transferido para o interior no período noturno, quando é necessário o aquecimento. No verão, o calor armazenado reduz o pico das cargas de

resfriamento, como o calor é liberado com um tempo de atraso, há uma modificação no ciclo diário de temperaturas, que passam a apresentar valores máximos e mínimos menores que os externos, com períodos também não mais coincidentes com as máximas e mínimas externas.

No entanto, de acordo com YOSHIDA (2006) diversos estudos têm sido feitos no sentido de se identificar as vantagens do uso da inércia térmica, tanto para condições de verão quanto de inverno. PAPST (1999) diz que se percebe pelas pesquisas e medições realizadas que há certa controvérsia sobre o uso de massa térmica para resfriamento em climas quentes e úmidos. Alguns pesquisadores afirmam através de simulações computacionais que o uso de massa térmica para climas quentes e úmidos não tem bons resultados, enquanto outros usando o mesmo método apresentaram bons resultados.

FROTA & SCHIFFER (2003) recomendam que, para regiões de clima quente e úmido as construções não tenham uma inércia muito grande, pois isto dificulta a retirada do calor interno armazenado durante o dia, prejudicando o resfriamento da construção quando a temperatura externa noturna está mais agradável que internamente. Nesse sentido, deve-se prever uma inércia de média a leve, porém com elementos isolantes nas vedações, para impedir que grande parte do calor da radiação solar atravesse a construção e gere calor em demasia.

PAPST (1999) diz ainda que “o uso efetivo de inércia térmica só apresenta bons resultados quando se faz o uso de isolamento na cobertura, evitando o ganho de calor por radiação no período quente, e evitando a perda de calor interno no período frio. Ambientes como dormitórios, é mais interessante permitir um resfriamento mais efetivo com as quedas de temperaturas noturnas no verão, através de uma ampla ventilação noturna, e ou, materiais leves”.

Para AKUTSU e VITTORINO, a colocação de isolante na cobertura tem como efeito a redução dos valores máximos diários e o aumento dos valores mínimos diários da temperatura do ar interior. No verão, a redução dos valores máximos implica melhoria das condições de conforto térmico, sendo que o aumento dos valores mínimos, se ultrapassarem os limites aceitáveis, significarão um prejuízo para o conforto, mas que poderá ser contornado com sombreamento das janelas e a ventilação do ambiente em períodos adequados.

## **Características Térmicas dos Materiais Construtivos.**

Quando existe uma diferença de temperatura entre duas regiões do espaço, esta tende a desaparecer, espontaneamente, pela passagem de calor de uma região para outra. Segundo COSTA (2003), ao conjunto de fenômenos que caracterizam essa passagem de calor dá-se o nome de transmissão de calor. A transmissão de calor pode efetuar-se de três maneiras distintas, designadas condução, convecção e radiação, obedecendo cada uma dessas formas a leis próprias embora admitindo em comum as seguintes características: necessidade de uma diferença de temperatura entre as duas regiões, e o fluxo térmico sempre se verifica no sentido das temperaturas decrescentes.

A transmissão de calor por condução se realiza através do contato entre as moléculas ou partículas de um corpo, podendo ser a troca de calor entre dois corpos que se tocam ou mesmo partes de um mesmo corpo que estejam a temperaturas diferentes. A convecção acontece quando os corpos estão em contato molecular e um deles, pelo mesmo, é um fluido (líquido ou gás). Na transmissão por radiação, uma parte do calor entre dois corpos, que se encontram sob uma distância qualquer, se converte em energia radiante que chega até o outro corpo, onde é absorvida numa proporção que depende das propriedades da superfície receptora (capacidade de emitir e de absorver energia térmica), sendo transformada novamente em calor.

Parte da radiação solar direta, de onda longa, incidente sobre a edificação atinge o interior da edificação, através de suas aberturas, aquecendo seus elementos internos, que irradiam parte da radiação recebida na forma de calor. O vidro sendo praticamente opaco à radiação de onda longa impede que o calor saia, sobre aquecendo o ambiente interno. Este fenômeno pode contribuir negativa ou positivamente para as condições de conforto interno das edificações.

Os fechamentos opacos ou transparentes diferem entre si pela capacidade de transmitir uma parcela significativa da radiação solar para o interior da edificação. Segundo SANTOS (2002), a intensidade das trocas de energia através desses fechamentos será função da intensidade da radiação solar incidente, das propriedades térmicas (principalmente condutividade e capacidade térmica) dos materiais da envoltória, da absorção (cor) dos fechamentos opacos, das temperaturas interna e externa da edificação e da transmitância dos fechamentos transparentes.

A relação entre o calor absorvido e armazenado pelos materiais da edificação depende da capacidade térmica. A capacidade térmica que é expressa por unidade de

área, é o produto da densidade do material pela espessura, e pelo calor específico dos componentes. O conceito de massa térmica refere-se à combinação da densidade com a espessura. Como o calor específico dos materiais, usualmente utilizados nas construções situa-se entre 0,87 e 1,67 KJ/KgK, a capacidade térmica dos componentes está quase que completamente dependente do peso e da espessura.

Segundo COSTA (1982), a variação de temperatura interna de uma habitação deve-se a inúmeros fatores, tais como: a insolação durante o dia, que contribui com uma parcela substancial do calor que penetra na habitação, sobretudo através das superfícies transparentes e da cobertura; o calor interno, gerado por pessoas e equipamentos; as trocas térmicas por transmissão de calor, tanto de fora para dentro (de dia) como de dentro para fora (de noite), através das superfícies que limitam o ambiente habitado; as trocas térmicas de aquecimento (de dia) ou resfriamento (de noite) propiciadas pelo ar de ventilação.

Tem-se ainda, dois fenômenos de grande significado para o comportamento térmico do edifício, que estão associados à inércia térmica: o amortecimento e o atraso da onda de calor, devido ao aquecimento ou resfriamento dos materiais. A capacidade de amortecimento é a propriedade da envolvente de diminuir a amplitude das variações térmicas diárias. O atraso térmico é o tempo que leva uma diferença térmica ocorrida, em um dos meios, a se manifestar na superfície oposta. A inércia térmica depende das características térmicas da envolvente e dos componentes construtivos internos. O amortecimento e o atraso serão tanto maiores quanto maior a inércia da construção e são importantes para a caracterização do comportamento da edificação, ambos dependentes da capacidade do material armazenar calor.

O presente trabalho foi estruturado e desenvolvido em cinco etapas.

1. **Etapa 01:** a primeira etapa diz respeito ao levantamento do estado da arte da regulamentação termo-energética de edificações, em várias partes do mundo. Nessa etapa foi pesquisada a situação atual dos países europeus, mediante as diretrizes impostas pela União Européia, no cumprimento do Protocolo de Kyoto (1997), embasadas na busca pela melhoria do conforto térmico através de mecanismos de simulação adotando o consumo energético e temperatura do ar no interior da edificação como critérios de desempenho térmico e eficiência energética, e ainda a situação nos países americanos e, por fim, no Brasil. Foram analisados os regulamentos e as diretrizes encontradas. Essa etapa foi dividida em duas fases.
  - a. **Primeira fase:** na primeira fase, foram escolhidos dois regulamentos europeus para uma análise mais detalhada e comparativa entre eles: Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios de Portugal (RCCTE) e o Código Técnico de Edificações da Espanha (CTE). Essa escolha deveu-se ao fato de que diferentemente dos diversos países europeus, o RCCTE trata das condições térmicas dos edifícios para a situação de inverno e de verão de maneiras distintas. Considerando esse fator, tem-se que para o estudo de um regulamento para a cidade de João Pessoa, seria suficiente a determinação das condições de conforto térmico e eficiência energética para a situação de verão, uma vez que não há uma amplitude térmica significativa no decorrer do ano e a estação de inverno não requer exigências severas de aquecimento como nos países europeus. O CTE é o regulamento que contempla o maior conjunto de características e da qualidade da edificação, por isso foi estudado mais profundamente com o intuito de complementar as informações não constantes do Regulamento português.
  - b. **Segunda fase:** sabendo-se que as diretrizes dizem respeito ao isolamento da envolvente do edifício, ao coeficiente de transmissão térmica de seus componentes e ao sistema de produção de água quente sanitária, a segunda fase foi definida pelo estabelecimento dos principais elementos encontrados na análise dos regulamentos RCCTE e CTE, a fim de se constituir uma limitação de demanda energética, no qual o papel da envolvente é essencial para se alcançar o conforto térmico, incidindo sobre as características de isolamento e

de inércia, a permeabilidade ao ar exterior e a exposição à radiação solar, aplicáveis à formulação do regulamento para a cidade de João Pessoa. Tais elementos dizem respeito à base principal do processo de avaliação e caracterização térmica do edifício, devendo-se contemplar os seguintes pontos: transmitância e resistência térmica da envolvente opaca; fator solar dos vãos envidraçados; caudal de ventilação e permeabilidade ao ar; inércia térmica e isolamento, exposição à radiação solar; dimensionamento e proteção solar das aberturas; atividade realizada e período de utilização; iluminação natural e contribuição solar para água quente sanitária.

2. **Etapa 02:** a segunda etapa do trabalho consta da determinação do universo de estudo, a cidade de João Pessoa, Paraíba. Posteriormente foi feito o levantamento de séries de dados climáticos fornecidos pelo Laboratório de Energia Solar - LES/UFPB e Laboratório de Geografia Aplicada - UFPB (insolação, nebulosidade, radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade média dos ventos – Anexo 01) visando ao conhecimento do rigor climático a que está submetida à cidade.
3. **Etapa 03:** o conjunto de dados e análises resultantes das duas primeiras etapas configurou a terceira. Nessa etapa dividida em duas fases, com base no estudo dos regulamentos e de posse dos dados climáticos da cidade, foi feita a escolha de todas as diretrizes a serem aplicadas no regulamento da cidade, configurada a adaptação das metodologias de cálculo e de avaliação dos regulamentos estudados às necessidades impostas pelo rigor climático da cidade. Posteriormente, foram formuladas as tabelas e planilhas de cálculo que configuraram a base do regulamento, e definidas as condições limites que deverão ser cumpridas para a aprovação das edificações a serem avaliadas. Como resultado dessa fase, tem-se o texto do Regulamento de Desempenho Termo-energético das Edificações para a cidade de João Pessoa.
  - a. **Primeira fase:** esta fase referiu-se à adaptação da metodologia de cálculo e estudo das condições de referência estabelecidas pelo regulamento proposto, sendo detectadas as limitações existentes nos regulamentos espanhol e português. Não foi apresentada a certificação referente ao regulamento proposto, por se tratar de um estudo inicial, necessitando-se para tanto de

melhoria do banco de dados climático e de aplicações em diferentes edificações para sua validação.

- b. **Segunda fase:** para a formulação das tabelas e planilhas de cálculo foi determinada uma seqüência de caracterização da edificação e aplicação da metodologia de cálculo determinada pelo regulamento proposto. As tabelas e planilhas de cálculo são compostas de: tabela das condições climáticas da cidade de João Pessoa; caracterização geométrica e construtiva da edificação; quantificação dos parâmetros térmicos; quantificação da iluminação natural zenithal; quantificação da iluminação natural lateral; quantificação da produção de água quente sanitária e condição de alcance da temperatura interna de conforto.

Para a escolha das condições limites de desempenho térmico das envolventes e condições de referência analisaram-se os regulamentos CTE e RCCTE. As condições limites e condições ambientais de referência utilizadas para o regulamento proposto foram, sempre que possível, as condições determinadas e já adotadas pelas normas brasileiras da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Os valores das características físicas dos materiais construtivos, necessários ao desenvolvimento das equações, foram obtidos através dos valores contidos na NBR 15220-1 - Desempenho térmico de edificações (ABNT – 2005). Para as condições ambientais internas de conforto térmico para verão e ar exterior para renovação foram obedecidos os limites determinados na NBR 6401 - Instalações centrais de ar-condicionado para conforto - Parâmetros básicos de projeto (ABNT – 1980). Estes dados baseiam-se nos dados aceitos pela *American Society of Heating, Refreigeration and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE), adotados como parâmetros para o Brasil. Para as condições de iluminância de interiores deverão ser obedecidos os limites determinados na NBR 5413 - Iluminância de Interiores (ABNT – 1992).

Com relação às metodologias de cálculo foi sugerido para o cálculo da ventilação interna e dimensionamento das aberturas os métodos “Taxas de Renovação de Ventilação Cruzada em Apartamentos de Tipologia Simples” de J.A. Saraiva, F.V. Marques da Silva e P.R.P. Santos, e “A Simplified Model to Estimate Natural Ventilation Flows for Simple Dwelling Layouts” desenvolvido por F.V. Marques da Silva e J.A. Saraiva, cujas equações encontram-se no Anexo 03.

Para o cálculo do comportamento térmico dos materiais da envolvente foi sugerido o método *Centre Scientifique et Technique du Batiment* (CSTB), já que segundo Frota (2001), dos vários modelos de cálculo de previsão do desempenho

térmico das edificações existentes, o modelo do CSTB é considerado o mais aplicável, posto que se baseia em dados climáticos disponíveis e numa abordagem acessível no que tange às características térmicas dos materiais. Segundo a mesma autora, esse modelo apresentado por Croiset (1972) e Borel (1972) se baseia no regime térmico permanente. Esse método é descrito no Anexo 02.

Para realizar-se o cálculo da iluminação natural, sugere-se o uso dos Diagramas de G. Pleijel, através dos quais é possível calcular a iluminação natural zenital ou lateral sobre planos de trabalho. Os diagramas permitem calcular a penetração da luz, a penetração da radiação do sol e a visão da abóbada celeste. Tem seu embasamento metodológico fundamentado na projeção estereográfica da abóbada celeste (Anexo 04).

Para dimensionar o sistema de aquecimento solar para produção de água quente sanitária, foram considerados: a insolação e radiação solar média do local de instalação; a temperatura ambiente e de entrada da água; os hábitos regionais; o número de pontos de consumo; a orientação dos painéis e a incidência de sombras. A NBR 7198 – Projeto e Execução de Instalações Prediais de Água Quente (ABNT, 1993) sugere os valores médios para o consumo de água quente. A metodologia de cálculo da área coletora necessária pode ser feita segundo a metodologia contida no Anexo 06.

No verão, além das variações da temperatura do ar, o comportamento térmico de um fechamento em regime variável baseia-se também na radiação solar. Com isso, a temperatura adotada para efeito do regulamento proposto foi determinada segundo o conceito de temperatura equivalente, sendo essa a temperatura exterior que origina um processo de transmissão de calor, na superfície do fechamento, igual ao originado em condições reais, considerando a radiação solar incidente.

$$Tq = te + \alpha Ig / he - \epsilon / he \Delta IL \quad > \text{equação 01}$$

**Tq** = temperatura equivalente ( $^{\circ}\text{C}$ )

**Te** = temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )

**$\alpha$**  = coeficiente de absorção da superfície do fechamento

**Ig** = radiação solar global incidente na superfície ( $\text{W/m}^2$ )

**he** =  $25 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$

$$\varepsilon / \text{he} \Delta IL = 4^\circ\text{C}$$

Para determinar a temperatura equivalente para a cidade de João Pessoa, foi escolhida a estação de verão e elaborados gráficos a partir dos dados horários de radiação solar, obtidos pela latitude da cidade e de temperatura do ar, considerando-se um dia típico.

Dados de radiação solar incidente ( $I_g$ ) sobre os planos verticais e horizontais ( $\text{W/m}^2$ ) – 22 de dezembro														
	06 h	07 h	08 h	09 h	10 h	11 h	12 h	13 h	14 h	15 h	16 h	17 h	18 h	
S	59	220	301	331	336	332	327	332	336	331	301	220	59	
SE	124	492	661	665	571	420	251	89	63	58	48	33	10	
E	121	495	663	645	509	302	68	68	63	58	48	33	10	
NE	53	228	304	279	185	68	68	68	63	58	48	33	10	
N	10	33	48	58	63	68	68	68	63	58	48	33	10	
NW	10	33	48	58	63	68	68	68	185	279	304	228	53	
W	10	33	48	58	63	68	68	302	509	645	663	495	121	
SW	10	33	48	58	63	89	251	420	571	665	661	492	124	
H	30	214	484	730	930	1062	1103	1062	930	730	484	214	30	

Tabela 01 – Dados de radiação solar incidente ( $I_g$ ) sobre os planos verticais e horizontais ( $\text{W/m}^2$ ) – 22 de dezembro (Fonte: GONÇALVES, 1955)

Horas	00h	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	09h	10h	11h
T ( $^\circ\text{C}$ )	25,4	25,2	25,0	24,3	24,0	23,3	23,2	25,5	27,5	29,4	30,8	31,2
Horas	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
T ( $^\circ\text{C}$ )	31,0	30,4	30,4	30,2	29,4	29,0	26,2	26,1	26,0	26,0	25,9	25,6

Tabela 02 – Dados de temperatura do ar para dia típico em João Pessoa (Fonte: CINDACTA 3 - Pe)

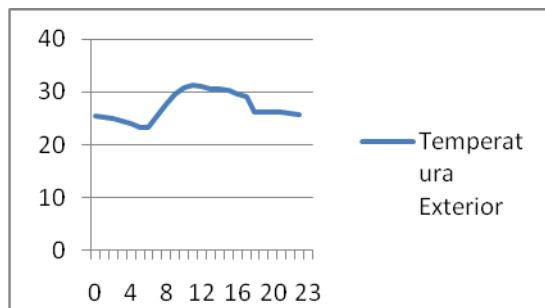


Gráfico 01 – Dados de temperatura do ar para dia típico em João Pessoa

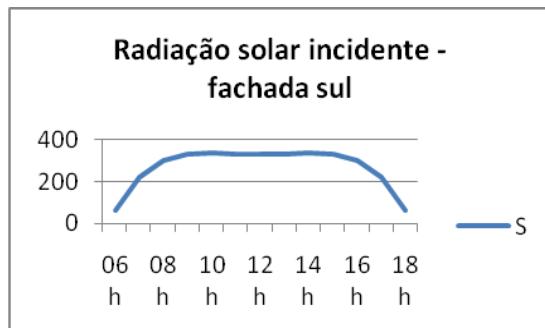


Gráfico 02– Radiação solar incidente fachada sul

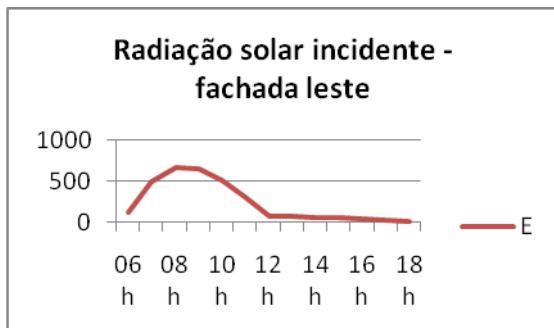


Gráfico 03– Radiação solar incidente fachada leste

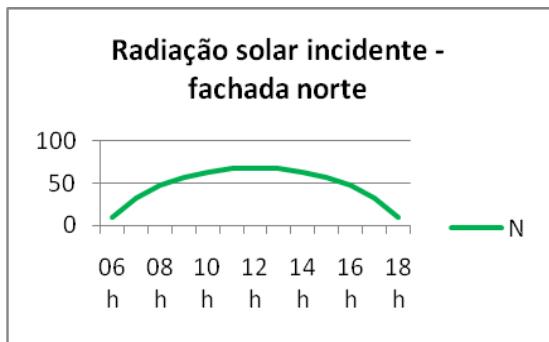


Gráfico 04– Radiação solar incidente fachada norte

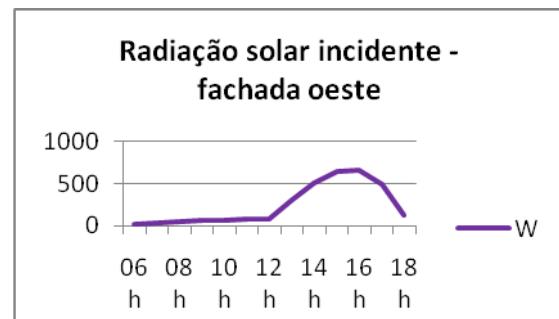


Gráfico 05– Radiação solar incidente fachada oeste

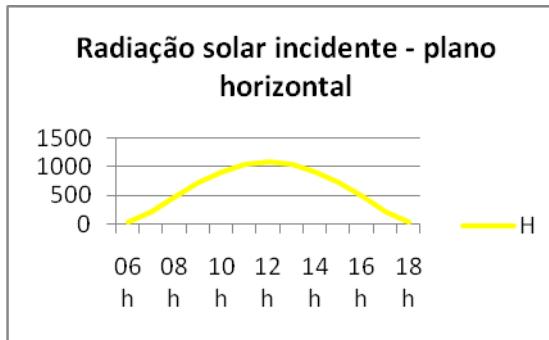


Gráfico 06– Radiação solar incidente plano horizontal

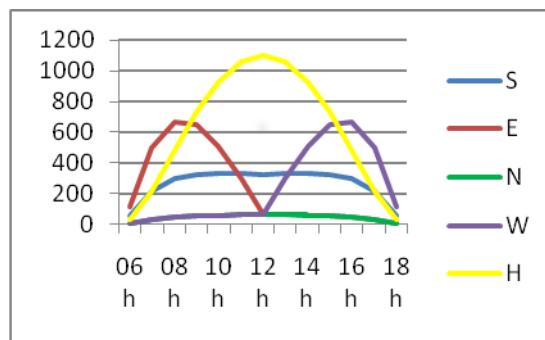


Gráfico 07– Radiação solar incidente total

Posteriormente foram verificados os coeficientes de absorção da superfície dos fechamentos utilizados correntemente pela construção civil em João Pessoa, a fim de limitar-se um coeficiente máximo admissível. Devido à participação significativa do coeficiente de absorção, no processo de retardo e amortecimento do ganho de calor em uma edificação, esse é um elemento de grande importância no comportamento térmico da envolvente e em muitos casos o método mais econômico que permite evitar problemas construtivos causados por dilatações. O efeito de diminuição do coeficiente de absorção deverá ser compensado pelo aumento da resistência térmica e/ou da capacidade de amortecimento do fechamento.

A NBR 15220 - Desempenho Térmico de Edificações (ABNT, 2005) apresenta os valores do coeficiente de absorção ( $\alpha$ ) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade ( $\varepsilon$ ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas) para alguns materiais. A partir da análise dos valores dos coeficientes de absorção tomou-se a telha de barro como coeficiente máximo admissível para os planos horizontais ( $\alpha = 0,75$ ) e o tijolo aparente e concreto aparente como coeficiente máximo admissível para os planos verticais ( $\alpha = 0,65$ ). Sendo assim a equação pode ser reescrita:

$$Tq = te + 0.03 Ig - 4 \text{ (para os planos horizontais)} \quad > \text{equação 02}$$

$$Tq = te + 0.025 Ig - 4 \text{ (para os planos horizontais)} \quad > \text{equação 03}$$

A partir dessas equações elaborou-se, então as tabelas e gráficos da temperatura equivalente para os planos verticais e horizontais.

Plano Horizontal – Temperatura equivalente (Tq – H)												
Horas	00h	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	09h	10h	11h
T (°C)	21,4	21,2	21,0	20,3	20,0	19,3	20,1	27,9	38,0	47,3	54,7	59,0
Horas	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
T (°C)	60,0	58,3	54,3	48,1	39,9	31,4	23,1	22,1	22,0	22,0	21,9	21,6

Tabela 03 – Temperatura equivalente plano horizontal

Fachada sul – Temperatura equivalente (Tq – S)												
Horas	00h	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	09h	10h	11h
T (°C)	21,4	21,2	21,0	20,3	20,0	19,3	20,6	27,0	31,0	33,6	35,2	35,5
Horas	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
T (°C)	35,1	34,7	34,8	34,4	32,9	30,5	23,6	22,1	22,0	22,0	21,9	21,6

Tabela 04 – Temperatura equivalente fachada sul

Fachada leste – Temperatura equivalente (Tq – E)												
Horas	00h	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	09h	10h	11h
T (°C)	21,4	21,2	21,0	20,3	20,0	19,3	22,2	33,8	40,0	41,5	39,5	34,7
Horas	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
T (°C)	28,7	28,1	27,9	27,6	26,6	25,8	22,4	22,1	22,0	22,0	21,9	21,6

Tabela 05 – Temperatura equivalente fachada leste

Fachada norte – Temperatura equivalente (Tq – N)												
Horas	00h	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	09h	10h	11h
T (°C)	21,4	21,2	21,0	20,3	20,0	19,3	19,4	22,3	24,7	26,8	28,3	28,9
Horas	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
T (°C)	28,7	28,1	27,9	27,6	26,8	25,8	22,4	22,1	22,0	22,0	21,9	21,6

Tabela 06 – Temperatura equivalente fachada norte

Fachada oeste – Temperatura equivalente (Tq – W)												
Horas	00h	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	09h	10h	11h
T (°C)	21,4	21,2	21,0	20,3	20,0	19,3	19,4	22,3	24,9	26,8	28,3	28,9
Horas	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
T (°C)	28,7	33,9	39,1	42,3	41,9	37,3	25,2	22,1	22,0	22,0	21,9	21,6

Tabela 07 – Temperatura equivalente fachada oeste

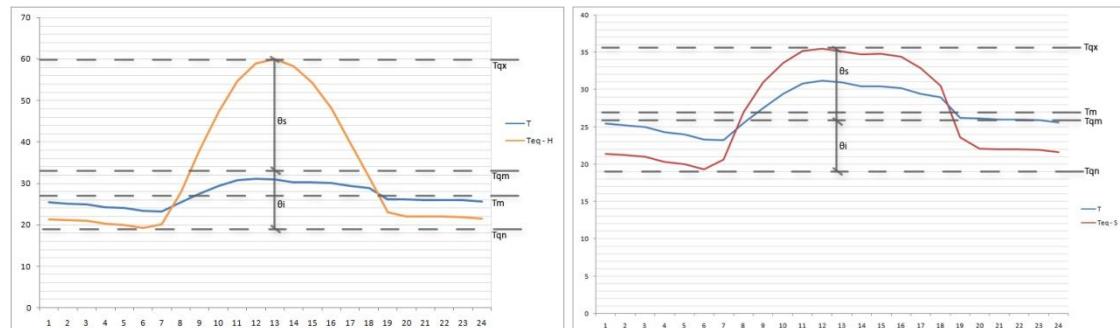


Gráfico 08 – Temperatura equivalente horizontal

Gráfico 09 – Temperatura equivalente fachada sul

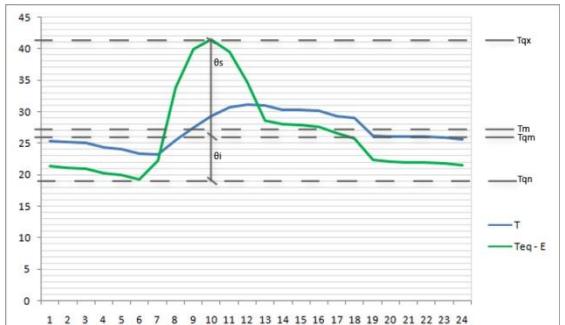


Gráfico 10– Temperatura equivalente fachada leste

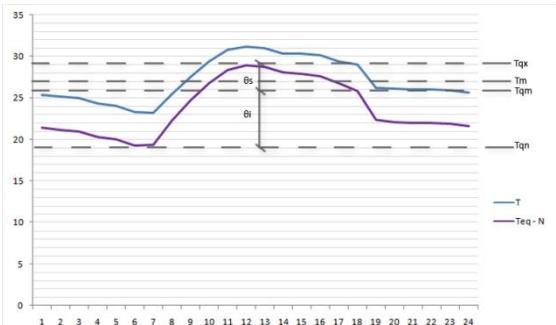


Gráfico 11– Temperatura equivalente fachada norte

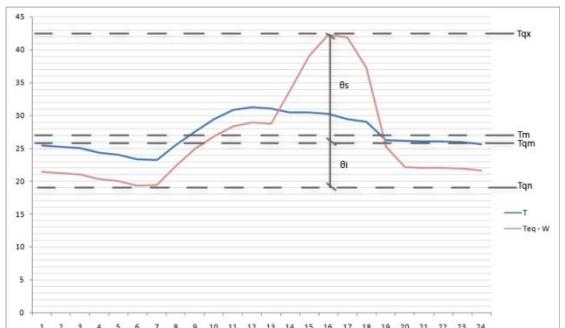


Gráfico 12– Temperatura equivalente fachada oeste

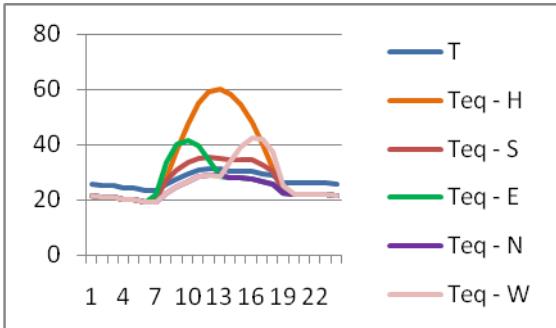


Gráfico 13– Temperatura equivalente total

No presente caso de uma edificação submetida às condições climáticas de verão, considera-se uma temperatura externa **Te** que inicia um processo de transmissão de calor por convecção e radiação à superfície externa da edificação, com temperatura **Tse**. Essa, através do processo de transmissão por condução aquecerá a envolvente edificatória até atingir a superfície interna a uma temperatura **Tsi**. Por sua vez, essa superfície iniciará o processo de transmissão de calor ao ar interno a uma temperatura **Ti**, através de convecção e radiação.

RIVERO (1985) apresenta o procedimento de cálculo Handbook, 1972 / IHVE, 1971 / Régles, cahiers 513 y 675, na definição das propriedades térmicas do fechamento: resistência e coeficiente de amortecimento. Se a temperatura externa segue um regime periódico de variação, verificar-se-á o mesmo comportamento internamente, porém considerando-se o retardado da ocorrência da temperatura externa à interna. Pelas características de capacidade térmica e resistência térmica do fechamento tem-se que as oscilações da temperatura superficial interna não alcançarão à externa, sendo um fechamento qualquer capaz de amortecer a onda térmica exterior. A capacidade de amortecimento é a propriedade do fechamento de diminuir a amplitude das variações térmicas. Na transmissão de calor em regime periódico, caracterizado por variações da temperatura exterior repetidas a cada 24 horas tem-se:

- uma temperatura exterior  $T_q$  que varia periodicamente a cada 24 horas, sendo sua temperatura media  $T_{qm}$  e seus máximos e mínimos  $T_{qx}$  e  $T_{qn}$ , a amplitude superior  $\theta_s$  ( $T_{qx} - T_{qm}$ ) e a amplitude inferior  $\theta_i$  ( $T_{qm} - T_{qn}$ );
- uma temperatura do meio interior  $T_i$ ;
- uma temperatura na face interior do fechamento  $T_s$ , com temperatura média  $T_{sm}$  com máximos e mínimos  $T_{sx}$  e  $T_{sn}$  e uma amplitude superior  $\omega_s$  ( $T_{sx} - T_{sm}$ ) e inferior  $\omega_i$  ( $T_{sm} - T_{sn}$ ) que são menores e se apresentam com atraso em relação às correspondentes  $T_q$ ;
- o coeficiente de amortecimento  $\mu$  e o retardo térmico  $\Delta t$  (tempo compreendido entre ambos os máximos) para um fechamento dependem das variações da temperatura equivalente, da orientação e posição de cada plano e da posição dos materiais dentro da espessura do fechamento (resistência e capacidade térmica). É determinado pela razão entre a amplitude superior interna  $\omega_s$  e a amplitude superior externa  $\theta_s$ .

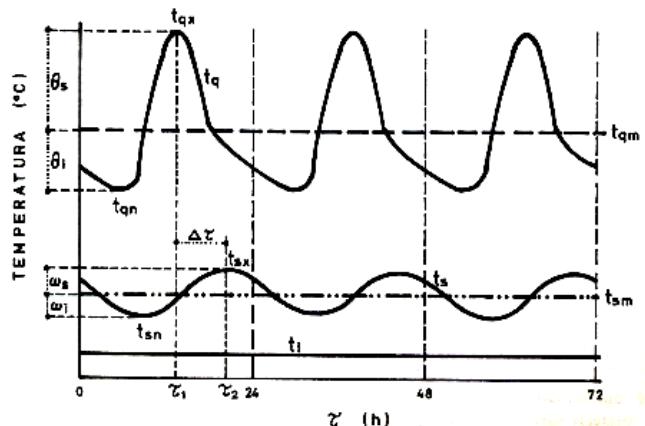


Gráfico 14 – Definição dos parâmetros básicos para o cálculo da transmissão do calor em regime periódico (Fonte: RIVERO, 1985)

A partir do estudo dos gráficos elaborados para a temperatura equivalente da cidade foram determinados coeficientes limites para o atraso térmico e amortecimento ( $\mu$ ), sabendo-se que quanto menor é  $\mu$  maior será a capacidade de amortecimento do fechamento. A capacidade de amortecimento é proporcional ao calor específico, densidade absoluta e espessura do fechamento e inversamente proporcional a condutividade térmica.

Considerando os materiais correntes na construção civil da cidade de João Pessoa foi determinado o intervalo de 100 a 400 Kg/m<sup>2</sup> para a massa do fechamento por unidade de superfície. Dessa forma o limite do coeficiente de amortecimento será de 0,50. A partir desses dados, encontra-se no gráfico a resistência térmica total limite para o fechamento.

	T <sub>qx</sub>	T <sub>qm</sub>	θ <sub>s</sub>	μ	Δt
Plano horizontal	60,0 °C	33,0	27,0 °C	0,50	3,5 h
Fachada Sul	35,5 °C	25,5	9,0 °C	0,50	3,5 h
Fachada Leste	41,5 °C	26,5	15,0 °C	0,50	3,0 h
Fachada Norte	28,9 °C	23,9	5,0 °C	0,50	3,0 h
Fachada Oeste	42,3 °C	26,3	16,0 °C	0,50	3,5 h

Tabela 08 – Índices para condições limite de desempenho térmico da envolvente

Com o estudo do regime de temperatura externa e a partir da resistência estabelecida pelo coeficiente de amortecimento, tem-se o atraso representado no gráfico 15, e sua relação com as variáveis de resistência térmica e massa do fechamento por unidade de superfície. A temperatura superficial interna média (T<sub>sm</sub>) pode ser calculada então a partir da equação:

$$T_{sm} = T_i + (1/h_i) U (T_{qm} - T_i) \quad > \text{equação 04}$$

A partir da determinação da temperatura superficial interior média (T<sub>sm</sub>) encontra-se a amplitude superior interna, multiplicando-se o valor da amplitude superior externa pelo coeficiente de amortecimento:

$$\omega_s = \mu \theta_s \quad > \text{equação 05}$$

A temperatura superficial interior máxima será então:

$$T_{sx} = T_{sm} + \omega_s \quad > \text{equação 06}$$

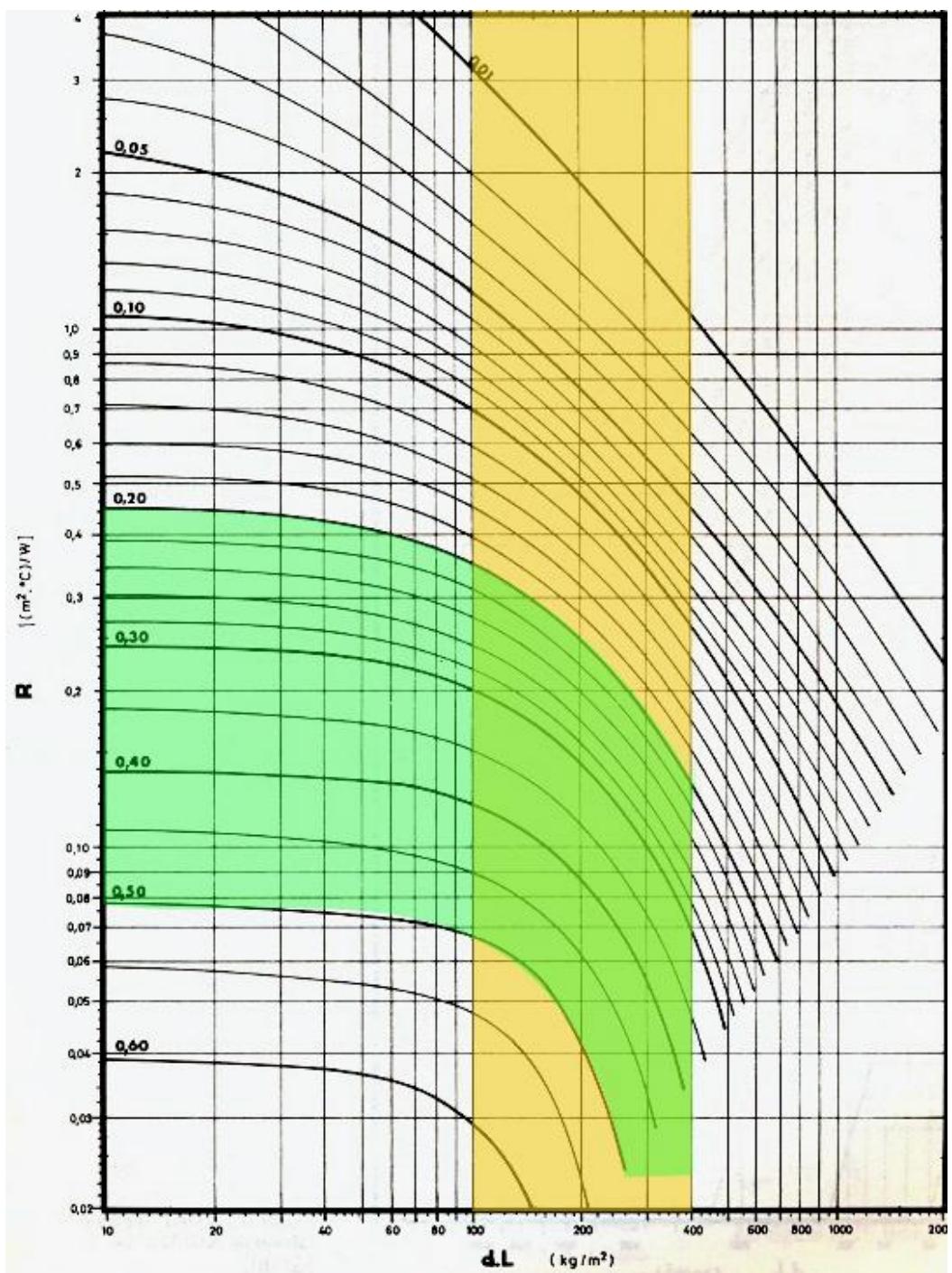


Gráfico 15 – Gráfico para o cálculo do coeficiente de amortecimento térmico (Fonte: RIVERO, 1985 - modificado)

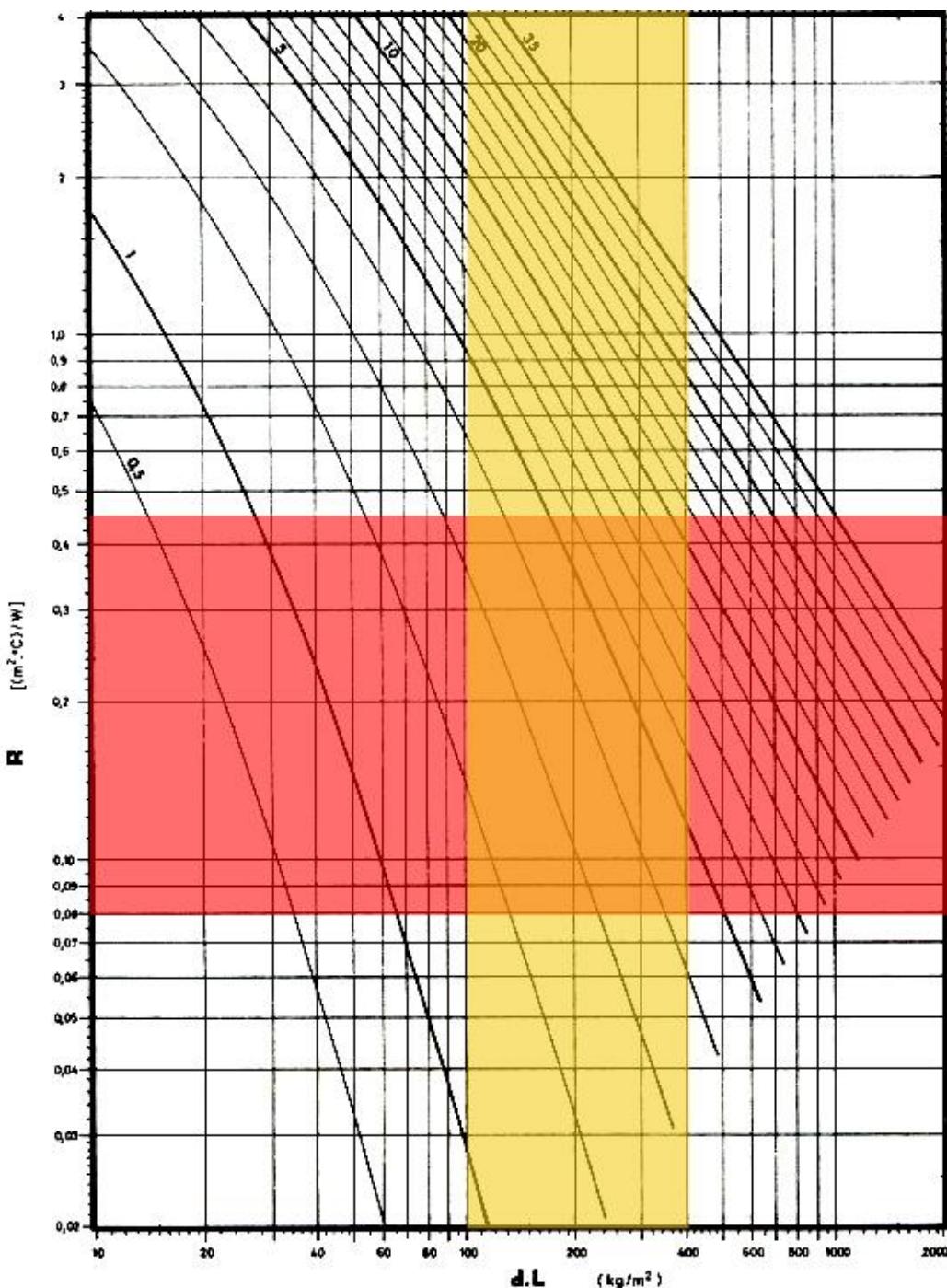


Gráfico 16 – Gráfico para o cálculo do retardo térmico (Fonte: RIVERO, 1985 - modificado)

A determinação das condições limites apresentadas visa à escolha dos materiais que atendam às condições de conforto térmico no interior da edificação. A redução do consumo energético da edificação estará garantido, uma vez que não será necessário o uso de sistemas artificiais de condicionamento do ar para atingir a temperatura interna de conforto e considerando que a edificação obedece os requisitos impostos pelas condições de referência configurados pelo aproveitamento

da iluminação natural, garantia do número de renovações de ar e uso da energia solar térmica para aquecimento de água sanitária, quando houver condição do tempo meteorológico.

**4. Etapa 04:** a quarta etapa é referente à aplicação das metodologias apresentadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, a ABNT – Norma de Desempenho Térmico de Edificações (Anexo 07); metodologia de cálculo para estação de arrefecimento do RCCTE (Anexo 06) e do regulamento proposto, em uma edificação tomada como objeto empírico de estudo: Estação Ciência, Cultura e Artes, projetada pelo arquiteto Oscar Niemeyer, localizada no Altiplano do Cabo Branco, na cidade de João Pessoa.

A análise da edificação tomada como objeto de estudo foi dividida em várias etapas. Inicialmente foi feita a análise das características volumétricas e dos materiais construtivos de cada bloco do conjunto arquitetônico e os dados obtidos foram dispostos em tabelas de levantamento dimensional e descritivo dos materiais construtivos disponíveis no Apêndice 01 do presente trabalho.

Para a caracterização do comportamento e índices térmicos quantificados foram calculados os coeficientes de transmissão térmica e de absorção das paredes e coberturas e o fator solar dos vãos envidraçados por área e orientação geográfica. Foi determinada da taxa de renovação do ar, e feita a verificação dos requisitos mínimos baseados na temperatura interna de referência (inércia térmica, balanço de ganhos e perdas de calor associados à envolvente opaca, aos vãos envidraçados, ganhos úteis solar e interno) e à renovação do ar, uso da iluminação natural, e produção de água quente sanitária. As tabelas de cálculos das propriedades térmicas da edificação analisada encontram-se no Apêndice 02.

Para os cálculos de desempenho térmico da torre principal da Estação Ciência, considerou-se a torre de concreto que abriga os elevadores, escadaria e banheiros como uma área de não permanência, portanto não foi detalhada no sentido de suas propriedades. Como as áreas centrais, acima mencionadas, não possuem dispositivos naturais de ventilação e iluminação, foram considerados os sistemas mecânicos utilizados para esse fim, na questão do consumo energético. Para as lajes de divisão entre os pavimentos, foi considerado que estão em equilíbrio térmico, não havendo dessa forma transmissão de calor entre os pavimentos que estas separam. O ganho térmico por ocupação foi considerado de 75 W por ocupante (individuo caminhando). O número de ocupantes, para a torre, foi considerado de 30 pessoas por pavimento (por exemplo, uma visita de ônibus escolar ou turístico). A ventilação incidente só foi

considerada nos casos que obedeciam à condição da existência de pelo menos uma abertura para entrada e uma para saída do ar.

Para os cálculos de desempenho térmico do bloco do auditório considerou-se para efeito de incidência da radiação solar a área de fachada localizada acima da linha de piso, desprezando-se para esse cálculo a superfície externa que se encontra enterrada. Foi considerado o equilíbrio térmico entre as lajes de piso, como acontece no bloco da torre. No nível da platéia, os ganhos de calor devidos à ocupação foram considerados o valor de 63 W por ocupante (atividade: sentado em repouso), e de acordo com a capacidade da platéia, 500 lugares. Para o nível de convenções foi considerado um ganho de calor de 65 W por ocupante (em pé, trabalho leve) com 50% da ocupação considerada no nível da platéia, sendo 250 usuários. A ventilação incidente obedece a mesma consideração determinada para o bloco da torre.

No anfiteatro tem-se as seguintes considerações: o único volume delimitado por alvenaria é o bloco dos sanitários (bloco de não permanência) o qual foi considerado somente o que se refere ao seu consumo energético devido às instalações elétricas e de iluminação. A área de platéia encontra-se ao ar livre e descoberta, não sendo considerada então para efeito do cálculo de desempenho térmico. No bloco da lanchonete da loja ocorre situação semelhante ao anfiteatro, sendo considerado para efeito do calculo apresentado, o consumo referente às suas instalações elétricas e de iluminação.

Posteriormente, foram levantados todos os equipamentos de iluminação artificial, sistemas elétricos e aparelhos de condicionamento de ar (Apêndice 03) tendo-se calculado seus consumos de acordo com o horário de funcionamento da Estação Ciência. Os resultados da aplicação dos regulamentos foram comparados visando à validação do regulamento proposto.

**5. Etapa 05:** a quinta e última etapa se refere às conclusões do trabalho e recomendações para pesquisas futuras.

## **NORMATIZAÇÕES EM CONFORTO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

O uso racional de energia nas edificações está ligado diretamente aos elementos de sua envolvente, seus valores de coeficientes de transmissão e fator solar, aos princípios bioclimáticos utilizados, à otimização da radiação solar , à ventilação natural e à iluminação natural. Nos edifícios se convém integrar os aspectos energéticos e ambientais durante seu projeto e construção, já que isso condicionará seu consumo energético durante muitas décadas. Além disso, a longa vida útil dos edifícios se mostra como uma barreira para a inserção de medidas de eficiência energética e de potencial de conservação nesse setor. O estabelecimento de requisitos mínimos de eficiência energética em edifícios novos ou grandes reformas afeta uma porcentagem reduzida do total de edificações e consumo do setor.

A metodologia de avaliação do desempenho termo-energético de uma edificação leva em conta a climatologia, a tipologia e morfologia edificatória, as características ocupacionais, funcionais e instalações. CHVATAL (2007) salienta a importância nessas avaliações de uma distinção clara entre os edifícios residenciais e os não residenciais. Enquanto que nos primeiros a tendência deve continuar a ser de aumentar a espessura de isolamento térmico da envolvente e proteção solar dos envidraçados, nos edifícios não residenciais deve ser permitido uma otimização da envolvente, sem obrigar a isolamentos excessivos.

Em estudos realizados pela mesma autora, nos edifícios habitacionais foi verificada a importância de sempre se controlar os ganhos solares no Verão, a fim de se reduzir o impacto negativo do aumento do isolamento da envolvente. Para este tipo de utilização, caso sejam garantidas adequadas condições para a ventilação natural, e seja tomado o devido cuidado na concepção desses edifícios optando-se por adequada orientação em relação ao sol e controle dos ganhos solares excessivos durante o Verão (e ao mesmo tempo a garantia de adequada insolação, no Inverno), pode-se tirar partido dos benefícios de um elevado isolamento durante o Inverno sem que haja sobreaquecimento excessivo durante a estação mais quente. Para os edifícios de serviços, a situação é bem distinta, pois além dos ganhos internos serem muito mais elevados, o período no qual eles ocorrem coincide com o dos ganhos solares máximos, o que acaba por agravar a situação. Em alguns casos, dependendo dos ganhos internos e solares, das taxas e do período de ventilação adotados, e das características geométricas do próprio edifício, pode-se reduzir o desconforto a níveis mais aceitáveis no Verão sem que haja necessidade de ar condicionado. No entanto,

deve ser tomado cuidado na prescrição de envolventes muito isoladas para comportamento e criar um ambiente sobreaquecido. Envolventes com inércia fraca, mais comum nos edifícios de serviços, implicam maiores índices de desconforto e maior amplitude de temperatura.

Em 1992 países como Canadá, Hong-Kong, França, Jamaica, Japão, Kuwait, Nova Zelândia, Paquistão, Filipinas, Singapura, Suécia, Reino Unido e os Estados Unidos já haviam instituído seus regulamentos de desempenho térmico e energético. O objetivo principal na maioria dos países era o de criar instrumentos para a racionalização do consumo de energia em edificações, seguido do aprimoramento das condições de conforto. Em quase todos os países estão incorporadas à regulamentação prescrições para a envolvente da construção capazes de influenciar nas alternativas de projeto de coberturas, paredes e janelas. Em quantidade menor, prescrições para os sistemas mecânicos e de iluminação são definidos nos regulamentos. Contudo, um conjunto significativo de países com participação relevante no consumo energético mundial ainda não havia implantado seus regulamentos, destacando-se o Brasil.

De acordo com OLIVEIRA (2006) a Austrália tem uma das mais evoluídas políticas de desenvolvimento de sistemas de classificação de desempenho de edificação. Existem sistemas de âmbito nacional e estadual. Os sistemas de classificação australianos são voltados tanto para edificações existentes quanto edificações novas, ou seja, para a fase de projeto. A maior parte desses sistemas concentra-se em avaliar o consumo energético das edificações residenciais e comerciais, e sua influência sobre a emissão de gases causadores do efeito estufa. Essa medida é adotada em virtude das preocupações do governo australiano em reduzir a emissão desses gases.

No geral, de acordo com MÍGUEZ (2006), o setor industrial e o setor de transportes são os maiores consumidores de energia, porém na Europa o setor de edificações consome cerca de 41% da energia. Esse valor vem crescendo todos os anos com o novo modelo de vida, no qual o uso de ar condicionado e aquecedores se torna cada vez mais comum. Calcula-se que 30 a 50% da energia consumida é usada para a iluminação de escritórios, prédios comerciais e a conveniência de se utilizar cada vez mais as novas tecnologias, como por exemplo, o ar condicionado. Estima-se um potencial de economizar mais de 22% de energia até 2010 para aquecimento, climatização artificial, água quente sanitária e iluminação artificial. Essa estimativa pode ser comprovada por diversos fatores. A União Européia possui cerca de 10

milhões de boilers com mais de 20 anos de uso, e sua substituição resultaria em uma economia de 5% de energia. A iluminação representa 14% do consumo de energia no setor de serviços, onde 30 a 50% poderiam ser economizado através do uso de componentes mais eficientes e sistemas de controle. O consumo de energia baseado no controle climático pode economizar cerca de 25% de energia. Além dos fatores citados, instrumentos como uso de fontes limpas de energia, *design* bioclimático e sistemas solares passivos podem reduzir 60% da demanda energética.

Apesar de parâmetros diferentes para normatização no setor das edificações, as normas e os códigos europeus são, segundo ROMERO (1998), bons indicadores e pontos de partida para implantação de regulamentos energéticos no Brasil, pois há neles a preocupação de garantir a qualidade dos envolventes dos edifícios sem tolher em nenhuma hipótese, a criatividade dos projetistas.

Segundo MARTINEZ (2006) o impacto ambiental de um edifício é proporcional à quantidade de recursos e emissões que estão relacionadas com as atividades e processos ocorrentes durante o seu ciclo de vida, portanto a edificação comporta um impacto ecológico que alcança além de sua incidência direta e característica no seu entorno urbano e natural. Os condicionantes das metodologias de certificação energética são: técnicos, econômicos, sociais, climatológicos e energéticos.

Outra ferramenta de diagnóstico e gestão é a auditoria de edifícios, que trata de quantificar os parâmetros que nos permite otimizar os custos econômicos e conseguir um bom funcionamento das instalações. Sua aplicação consiste no desenvolvimento operativo de uma metodologia para análise das distintas variáveis energéticas que entram em jogo nos balanços de energia, os métodos para sua medição, os equipamentos de análise necessários, assim como os níveis que se movem essas variáveis.

### **A União Européia.**

Na Europa, os países membros têm suas políticas nacionais diretamente influenciadas pela política ambiental e por diretrizes da Comissão Européia, as quais são obrigatoriamente implantadas nos Estados membros e cuja influência na construção é dada através de parâmetros energéticos e produtos.

Dentre os objetivos da Comunidade Européia está a busca por “um crescimento sustentável e não inflacionista que respeite o meio ambiente”. Sobre essa

base legal, a Comissão Européia inicia em 1967 as primeiras Diretrizes referentes à classificação, etiquetagem e embalagem de substâncias tóxicas e perigosas. Ao longo de quarenta anos, foram produzidas uma grande quantidade de normativas e regulamentos pelos diferentes países membros, relacionadas à economia de energia, classificação de produtos da construção, certificações de qualidade, segurança e saúde no trabalho. As políticas ambientais dirigidas às edificações dependem em grande parte da situação econômica e necessidades características dos diferentes países, conformando assim que os países membros estabelecessem as suas próprias prioridades. As ações relacionadas com a edificação sustentável, através da diretiva europeia sobre Eficiência Energética nos Edifícios, contemplam métodos de medição de eficiência, assumindo grande importância a implantação da Certificação Energética.

Segundo SOUSA, MARTINS e AFONSO (2005) a União Européia, com a Diretiva 2001/77/EC, reconhece a necessidade de promover as fontes de energia renovável considerando-as vetores estratégicos na proteção ambiental e no desenvolvimento sustentável. Através desta diretiva, a UE estabeleceu como meta indicativa para a Europa a produção, a partir de fontes renováveis, de 22 % da energia elétrica consumida. Espera-se alcançar este objetivo através de quotas assumidas pelos diferentes estados-membros. Essa quota foi recentemente revista, quando da adesão dos 10 novos estados-membros, passando para 21 %.

Os países de clima frio sentiram mais intensamente a necessidade de regulamentação. Até 1985, na Europa apenas a Bélgica, a Dinamarca, a França, a Alemanha, a Holanda e o Reino Unido possuíam um método oficial de avaliação termo energética. Com a crise mundial de energia os outros países que já desenvolviam estudos em relação à problemática energética passaram também a adotar regulamentos, como medida para redução do consumo energético.

Desde 1993, a Diretiva Comunitária Européia (93/076/CEE) estabelece a limitação das emissões de CO<sub>2</sub>, através da melhoria do desempenho energético. Essa diretiva ditava uma série de medidas já relacionadas com a construção: a certificação energética dos edifícios, que atestaria aos compradores e inquilinos a informação sobre as características energéticas do edifício; os custos de calefação; ar condicionado e água quente embasados em consumos reais por metro quadrado; inspeção regular das instalações de calefação.

Em 1994 ocorreu a Primeira Conferência Internacional Sobre Construção Sustentável, em Tampa – Califórnia, e desde então, todas as grandes conferências

internacionais sobre construção sustentável nos edifícios atribuíram uma parte significativa dos seus programas à especificação e comparação dos métodos de avaliação e de como o desempenho representa um dos pontos centrais da dimensão ambiental do projeto dos edifícios. Nesta perspectiva, destaca-se a importância da adoção voluntária de sistemas de avaliação do desempenho e da possibilidade do mercado ser um impulsionador para elevar o padrão ambiental existente.

Dentro das ações da União Européia destaca-se o “Livro Branco da Energia” (Uma Política Energética para a União Européia) aprovado em 1995 e desenvolvido, entre outros, nos documentos “Livro Verde para uma Estratégia Européia de Segurança de Abastecimento Energético” (publicado em 2001) e o “Programa Energia Inteligente para Europa” aprovado em 2002 visando à promoção das energias renováveis e a eficiência do transporte. Essa última iniciativa inclui diversos programas: de uso racional da energia e gestão da demanda; da promoção de novas energias renováveis e diversificação da produção; sobre os aspectos energéticos do transporte e para a promoção internacional de energias renováveis e eficiência energética.

O Plano de Ação para a melhoria da eficiência energética na Comunidade Européia (2000) estabelece o objetivo de redução da intensidade energética global em 1% anual até o ano de 2010. O “Livro Verde para uma Estratégia Européia de Segurança de Abastecimento Energético” estabelece o conceito do esforço determinado em favor da conservação de energia juntamente com a aplicação de tecnologias limpas e competitivas.

Segundo CEPINHA (2007) na Comunidade Européia, as preocupações com o panorama das alterações climáticas e diminuição das emissões de gases de efeitos de estufa nos edifícios, têm aumentado. Uma das ações da comunidade foi a criação do programa “*Intelligent Energy – Europe: 2003-2006*”, que pretende atingir dois objetivos globais: a promoção da eficiência energética, reduzindo as emissões de CO<sub>2</sub> e o aumento da quota de fontes de energias renováveis para 12% em 2010 disponibilizada a diferentes sectores.

Em 04 de janeiro de 2003 União Européia, publicou a Diretiva n. 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa ao desempenho energético dos edifícios que, entre outros requisitos, impõe aos estados membros o estabelecimento e atualização periódica de regulamentos para melhorar o comportamento térmico dos edifícios novos e reabilitados, obrigando-os a exigir, nestes casos, com poucas

exceções, a implementação de todas as medidas pertinentes com viabilidade técnica e econômica. A diretiva adota ainda a obrigatoriedade da contabilização das necessidades de energia para preparação das águas quentes sanitárias, numa ótica de consideração de todos os consumos de energia importantes, sobretudo, neste caso, na habitação, com um objetivo específico de favorecimento da penetração dos sistemas de coletores solares ou alternativas renováveis. Seu objetivo é promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios na Comunidade, considerando-se as condições climáticas externas e locais, bem como as exigências de clima interior e a rentabilidade econômica.

A diretiva estabelece requisitos em matéria de: enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios; aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios; aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos grandes edifícios existentes que sejam sujeitos a importantes obras de renovação; certificação energética dos edifícios; inspeção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado nos edifícios e, avaliação da instalação de aquecimento quando as caldeiras tenham mais de 15 anos. De acordo com o Parlamento Europeu e o Conselho da União Européia, o sector residencial e terciário, com sua maior parte constituído por edifícios, absorve mais de 40% do consumo final de energia e encontra-se em expansão, acentuando o respectivo consumo de energia e as correspondentes emissões de dióxido de carbono.

O documento aponta, ainda, que medidas destinadas a melhorar o desempenho energético dos edifícios deverão ter em conta as condições climáticas e locais, bem como o ambiente interior e a rentabilidade econômica. Essas medidas não contrariarão outros requisitos essenciais relativos aos edifícios, tais como a acessibilidade, as regras da boa arte e a utilização prevista do edifício. O desempenho energético dos edifícios deve ser calculado a partir de uma metodologia, que poderá ser diferenciada regionalmente, integrando isolamento térmico, instalações de aquecimento e ar condicionado, aplicação de fontes de energia renováveis e os projetos de edifícios.

Em seu anexo, a Diretiva n. 2002/91/CE mostra o enquadramento geral para o cálculo do desempenho energético dos edifícios, como apresentado abaixo:

1. A metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios integrará pelo menos os seguintes aspectos: características térmicas do edifício (envolvente e

divisões internas, etc.). Estas características poderão também incluir a estanquidade ao ar; instalação de aquecimento e fornecimento de água quente, incluindo as respectivas características de isolamento; instalação de ar condicionado; ventilação; instalação fixa de iluminação (em especial do setor não residencial); posição e orientação dos edifícios, incluindo condições climáticas exteriores; sistemas solares passivos e proteção solar; ventilação natural; condições climáticas interiores, incluindo as de projeto.

2. Neste cálculo deve-se considerar, quando for o caso, a influência positiva dos seguintes aspectos: sistemas solares ativos e outros sistemas de aquecimento e produção de eletricidade baseados em fontes de energia renováveis; eletricidade produzida por sistemas de co-geração; sistemas urbanos ou coletivos de aquecimento e arrefecimento; iluminação natural.

3. Para efeitos deste cálculo, os edifícios devem ser devidamente classificados em categorias tais como: habitações unifamiliares de diversos tipos; edifícios de apartamentos; edifícios de escritórios; estabelecimentos escolares; hospitais; hotéis e restaurantes; instalações desportivas; edifícios destinados a serviços de comércio; outros tipos de edifícios que consomem energia.

Segundo alguns autores a Metodologia Oficial definitiva adota uma visão global da energia da edificação, exigindo ser levada em consideração a totalidade das unidades ativas e passivas que interferiram na mesma, dando ênfase especial na contemplação de energias renováveis e outras técnicas de eficiência energética. Considerações sobre energia embutida e análises de ciclo de vida devem ser incluídas nos sistemas de regulamentação e certificação energética, no sentido de realmente tornar o setor das edificações sustentável.

A União Européia propõe que quando os edifícios sejam construídos, vendidos ou alugados, o usuário deve ter a sua disposição um certificado de eficiência energética, no qual se admite uma classe energética de eficiência, variando desde a classe “A” para os energeticamente mais eficientes à classe “G” para os menos eficientes.

Os componentes-chave para o processo de certificação geralmente são: a inspeção dos componentes da edificação, um documento descrevendo o desempenho energético do edifício e algumas vezes um índice de categoria do consumo energético do edifício, para melhor comparar-lo a outros.

O processo de certificação pode ser apoiado por programas e acordos, visando a facilitar o acesso equitativo ao aumento do desempenho energético pelo Estado-Membro ou realizado por empresas de serviços de energia que concordem em se comprometer com a realização dos investimentos. Na medida do possível, o certificado deve descrever a situação efetiva do desempenho energético do edifício. O certificado de desempenho energético de um edifício deve incluir valores de referência, como valores regulamentares legais e marcos comparativos, para que os consumidores possam comparar e avaliar o desempenho energético do edifício. O certificado deve ser acompanhado de recomendações relativas à melhoria do desempenho energético sob condições de rentabilidade econômica.

A certificação pode ser vista como um reconhecimento oficial de distinção para o bom desempenho energético de um edifício. Se certa condição de economia energética não for obedecida, a certificação é recusada. Esse é o conceito utilizado nos Estados Unidos, onde a *Environmental Protection Agency* (EPA) condecora sua “Energy Star” em 25% dos edifícios.

A divulgação ao público da informação sobre desempenho energético deve ser reforçada e a exibição das temperaturas interiores oficialmente recomendadas, juntamente com a temperatura efetivamente medida, deverá desencorajar a utilização incorreta dos sistemas de aquecimento, ar condicionado e ventilação e contribuir assim para evitar o desperdício de energia e promover condições climáticas confortáveis (conforto térmico) em relação à temperatura exterior.

No geral, a diretiva impõe condições mínimas que devem ser alcançadas, permitindo aos países membros que estabeleçam suas próprias políticas correspondentes à sua situação específica. Os estados membros tomam as medidas necessárias para assegurar que sejam estabelecidos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios, com base na metodologia, podendo fazer uma distinção entre edifícios novos e edifícios existentes e entre diferentes categorias de edifícios. Estes requisitos devem ter em conta as condições gerais de clima interior, de forma a evitar possíveis impactos negativos, como uma ventilação inadequada.

Para CHVATAL (2007) uma das consequências práticas da aplicação dessa Diretiva foi a prescrição de restrições mais severas para o isolamento da envolvente nos edifícios. Há uma alta pressão da indústria e da própria União Européia para que se aumente o nível do isolamento da envolvente de todos os tipos de edifícios na Europa. Por exemplo, no novo RCCTE - Portugal, as exigências para o nível de

isolamento da envolvente aumentaram aproximadamente 50%, e tendências similares são visíveis em muitos países. O enfoque da adoção desse tipo de medida é a redução do consumo energético devido ao aquecimento. Os benefícios de se aumentar o isolamento são evidentes numa situação típica de Inverno, pois quanto menor for o coeficiente de transmissão térmica, menor será a perda pela envolvente, e consequentemente, menor o gasto com aquecimento. Em países com estações de aquecimento prolongadas e Verões amenos e curtos (por exemplo, os do Norte Europeu), o consumo de energia pode ser consideravelmente reduzido através da adoção de envolventes altamente isoladas.

No entanto, segundo a autora, numa situação de Verão, os benefícios já não são tão evidentes, principalmente quando se trata de ambientes não condicionados. Há certas condições, quando os ganhos internos e/ou solares não são adequadamente controlados, nas quais uma envolvente altamente isolada dificulta a dissipação desses ganhos para o exterior, contribuindo para a elevação das temperaturas internas, eventualmente acima dos limites de conforto. Esse problema pode ser encontrado nos países do sul da Europa, que possuem longos períodos de Verão, altas temperaturas externas e elevada incidência de radiação solar, ou também em climas frios, desde que os ganhos internos ou solares sejam suficientemente elevados.

### **Situação Atual nos Estados Membros da União Européia**

Os governos europeus exibem um grande interesse na introdução de políticas da eficiência energética e diminuição das emissões de carbono, estabelecendo medidas que vão se tornando obrigatórias com o seu aperfeiçoamento e definem níveis máximos de transmissão térmica e isolamento nas envolventes dos edifícios, havendo, contudo, grande diferença nos Estados, consequente das diferenças climáticas e tecnologias construtivas.

Em vários países da União Européia regulamentações de desempenho energético em edificações vêm sido desenvolvidas, buscando cumprir o Protocolo de Kioto. Na Eslováquia, Polônia e Eslovênia, desde 2002, o governo implementou legislações de eficiência energética e uso de recursos renováveis, na Estônia em 2000 e Hungria e Lituânia em 1999. Os Estados Membros da União Européia (EU-15) estabeleceram coeficientes máximos de transmissão admissíveis para os novos edifícios, no entanto existem grandes diferenças entre eles no tocante ao nível mínimo

atual de isolamento requerido. Mais isolamento significa menores perdas energéticas, e indiretamente menores emissões de gases contaminantes.

### Dinamarca

A Dinamarca foi a pioneira na questão de economia de energia na União Européia, tornando-se uma referência para os outros Estados Membros. O país vem concedendo subsídios para medição de economia de energia desde 1981 e, em 1985, introduziu uma inspeção obrigatória para a venda de apartamentos que, em 1996, veio a consolidar-se no '*Act on Promotion of Energy and Water Conservation in Buildings*'. Essa certificação é obrigatória para todos os edifícios não industriais e o sistema de avaliação é baseado numa inspeção energética por profissionais qualificados, na qual são obtidas as informações do índice de consumo de água e energia e de emissões de CO<sub>2</sub>, propondo-se intervenções quando necessário e estabelecendo um documento com as informações do estado atual do edifício.

Os resultados desse sistema são estimulantes: entre 45 e 50 mil dos edifícios classificados por ano, 70% foram inspecionados na hora da venda, economizando um total de 20% de energia no setor de apartamentos.

### Itália

Na Itália a medida relevante é o Decreto Ministerial (abril de 1998) baseado na regulação para a implementação do Plano Nacional de Energia de 1991. Essa medida determina especificadamente a manufatura dos materiais das envolventes dos edifícios, definindo um coeficiente de condução de no máximo 5W/m<sup>2</sup>K para as superfícies transparentes ou translúcidas externas e recorrendo a três características: tensão do ar, transmissão de luz e transmissão de calor. O isolamento das envolventes era o único aspecto energético das edificações atualmente regulamentado por lei na Itália, sendo concluído em 2001 o primeiro estágio de um estudo para estabelecer regulamentações para economia de energia em edifícios, especificamente para o aquecimento e sistemas de água quente sanitária, não incluindo eletricidade ou controle do clima no verão.

### Alemanha

Na Alemanha a legislação relevante é o Decreto de Economia de Energia, aprovado pelo parlamento em 2001, e aplicável a todos os edifícios novos, renovação de edifícios antigos e edifícios alternativos ou temporários. A avaliação de energia é

obrigatória e inclui informações energéticas dos edifícios. Os cálculos são baseados nos níveis limites para os coeficientes de isolamento térmico e transmissão de calor requeridos para os edifícios.

Existe ainda o Certificado de Residência de Baixo Consumo Energético, onde a edificação certificada consome até 80% menos energia que uma das anos 70 e em torno de 30% menos que uma residência nova convencional. Na Alemanha, onde grandes espessuras de isolamento e vidros duplos de altas resistências são habituais há vários anos, se considera que a residência de baixo consumo energético é globalmente mais econômica que a residência convencional, já que os sobrecustos da inversão, que variam entre 1 e 5% segundo as soluções adotadas, são compensadas pela redução dos gastos de funcionamento.

Para os edifícios antigos, foi criado um plano voluntário para a redução das emissões de CO<sub>2</sub>, contendo medidas de isolamento térmico, substituindo janelas e sistemas de aquecimento.

### Reino Unido

No Reino Unido, as metodologias *The National Home Energy Rating Sheme* (NHER) e *StartPoint Sheme* (SS) foram combinadas dentro do plano o *Standard Assessment Procedure* (SAP), atuante desde 1995, desenvolvido pelas autoridades britânicas para calcular a economia de energia em edifícios residenciais, sendo obrigatória para todos os edifícios novos. É baseada no custo anual de energia para aquecimento e águas quentes sanitárias por metro de superfície. Numerosos fatores que influem na eficiência energética são considerados, incluindo-se isolamento térmico da envolvente do edifício, regulação e desempenho dos sistemas de aquecimento e água quente sanitária, o ganho solar do edifício e o tipo de combustível utilizado para produzir calor e água quente.

Este método utiliza uma lista de pontos que avaliam tanto a eficiência energética como a ambiental, diferindo de acordo com o tipo do edifício (residencial, não-residencial ou residencial unifamiliar). O SAP é formulado para obter-se uma pontuação de qualidade da edificação e não leva em consideração a localização do edifício, iluminação ou uso de equipamentos elétricos. Não existe ainda uma legislação para edifícios antigos. Além disso, existem programas relacionados com a avaliação do impacto ambiental.

### França

De acordo com GUGLIELMETTI (2002) na França o regulamento energético foi elaborado a princípio para fornecer parâmetros para as novas construções. O CSTB publicou de 1958 a 1973 seus trabalhos de pesquisa aplicada aos cálculos de aquecimento e arrefecimento das edificações residenciais. Na França como em outros países industrializados 40 a 50% da energia primária é consumida pelo setor residencial e terciário (superior aos setores de indústria e transportes). A partir das pesquisas desenvolvidas nestes trabalhos foi introduzido o código das edificações, uma primeira tentativa para diminuição do consumo de energia. Após a crise energética de 1974, o setor energético francês passou por diferentes mudanças que inspirou documentos de orientação financiados pelo Ministério de Equipamentos e Habitações e pela Agência Francesa para a Matriz Energética.

SHALDERS NETO (2003) diz que a legislação de construções e a regulamentação relativa às características térmicas das edificações e seus equipamentos evoluiu a partir do ano de 1974 quando da criação do chamado índice G, que determina e estabelece limites para as perdas de calor pela envolvente da edificação. Em 1982 foi introduzida a necessidade de se determinar e limitar os ganhos de calor - índice B. Decorridos 15 anos do início do processo de regulamentação foram incorporadas novas soluções técnicas e de abordagem da problemática do conforto ambiental e da eficiência energética com a instituição de um novo índice denominado – índice C. Este novo índice é um coeficiente de perdas térmicas que leva em consideração os ganhos de calor devidos à radiação solar e o desempenho dos equipamentos. O regulamento Francês divide o território basicamente em três zonas (H1, H2 e H3), que em função da altitude são subdivididas em mais três zonas climáticas. Esse regulamento é aplicado para as edificações residenciais novas e as alterações ou ampliações de construções antigas.

Em 1989, membros do grupo de conservação de energia criado pelo Ministério dos Equipamentos e Edificações juntamente com profissionais do ramo da construção civil através de um esforço comum foram responsáveis pela modificação do regulamento nesta data. O regulamento foi modificado quanto às modalidades de aplicação e quanto ao nível de abordagem dos princípios regulamentares. Esta nova mudança resultou em uma redução global dos consumos em 25% em relação à regulamentação anterior.

Atualmente pode-se dizer, segundo GUGLIELMETTI (2002), que as edificações novas francesas a partir de 1989 consomem cerca de 40% menos, globalmente, que aquelas construídas em 1974 e ainda cerca de três vezes menos que aquelas

construídas antes de 1974. A Normativa RT 2000 define as características térmicas de referência, mas deixa livre a escolha de materiais e sistemas. Impõe uma limitação para o consumo global de energia para a calefação, produção de água quente sanitária e climatização de edifício residencial e para iluminação em edifícios terciários.

De acordo com os índices de energia, a temperatura interior não deve ser maior que a temperatura de referência, bem como os limites impostos para o isolamento térmico de todas as paredes exteriores, nível de umidade do ar produzido pela ventilação e regulamentação do aquecimento e resfriamento da água doméstica, não sendo considerada a orientação da edificação.

### Países Baixos

Nos Países Baixos existe uma certificação energética voluntária desde 1991 com a finalidade de informar aos serviços públicos e proprietários a eficiência energética do edifício.

A regulação para edifícios *Energie Prestatie Advies - energy performance study* (EPA) vem sido aplicada desde 2000 para edifícios novos, sem ser obrigatória. Calcula o consumo energético total dos edifícios e estabelece um índice anual máximo equivalente a 1000 m<sup>3</sup> de gás natural por residência. Foi desenvolvido para promover um estudo geral do consumo de energia resultante dos edifícios e encorajar os proprietários a tomarem decisões para diminuir esse consumo.

Leva em consideração o consumo resultante para aquecimento, água quente sanitária, iluminação e a operação de bombas e ventilação mecânica, usando índices de referência. Não funciona como um certificado oficial, no entanto informa os potenciais de desempenho energético dos edifícios.

### Holanda

Na Holanda há o programa ECO-QUANTUM baseado em metodologia de análise de ciclo de vida e indicadores ambientais para a indústria da construção.

### Bélgica

Desde 1987 os índices NBN B62-002 e NBN B62-004 vêm sendo usados obrigatoriamente para todos os edifícios residenciais. É requerido um coeficiente limite para a transmissão de calor de 0,55 W/m<sup>2</sup> 0C, podendo essa legislação variar de uma região para outra, como por exemplo, em Bruxelas, onde o coeficiente determinado é de 0,65 W/m<sup>2</sup> 0C.

### Irlanda

A *Heat Energy Rating – 1997* (HER) e a *Energy Rating Bench Mark – 1992* (ERBM) foram desenvolvidas para monitorar a conformidade do Regulamento de Edifícios de 1992. Podem ser aplicadas voluntariamente com o intuito de promover o baixo consumo energético e emissões de CO<sub>2</sub>, tanto para os novos edifícios, quanto a ERBM também para edifícios antigos. Não funciona como um documento oficial de certificação, no entanto inclui recomendações para as paredes exteriores, sistemas de aquecimento e combustíveis.

### Luxemburgo

A legislação Grand Duchy Regulation on Buildings atuante desde 1996 é aplicada a todos os edifícios novos e antigos do setor de serviços e residencial, não sendo obrigatória. As autoridades subsidiam 50% do custo da avaliação, quando os proprietários implementam reformas propostas pelos avaliadores. Mesmo sendo voluntaria, o resultados vêm sendo bem satisfatórios, principalmente no setor residencial.

### Áustria

A Áustria é um estado federal e cada uma de suas nove regiões possui seu próprio regulamento. Existe um acordo nacional de eficiência energética que estabelece índices para regulação dos sistemas de aquecimento e estruturas prediais, porém o governo desenvolveu seus próprios requerimentos térmicos, em termos de coeficientes de transmissão para as paredes externas dos edifícios antigos e todos os edifícios novos. Incentivos são proporcionados no estímulo do uso de sistemas energéticos solares ou biomassa.

### Suécia

Na Suécia existe o programa ECO EFFECT – Avaliação Ambiental de Edifícios, desenvolvido e aplicável para o cálculo e avaliação do impacto ambiental causado por um edifício durante seu período de vida. É estruturado em cinco áreas de avaliação: uso de energia, uso de materiais, ambiente interior, ambiente exterior e custo do ciclo de vida.

### Suíça e Finlândia

O certificado suíço Minergie intenciona reduzir paulatinamente o uso de energias não renováveis para limitar as emissões de gases causadores do efeito

estufa. No âmbito da construção sua aplicação se traduz na criação de um selo que estabelece exigências precisas sobre o consumo energético de calefação e eletricidade durante a fase de adaptação de edifícios novos e antigos, nos setor residencial e no setor de serviços. A legislação suíça estabelece um isolamento mínimo requerido para as diferentes partes do edifício, não sendo específico, porém levando em consideração o desempenho térmico a ser atingido.

O regulamento da Finlândia é bem similar, contudo eles não só aplicam os coeficientes para as paredes externas, como também consideram a renovação do ar interior e sistemas de ventilação.

### Grécia

Até 2001, as autoridades gregas não haviam desenvolvido nenhum plano para isolamento térmico de edifícios, porém a partir dessa data um plano de ação foi projetado para que o país entrasse em concordância com as diretrizes da União Européia. Enquanto novas regulamentações são desenvolvidas para incluir requisitos mínimos de eficiência nos edifícios, sistemas de avaliação e classificação, esse plano provê incentivos financeiros para economizar energia em edifícios.

### Situação Espanhola

O que diferencia a Espanha da maioria dos países da União Européia é que desde o final da década de setenta, com a crise do petróleo, se iniciou uma política efetiva de eficiência energética orientada a enfrentar as mudanças no país, considerando: o forte crescimento da demanda de energia; a diversificação das fontes; as mudanças na evolução da intensidade energética; a liberação dos setores energéticos e a consideração do meio ambiente.

A aplicação das políticas construtivas foi possível através de normas adequadas e controle da produção, definindo-se medidas de avaliação nacionais para estabelecer uma comparação com o nível europeu. Como resposta à Diretiva SAVE de 1993, relativa às emissões de dióxido de carbono e melhora da eficiência energética, se trabalhou na Espanha programas de certificação que permitiram avaliar e comparar os desempenhos energéticos dos projetos de edificações.

Destaca-se o desenvolvimento da Certificação Energética das Residências, que foi aplicado primeiramente nas residências de proteção oficial, desenvolvido pelos

Ministérios de Fomento e Indústria e o de Energia. Em algumas comunidades autônomas espanholas, metodologias foram desenvolvidas para exigir a certificação energética dos edifícios, como por exemplo:

- Centro para Conservação e Desenvolvimento Energético e Mineral (CADEM) pertencente ao departamento da Indústria, Agricultura e Pesca do Governo Vasco que desenvolveu entre 1985 e 1993 um modelo de Certificação de Eficiência Energética para aplicação em edifícios;
- Centro de Conservação e Diversificação de Energética (CADE) que vem desenvolvendo desde 1995 a Certificação Energética de Edifícios baseada na metodologia utilizada no País Basco, adaptada às características próprias da comunidade autônoma de Castilla y León.
- O Instituto Catalão da Energia (ICAEN) do Departamento de Indústria e Energia da Cataluña vem desenvolvendo desde 1987, o Programa de Assessoramento Energético e com a experiência no setor de edificações foi possível contrapor a Certificação Energética de Edifícios.

Atualmente, vem desenvolvendo-se na Espanha a Estratégia de Conservação e Eficiência Energética 2004-2012, prognosticando um grande aumento das emissões de CO<sub>2</sub> desde o ano de 1990, 43% mais alta frente ao compromisso do Protocolo de Kyoto, e buscando a diminuição drástica desse número até o ano de 2012.

Existe ainda uma grande expectativa com o novo Código Técnico da Edificação (CTE) que reúne e revisa as diversas normativas vigentes na construção, das quais a única normativa relacionada com aspectos energéticos cumprida era a Norma Básica de Condições Térmicas nos Edifícios (NBE-CT/79) que não levava em consideração, por exemplo, a captação solar passiva ou a orientação das fachadas da edificação e aplica exclusivamente critérios de isolamento global, há mais de vinte anos. O novo CTE substitui a Norma Básica e estabelece, agora, maiores exigências nas questões de isolamento, iluminação, instalações de calefação e ar condicionado e instalações de energia solar, para reduzir a limites aceitáveis o consumo de energia em edifícios e para que parte desse consumo provenha de fontes renováveis.

Esse desenvolvimento normativo enquadra-se no cumprimento das obrigações dispostas pela Nova Diretiva Européia de Eficiência Energética nos Edifícios aprovada em 2002 (Directiva 2002/91/CE), onde os estados membros da União Européia devem

desenvolver medidas concretas de garantia da melhora da eficiência energética nos edifícios.

Uma das medidas de maior alcance é a transposição da Diretiva 2002/91/CE de eficiência energética dos edifícios mediante a três decretos reais. O Real Decreto 314/2006, pelo qual se aprova o Código Técnico da Edificação (CTE 2006) contempla uma série de medidas a serem obrigatoriamente cumpridas pelas edificações e um Documento Básico sobre Conservação de Energia. Os outros dois documentos encontram-se em tramitação administrativa e correspondem à certificação Energética dos Edifícios e à revisão do Regulamento de Instalações Térmicas dos Edifícios. O CTE estabelece, então, as exigências básicas de qualidade, segurança e habitabilidade dos edifícios e suas instalações com o objetivo de que o setor da construção adapte-se à estratégia de sustentabilidade econômica, energética e ambiental. Essas medidas compreendem tanto os novos edifícios como os já existentes.

#### Estratégia de Conservação e Eficiência Energética 2004-2012

A elaboração de uma Estratégia de Conservação e Eficiência Energética na Espanha se configura como um elemento de ligação de uma série de medidas legais, regulamentos e normativas estabelecidas para a melhoria do sistema energético espanhol, embasadas pelo modelo do desenvolvimento sustentável, na melhoria da competitividade, da garantia de abastecimento com a adequada segurança e da qualidade e proteção do meio ambiente.

Outro fator que vem juntamente definir essa Estratégia é a elevada dependência energética exterior da Espanha, que importa 75% da energia primária que utiliza. Essa dependência traz implicações econômicas, comerciais e principalmente efeitos ambientais significativos, ao se tratar prioritariamente de combustíveis fosseis com uma elevada taxa de emissão de poluentes causadores do efeito estufa. Além do mais, o avanço significativo do crescimento econômico espanhol é refletido no aumento da demanda energética. Com a introdução da Estratégia, prevê-se uma redução significativa das emissões de contaminantes atmosféricos, em concordância com as Diretivas Européias, numa constante adequação ao desenvolvimento do cumprimento dos compromissos.

Com uma estratégia de trabalho no período 2004-1012, a partir do contexto econômico, energético e ambiental, esse documento elabora uma previsão do consumo de energia do Cenário Base, dando lugar a um Cenário de Eficiência criado

a partir da evolução esperada dos consumos de energia. Os cenários aglomeram as tendências econômicas e energéticas atuais, apresentando o que se considera a perspectiva futura mais provável sobre a evolução socioeconômica, o processo de integração européia e a evolução dos mercados energéticos.

Essa estratégia de previsão engloba diversos atributos: evolução da população; preços energéticos nos mercados internacionais; evolução do PIB; evolução setorial (indústria, construção, transporte, serviços); condicionantes ambientais, essas relevantes quanto a tipos de energias consumidas, tecnologias de transformação e uso final, e evolução da eficiência energética.

A distribuição setorial escolhida na elaboração da Estratégia de Conservação e Eficiência Energética é baseada em medidas formuladas através de critérios de análise setorial (industrial, transporte, residencial, serviços e agricultura) em razão da homogeneidade do uso de energia e tecnologia aplicada. Consideram-se o capital de giro, pontos de consumo e ainda a evolução histórica de cada setor.

Em relação ao setor das edificações, o consumo de energia final doméstico (calefação, água quente sanitária, condicionamento de ar e iluminação) representa 9,87% do total nacional. As medidas analisadas para esse setor se dividem em dois grupos: as dirigidas aos edifícios existentes e as elaboradas para as novas edificações. No primeiro caso, as medidas englobam a envolvente construída (fachadas, cobertas e fechamentos), as instalações térmicas e iluminação artificial. Para os novos edifícios, é aplicada a Diretiva 2002/91/CEE.

Os resultados da Estratégia de Conservação e Eficiência Energética 2004-2012 podem ser expressos em relação à sua contribuição à conquista dos três objetivos da política energética espanhola, ou seja, sua capacidade para ampliar a competitividade da economia espanhola, diminuir o grau de dependência das importações energéticas e contribuir com a preservação do meio ambiente.

Por setores, o acúmulo final de conservação em energia, durante o período coberto pela Estratégia, se divide em: transporte 50%; industrial 22%; residencial 16%; serviços 7% e agricultura 4%, valores esses coerentes com o potencial de cada setor.

A contribuição da Estratégia ao cumprimento do compromisso assumido pela União Européia e pela Espanha do Protocolo de Kioto é clara, bem como a melhoria ambiental, e constitui um pilar importante da futura Estratégia Espanhola de Desenvolvimento Sustentável.

A elaboração da Estratégia de Conservação e Eficiência Energética 2004-2012 constitui uma base sólida que se une a uma série de atuações e normativas, dirigidas a melhoria do sistema energético espanhol, ou seja, uma atuação integrada no processo de definição do novo marco energético espanhol através da integração de múltiplos agentes na busca da redução do consumo de energia para o bem social.

#### Código Técnico da Edificação – CTE 2006

O Código Técnico da Edificação (CTE) é o marco normativo pelo qual se regulamentam as exigências básicas de qualidade que os edifícios devem cumprir, incluindo suas instalações, para que sejam garantidas as condições básicas de segurança e habitabilidade. Tais condições são requeridas nos requisitos: segurança estrutural; segurança contra incêndio; segurança de utilização; higiene; saúde e proteção ambiental; proteção contra ruídos e conservação de energia e isolamento térmico.

Tal Código se aplica tanto aos novos edifícios quanto à ampliação, modificação, reforma ou reabilitação de edifícios existentes perante à correspondente licença legal, sendo obrigatória a comprovação do cumprimento das exigências básicas do CTE.

Com relação às exigências básicas de salubridade, tem-se para qualidade do ar interior o requerimento que os edifícios disponham de meios para que a ventilação de seus recintos seja adequada, eliminando os contaminantes produzidos com o uso do edifício, de forma que o caudal de ventilação seja suficiente e garanta a expulsão do ar interno contaminado.

No tocante às exigências básicas de conservação de energia, o Código objetiva conseguir um uso racional da energia necessária para a utilização dos edifícios, reduzindo a limites sustentáveis seu consumo, e ainda que parte desse consumo proceda de fontes renováveis, como consequência de seu projeto, construção, uso e manutenção:

-Limitação de demanda energética: os edifícios deverão dispor de um envolvente que limite a demanda energética para se alcançar o conforto térmico em função do clima de cada localidade, por suas características de isolamento e inércia; permeabilidade ao ar e exposição à radiação solar, reduzindo os riscos de umidade (condensações superficiais).

-Rendimento das instalações térmicas: tais instalações deverão proporcionar o conforto térmico de seus ocupantes regulando o rendimento de seus equipamentos.

-Eficiência energética nas instalações de iluminação: deverão adequar-se às necessidades de seus usuários, sendo eficazes energeticamente e dispondo de um sistema de regulação que otimize o aproveitamento da luz natural.

-Contribuição solar mínima de água quente sanitária: parte das necessidades térmicas derivadas dessa demanda suprir-se-á mediante à incorporação de sistemas de captação, armazenamento e utilização de energia solar.

-Contribuição fotovoltaica mínima de energia elétrica: incorporação de sistemas de captação e transformação de energia solar em energia elétrica para uso próprio ou fornecimento da rede.

#### CTE 2006 – Qualidade do Ar Interior HE

Esse documento aponta que os edifícios deverão dispor de meios que permitam seus recintos serem adequadamente ventilados, eliminando os contaminantes que se produzam de forma habitual durante seu uso, apontando um caudal suficiente de ar externo que garanta a extração do ar viciado.

O âmbito de aplicação diz respeito aos edifícios residenciais, seu interior, armazenamento de lixo, sótão, estacionamentos e garagens e circulação de veículos. Considera-se nesse regulamento três tipos de ventilação: ventilação natural (ação natural do vento pela existência de diferença de pressão na entrada e saída); ventilação mecânica (equipamentos eletromecânicos para ingresso ou extração); ventilação híbrida (natural, quando as condições ambientais são favoráveis, e mecânica quando não).

Exige-se o cumprimento de condições estabelecidas para caudais, desenho do sistema de ventilação para cada tipo de local, condições dos elementos construtivos (aberturas e bocas de ventilação, dutos de entrada e saída de ventilação mecânica, janelas e portas), cumprimento das condições de dimensionamento, produtos, construção, manutenção e conservação do sistema. Deve ser calculado o dimensionamento das aberturas de ventilação, dutos de entrada e saída para ventilação mecânica e híbrida obedecendo a condições mínimas requeridas por esse documento.

#### CTE 2006 – Documento Básico HE: Conservação de Energia

## Seção HE1 – Limitação da demanda energética.

A limitação da demanda energética de um edifício é determinada pelo clima da localidade onde esse está inserido, através do estabelecimento de zonas climáticas. Os parâmetros (transmitância térmica e fator solar) dos fechamentos e partições deverão obedecer aos valores limites estabelecidos em tabelas fornecidas pelo Código. Todos os valores foram estabelecidos a partir de um zoneamento climático do território, admitindo diferentes valores dos parâmetros para as distintas zonas climáticas.

Os parâmetros que definem a envolvente térmica agrupam-se da seguinte forma: transmitância térmica das paredes das fachadas; das coberturas; dos solos; dos fechamentos em contato com o terreno; das aberturas e divisões comuns e do fator solar das aberturas e clarabóias. Para que não exista desequilíbrio entre a qualidade térmica de diferentes espaços, cada um dos fechamentos e partições internas da envolvente térmica terá uma transmitância não superior aos valores admitidos.

Para efeito de cálculo da demanda energética os espaços habitáveis se classificam em função da quantidade de calor dissipada em seu interior, devido à atividade realizada e ao período de utilização de cada espaço, nas categorias de espaço com baixa carga interna e espaços com alta carga interna.

O CTE aponta duas formas de se fazer os cálculos para a determinação da demanda energética: a opção simplificada e a geral.

A opção simplificada limita indiretamente a demanda energética dos edifícios determinando limites de valores para a transmitância térmica e fator solar dos componentes da envolvente. Limita ainda a presença da condensação nas superfícies e os interiores dos fechamentos, a permeabilidade do ar pelas aberturas e as transmissões de calor.

Essa opção pode ser aplicada quando: a superfície das aberturas em cada fachada for inferior a 60% e a superfície de clarabóias for inferior a 5% da superfície da coberta. Para cada categoria determinar-se-á a média dos parâmetros de transmitância e fator solar, ponderando os parâmetros os fechamentos segundo sua fração de área total. Serão, então, obtidos os valores de: transmitância media das coberturas e suas pontes térmicas; transmitância media os solos; paredes de cada fachada; fechamentos em contato com o terreno; aberturas em todas as fachadas e fator solar das aberturas e clarabóias.

A opção geral limita diretamente a demanda energética dos edifícios, avaliando-a mediante cálculos, considerando a geometria, construção e operação do edifício; edifícios de referência, que possuam a mesma geometria, zoneamento interno e uso, e qualidade dos materiais construtivos; limita a presença de condensações e permeabilidade ao ar.

A única limitação para o uso dessa segunda opção deriva do uso de soluções construtivas com tecnologias inovadoras, cujo modelo não possa ser introduzido no programa informatizado de cálculo. O método de cálculo utilizado demonstra o comportamento térmico do edifício e suas solicitações externas e internas, considerando os efeitos da massa térmica.

Os cálculos requeridos se referem aos seguintes parâmetros: transmitância térmica (fechamentos em contato com o ar externo e com o terreno, solos e paredes em contato com o terreno, cobertas enterradas, partições internas, aberturas e clarabóias); fator solar de aberturas e clarabóias; resistência térmica total dos elementos construtivos (limites superior e inferior da resistência térmica total e resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas); condensações e relações psicrométricas (pressão de vapor e umidade relativa interior).

#### Seção HE2 – Regulamento das instalações térmicas (RITE).

O Regulamento das Instalações de Calefação, Climatização e Água Quente Sanitária, aprovado pelo Real Decreto 1618/1980, e posteriormente modificado e complementado por várias disposições, contribuiu significativamente para potencializar e fomentar o uso racional de energia nas instalações térmicas dos edifícios, atendendo os requisitos de conforto térmico e higiene.

Com o desenvolvimento de novas tecnologias e inserção da Espanha na União Européia, foi necessária a revisão do presente regulamento de acordo com a Estratégia de Conservação e Eficiência Energética. O Regulamento das Instalações Térmicas visa a estabelecer as condições das instalações térmicas dos edifícios destinadas a atender a demanda de conforto térmico e higiene, através das instalações de calefação, climatização e água quente sanitária, buscando o uso racional de energia e a preservação do meio ambiente.

O Regulamento define como ambiente térmico as características que condicionam os intercâmbios térmicos do corpo humano com o ambiente, em função das atividades realizadas e do isolamento térmico das vestimentas. Tais

características são: temperatura do ar; temperatura radiante media do recinto; velocidade média e umidade relativa do ar.

Os ruídos gerados pelos componentes das instalações térmicas e as vibrações das máquinas e tubulações das instalações podem afetar o conforto dos usuários do edifício. Por essa razão, o projeto de tais instalações deve garantir a atenuação dos ruídos e vibrações, e ainda calcular-se a demanda energética para os equipamentos e aparelhos das instalações térmicas. Em suma deve-se estudar a orientação das fachadas dos edifícios, sua distribuição de espaços internos, sua ocupação, usos e horários de funcionamento e ainda a disponibilidade das fontes de energia, custo, segurança e confiabilidade do sistema.

As instalações térmicas deverão ser calculadas por um método adequado, levando em conta: as condições internas e externas, o isolamento térmico do edifício, as potências das centrais de produção, as redes de tubulação e dutos, os terminais de tratamento, as saídas de ar, as chaminés e dutos de fumaça, o isolamento térmico das instalações e as instalações de água sanitária.

#### Seção HE3 – Eficiência energética das instalações de iluminação.

A aplicação dos parâmetros requeridos nessa seção deve seguir a verificação de: cálculo do valor de eficiência energética da instalação de iluminação; comprovação da existência de um sistema de controle e regulagem que otimize o aproveitamento da luz natural e a existência de um plano de manutenção.

Para os cálculos, devem ser apresentados: o índice do local; número de pontos de luz; fator de manutenção previsto; iluminância média horizontal; índice de ofuscamento e rendimento de cor; valor da eficiência energética da instalação; potenciais do conjunto de equipamentos e sistema de controle.

Tem-se ainda, que para determinar o cálculo e as soluções luminotécnicas das instalações de iluminação deve-se levar em consideração: o uso da zona a iluminar; tipo de tarefa realizada; necessidades do usuário; dimensões do recinto; refletâncias das paredes, pisos e tetos; condições da luz natural; acabamento e mobiliário previsto.

#### Seção HE4 – Contribuição solar mínima de água quente sanitária.

A contribuição solar mínima anual é a fração entre os valores anuais da energia solar de contribuição requerida e a demanda energética anual. Tal instalação é constituída por um conjunto de componentes com a função de captar a energia solar e

transformá-la em energia térmica, armazenando-a eficientemente, podendo estar integrado com um sistema complementar de produção de energia.

O objetivo básico do sistema solar de aquecimento é fornecer ao usuário uma instalação que otimize a conservação de energia, garanta durabilidade, qualidade e segurança na instalação.

A metodologia de cálculo deve especificar os valores médios diários da demanda de energia térmica e a contribuição solar. Deve, ainda, apresentar a fração solar mensal e anual e o rendimento do sistema, juntamente com o cálculo das perdas por orientação e inclinação, perdas da radiação solar por sombreamento e o plano de manutenção do sistema.

#### **Seção HE5 – Contribuição fotovoltaica mínima de energia elétrica.**

O âmbito de aplicação da seção são os edifícios que superem os limites de aplicação estabelecidos pelo CTE, estando relacionado com a área construída, ou número de alojamentos, dependendo das funções discriminadas. Tais edifícios deverão incorporar sistemas de captação e transformação de energia solar por procedimentos fotovoltaicos. São estabelecidas potências elétricas mínimas, podendo ser ampliadas pelas administrações competentes.

A instalação fotovoltaica é constituída por um conjunto de componentes encarregados de captar a radiação solar, gerando energia elétrica em forma de corrente contínua, e adaptá-la às características da rede de distribuição. São calculados: a potência a ser instalada; as perdas por orientação; inclinação e sombreamentos. Deve-se, ainda, fazer a previsão da manutenção do sistema.

#### **Real Decreto 314/2006**

O Real Decreto é o documento pelo qual se aprova o Código Técnico da Edificação. A Lei 38/1999 autoriza o Governo espanhol, para que mediante um Real Decreto, aprove um Código Técnico da Edificação, no qual se estabeleçam requisitos relativos à segurança e à habitabilidade.

A aprovação do novo Código Técnico da Edificação supõe a superação e a modernização sobre a normativa da edificação que estabeleceu as Normas Básicas da Edificação de 1977, e a criação de um marco normativo coerente com os existentes em países mais avançados, e ajusta a regulamentação nacional em edificações com as disposições vigentes da União Européia, principalmente no que diz respeito à Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu, relativa à eficiência energética dos

edifícios. Essa ultima exigência definiu a incorporação no Código Técnico da Edificação das exigências relativas aos requisitos de eficiência energética dos edifícios.

No procedimento desse Real Decreto se cumpriram os requisitos estabelecidos na Lei 50/1997 que se regula a indulgência de informação em matéria de normas e regulamentações técnicas relativas aos serviços da sociedade de informação, na aplicação da Diretiva 98/34/CE do Conselho, pela qual se estabelece um procedimento de informação, no qual se ouviu as Comunidades Autônomas e a Comissão Técnica para a Qualidade da Edificação, assim como as associações e os setores afetados.

#### Real Decreto 47/2007 - Certificação de Eficiência Energética de Edifícios

A Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu, relativa à eficiência energética dos edifícios estabelece a obrigação de dispor aos usuários dos edifícios um certificado de eficiência energética, que deverá incluir informações sobre as características energéticas dos edifícios, de forma que se possa valorar e comparar sua eficiência, com a finalidade de favorecer a promoção dos edifícios de alta eficiência energética e as políticas de conservação de energia.

O objetivo principal desse decreto consiste em estabelecer o procedimento básico que se deve cumprir a metodologia de cálculo da qualificação de eficiência energética, com o que se inicia o processo de certificação, considerando aqueles fatores que têm mais incidência no consumo de energia, bem como as condições térmicas dos edifícios de nova construção, ou que se reformem ou reabilitem.

O procedimento básico é constituído pela determinação da metodologia de cálculo da qualificação de eficiência energética, para o inicio do processo de certificação considerando os fatores de maior influência no consumo de energia dos edifícios, assim como estabelecer condições técnicas e administrativas para as certificações de eficiência energética dos projetos e edifícios concluídos e aprovar um distintivo comum em todo o território nacional, denominado etiqueta de eficiência energética.

A qualificação de eficiência energética é a expressão do consumo de energia que se estima necessário para satisfazer a demanda energética do edifício em condições normais de funcionamento e ocupação. Determinar-se-á a partir de cálculos e se expressará mediante a etiqueta de eficiência energética. O método de cálculo se baseia num sistema chamado “auto-referente”, mediante o qual o edifício a ser

certificado se compara a outro de referência que cumpre determinadas condições normativas e avalia-se se o edifício em questão alcança ou supera a eficiência energética do de referência.

O certificado de eficiência energética deverá conter: a identificação do edifício; a indicação da normativa energética em vigor quando construído; indicação da opção simplificada ou geral usada para obter a qualificação; descrição das características energéticas do edifício (envolvente térmica, instalações, condições normais de funcionamento e ocupação, etc.); qualificação da eficiência energética do edifício expressa pela etiqueta e descrição das comprovações e inspeções para estabelecer a conformidade da informação contida no certificado.

Para alguns autores, considerando as restrições impostas para a demanda energética das envolventes edificatórias, as pretensões do CTE trazem um importante avanço em relação ao NBE CT 79, e de fato constitui uma estratégia nacional importante em relação ao desenvolvimento de documentos de conservação de energia e planos de obtenção de seus objetivos. No entanto, considerando que o CTE implementa indicadores diferentes do NBE CT 79, essa pretensão pode não ser diretamente verificada.

Dentre as críticas feitas ao novo CTE, tem-se que o indicador de desempenho do edifício é inapropriado. Os indicadores, tanto da opção simplificada quanto da geral, não oferecem nenhuma avaliação quantitativa direta do consumo de energia do edifício, e não incorporam nenhum mecanismo capaz de efetivamente controlar e limitar esse consumo no setor. O indicador da opção simplificada, o coeficiente de transmissão de calor estacionária, é inapropriado tanto para avaliar o efeito da demanda energética de vários edifícios, quanto para prover informação quantitativa sobre o consumo energético do edifício. O indicador implementado na opção geral, o consumo energético relativo às variáveis de um edifício referência, tem fortes limitações estruturais associadas ao conceito de edifício de referência. De fato, nos casos que não é aplicada a opção simplificada, a geração do edifício de referência pode produzir uma situação comparativa injusta, e em todo caso, a variável do edifício de referência introduz uma discriminação negativa com a densidade do edifício.

### **Situação Portuguesa**

O regulamento em vigor em Portugal apresenta uma diferença importante sobre outros, pois visa a limitar o comportamento do edifício, no inverno e no verão. O

reflexo desta abordagem é que os projetistas são obrigados a não descuidar das exigências impostas à edificação diante dos dois tipos distintos de solicitações a que os edifícios estão sujeitos. Nos últimos dez anos, a legislação portuguesa estabeleceu dois regulamentos térmicos que visam à melhoria dos edifícios, em termos da qualidade da envolvente, dos respectivos sistemas energéticos de climatização, que foram importantes instrumentos na melhoria das condições de conforto e da eficiência energética do parque construído nacional.

O primeiro, o "Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios" (RCCTE), Decreto Lei 40/90, de 06 de Fevereiro, constitui uma primeira base regulamentar que visa diretamente à melhoria da qualidade térmica da envolvente dos edifícios, ainda que considerado muito moderado, em termos de exigências, teve um impacto significativo na forma de construir em Portugal. Esse regulamento é considerado por muitos autores como equivalente à legislação de regulamentação espanhola introduzida em 1979.

O RCCTE foi desenvolvido para ser aplicado em: edifícios de habitação; habitação e serviços; edifícios de serviços sem sistemas mecânicos de climatização; grandes intervenções de remodelação ou de alteração da envolvente e ampliações de edifícios existentes. Estão isentos das exigências do RCCTE: edifícios industriais; garagens; edifícios freqüentemente abertos; armazéns e similares não climatizados; igrejas e similares; construções em zonas históricas, monumentos e edifícios classificados e infra-estruturas militares de acesso reservado.

O segundo, o "Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios" (RSECE), Decreto-Lei 118/98, de 07 de Maio, visa fundamentalmente aos edifícios com sistemas, de forma a melhorar a sua eficiência energética. Este regulamento estabelece um conjunto de regras de modo que "as exigências de conforto e de qualidade do ambiente impostas no interior dos edifícios, possam vir a ser asseguradas em condições de eficiência energética".

Segundo ROMERO (1998) existe consequências indesejáveis quanto ao aproveitamento da luz natural, apesar de serem pequenas ante as melhorias proporcionadas pelo uso por um período de mais de 10 anos do RCCTE em Portugal. Para adequar seus edifícios às exigências regulamentares, adotando uma solução simplista, mas regulamentar, os projetistas portugueses diminuíram muito os vãos dos envidraçados, reduzindo os ganhos energéticos por radiação, mas ao mesmo tempo diminuindo, consequentemente, o aproveitamento de luz natural.

Em Portugal, a Diretiva da União Européia traduziu-se num plano estratégico para promoção das fontes de energia renovável, designado Programa E4 (Eficiência Energética e Energias Endógenas). Com este programa de apoio, Portugal pretende atingir a meta dos 39 % de produção de energia elétrica a partir de fontes de energia renovável.

#### Programa E4 Portugal - Resolução do Conselho de Ministros n.º 154/2001.

A política energética nacional visa conseguir um conjunto de objetivos como: segurança do abastecimento em energia; redução da fatura externa resultante da importação de produtos energéticos e favorecimento da competitividade do sistema produtivo nacional, no quadro da abertura dos mercados e da construção do mercado único. Muito embora se tenham desenvolvido, no âmbito da indústria e dos serviços, experiências muito válidas de utilização racional de energia e produção/utilização conjunta de energia térmica e elétrica, há ainda um longo caminho a percorrer para atingir níveis europeus de eficiência energética nesses setores.

Mas são os setores dos transportes e dos edifícios os que revelam as mais elevadas taxas de crescimento de consumo de energia e de emissão de CO<sub>2</sub>. A evolução destes dois segmentos da procura energética, atendendo à sua dispersão e dependência de fatores condicionantes, constitui um desafio que implica grande esforço de modernização da sociedade e do governo, a respeito à gestão das cidades ou dos conselhos e das infra-estruturas urbanas.

O Programa E4, Eficiência Energética e Energias Endógenas, objetiva: ultrapassar os desequilíbrios estruturais do País na área da energia; potenciar a concretização do mercado interno da energia da União Européia; agilizar o sistema energético português; promover um vasto leque de medidas de eficiência energética; e facilitar o acesso e o desenvolvimento da produção de eletricidade por vias progressivamente mais limpas e renováveis.

Para isso foram definidas medidas de ação como: salvaguarda das condições de segurança do abastecimento dos combustíveis, nos termos acordados internacionalmente; clarificação e harmonização das condições de atribuição de pontos de ligação às redes públicas a produtores do Sistema Elétrico Independente; valorização do Sistema Elétrico Independente pelo aumento da remuneração da eletricidade com origem em energias renováveis, diferenciada por tecnologia e regime de produção de centros eletroprodutores; promoção do gás natural como carburante e

revisão, neste contexto, das condições de licenciamento e de segurança dos postos de abastecimento de combustíveis; definição de normas de eficiência energética para balastros de fontes de iluminação fluorescente; reorientação dos apoios e incentivos previstos no Programa Operacional de Economia, com vista à prossecução dos objetivos definidos em matéria de eficiência energética e de utilização de recursos energéticos endógenos; promoção de ações de informação sobre boas práticas em matéria de utilização da energia e tecnologias eficientes e finalmente o lançamento de um programa nacional para a eficiência energética nos edifícios, incluindo a sua certificação energética e dinamização de intervenções energético-ambientais com especial incidência no espaço urbano.

Segundo a Direção Geral de Energia de Portugal (2002) as medidas do Programa E4 com incidência nos edifícios são: promoção de sistemas de gestão energética e de tecnologias que fomentem uma melhor repartição do consumo das cargas de eletricidade, promoção da utilização de equipamentos elétricos mais eficientes e designadamente fomento da adoção de critérios de eficiência energética e ambiental nos processos de compra, promoção da imagem e exploração do interesse económico e social da opção solar térmico para as águas quentes sanitárias nos setores domésticos e de serviços, promoção da micro-cogeração de eletricidade a partir de fontes renováveis (solar fotovoltaico, micro-turbinas), com particular relevância para a integração arquitetônica dos dispositivos de captação nos edifícios, criação de mecanismos de gestão racional dos meios e sistemas de climatização e conforto ambiental e por fim a dinamização das intervenções energético-ambientais com especial incidência no espaço urbano (regulamentação urbanística, construção, desempenho de edifícios e sistemas energéticos dos edifícios).

#### RCCTE Portugal - Decreto-Lei n.o 80/2006 de 4 de Abril.

Em Portugal o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.o 40/90, de 6 de Fevereiro, foi o primeiro instrumento determinante das condições de conforto térmico e economia de energia em edificações. Visava, ainda, minimizar as patologias das edificações, provocadas pela ocorrência de condensações superficiais ou internas prejudiciais à durabilidade dos elementos de construção e na qualidade do ar interior, constituindo um marco da melhoria da qualidade da construção civil em Portugal.

Atualmente, com a utilização quase generalizada do RCCTE, foi verificado que com o passar dos anos houve um aumento significativo da utilização de equipamentos

de climatização artificiais, e consequentemente do consumo de energia nas edificações. Esse fato fez com que novas medidas fossem criadas por questões de viabilidade econômica, onde o consumo de energia requereria maiores exigências de desempenho térmico por parte da envolvente dos edifícios.

Com a necessidade de se adequar a novas exigências sociais, econômicas e energéticas, em 2006 o RCCTE foi alvo de uma revisão, onde foram fixadas condições ambientais de referência para se calcular o consumo energético, considerando-se temperatura do ar, ventilação para renovação e qualidade do ar interior. Com maiores exigências, essa nova versão explicita as taxas de renovação do ar recomendadas, e representa uma melhora significativa na qualidade térmica dos edifícios.

A obrigatoriedade da instalação de painéis solares para a produção de água quente sanitária, definida pelas diretivas da União Européia em 2003, abre novos caminhos para a diminuição da poluição e do próprio consumo energético das edificações, e ao mesmo tempo representa uma melhoria de conforto, a custos mais baixos.

O RCCTE aplica-se à frações autônomas de todos os novos edifícios de habitação e de todos os novos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados, bem como às grandes intervenções de remodelação ou de alteração na envolvente ou nas instalações de preparação de águas quentes sanitárias dos edifícios já existentes.

#### Índices e Parâmetros de Caracterização:

O comportamento térmico dos edifícios é caracterizado pela quantificação de índices térmicos e parâmetros da necessidade de energia útil para aquecimento (Nic) e arrefecimento (Nvc), produção de água quente sanitária (Nac) e ainda energia primária (Ntc). São ainda quantificadas condições específicas para os coeficientes de transmissão térmica (superficiais e lineares) dos elementos da envolvente, a inércia térmica, o fator solar dos vãos envidraçados e a taxa de renovação de ar. Tais índices são calculados com base em condições de referência determinadas pelo próprio regulamento.

O RCCTE é convencionado na fixação de dois índices fundamentais: o valor das necessidades nominais de aquecimento e de arrefecimento de um edifício. Estes dois índices representam a energia que, em um ano médio, seria preciso fornecer ou retirar a um dado edifício para compensar o calor perdido ou ganho, respectivamente,

através da sua envolvente quando no seu interior é mantido um ambiente a uma temperatura de referência (18°C no inverno e 25°C no verão). Estes valores não representam, contudo, os consumos reais de um edifício, pelas seguintes razões, segundo MALDONADO (1991): o clima exterior varia de ano para ano e só por coincidência terá valores médios anuais iguais aos admitidos; na generalidade dos casos, as condições interiores não são termostatizadas e, quando o são, as temperaturas interiores são normalmente outras e os padrões de utilização (por exemplo, abertura de janelas) são altamente variáveis.

De acordo com o mesmo autor, estes índices permitem a comparação entre edifícios (ou zonas independentes), pois os seus valores representam o grau de permeabilidade da envolvente às trocas caloríficas. Desta forma, quanto maior for o seu valor, mais energia será necessário consumir para manter o ambiente no nível pretendido de temperatura ou, em regime não termostatizado, como acontecerá numa grande maioria dos edifícios portugueses, maior será a diferença entre as condições de referencia e as condições reais no interior.

#### Licenciamento:

O procedimento de licenciamento ou de autorização de uma edificação é realizado através de uma ficha que estabelece a conformidade do edifício face ao RCCTE, uma descrição das soluções construtivas utilizadas, o cálculo dos valores das necessidades de energia do edifício e ainda os detalhes construtivos que definem as situações das ligações térmicas da fachada.

#### Condições Interiores de Referência:

As condições ambientais de conforto definidas como referência para a legislação determinam uma temperatura do ar de 20 °C para a estação de aquecimento e de 25 °C (sendo 50% de umidade relativa) para a estação de resfriamento. Para as taxas de renovação do ar e garantia da qualidade do ar interior é determinado o valor de 0,6 renovações por hora. Com relação à água quente sanitária toma-se a taxa de utilização de 40 litros de água quente (60 °C) por pessoa por dia.

#### Valores limites das necessidades nominais de energia útil:

Os valores limites de necessidades nominais de energia útil pra aquecimento (kWh/m<sup>2</sup> ano) depende dos valores do fator de forma (quociente entre o somatório das áreas da envolvente exterior e interior do edifício com exigências térmicas e o

respectivo volume interior) da edificação e dos graus-dias do clima local, e para resfriamento dependem da zona climática do local. Para a determinação das zonas climáticas, foi definido o número de graus-dias de aquecimento correspondente à estação convencional de aquecimento, a duração dessa estação, a temperatura exterior de verão e a amplitude média diária do mês mais quente.

São apresentados, ainda, os dados de energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul, na estação de aquecimento e os valores médios da temperatura do ar exterior e da intensidade média da radiação solar durante a estação convencional de resfriamento.

A edificação é caracterizada pelo indicador de necessidades globais nominais específicas de energia primária, em que os fatores de ponderação das necessidades de aquecimento, resfriamento e preparação das águas quentes sanitárias tem em conta os padrões habituais de utilização dos respectivos sistemas em relação aos padrões base dos dados estatísticos mais recentes.

#### Método de cálculo das necessidades de aquecimento:

As necessidades nominais de aquecimento de uma edificação são a energia útil que é necessária fornecer-lhe para manter permanentemente em seu interior a temperatura de referência estabelecida, durante toda a estação de aquecimento. As necessidades nominais de aquecimento resultam do valor integrado na estação de aquecimento da soma algébrica de três parcelas: perdas de calor por condução através das envolventes do edifício, perdas de calor resultantes da renovação de ar e ganhos de calor útil resultantes da iluminação, equipamentos, ocupantes e ganhos solares através das superfícies envidraçadas.

#### Método de cálculo das necessidades de resfriamento:

As necessidades nominais de resfriamento de uma edificação são a energia útil que é necessária retirar-lhe para manter permanentemente em seu interior a temperatura de referência estabelecida, durante toda a estação de resfriamento. As necessidades nominais de aquecimento resultam do valor integrado na estação de aquecimento da soma algébrica de três parcelas: perdas de calor por condução através das envolventes do edifício; perdas de calor resultantes da renovação de ar e ganhos de calor úteis resultantes da iluminação, equipamentos, ocupantes e ganhos solares através das superfícies envidraçadas, da mesma forma que a metodologia para aquecimento. Enquanto que no inverno os ganhos úteis contabilizados são

aqueles que não provocam o sobreaquecimento do espaço interior, os ganhos não úteis são os que provocam as necessidades de resfriamento durante o verão.

Requisitos mínimos de qualidade térmica para a envolvente dos edifícios: foram estabelecidos coeficientes de transmissão térmica máxima admissível; fator solar máximo admissível para vãos envidraçados e dispositivos de proteção, aos quais nenhum elemento da envolvente de qualquer edifício poderá ultrapassar.

#### RSECE Portugal - Decreto-Lei.

O RSECE, mais orientado para o sector de edifícios de serviços, tem como objetivos, em sua nova versão: a definição das condições de conforto térmico e de higiene que devem ser respeitadas nos diferentes espaços dos edifícios, em consonância com as respectivas funções; a imposição de regras de eficiência aos sistemas de climatização que permitam melhorar o seu desempenho energético efetivo e garantir os meios para a manutenção de uma boa qualidade do ar interior quer em nível do projeto, quer em nível da sua instalação, quer durante o seu funcionamento, através de uma manutenção adequada; e a monitorização com regularidade das práticas da manutenção dos sistemas de climatização, como condição da eficiência energética, mas também da qualidade do ar interior dos edifícios.

Este regulamento disciplina a dimensão (potência) dos sistemas de climatização instalados, para evitar os dimensionamentos exagerados que prevalecem neste setor e, desta forma, reduzir os consumos energéticos correspondentes. Impõe também, na mesma linha de orientação, um conjunto de medidas de racionalização de consumos, como sejam a recuperação de calor, o arrefecimento gratuito, os sistemas de gestão de energia, os fracionamentos de potência nos equipamentos produtores de frio e de calor e respectivas eficiências mínimas, as práticas de boa manutenção e a responsabilização dos projetistas e dos instaladores, cada um deles aplicáveis acima de determinados limiares de potência térmica instalada.

Nos grandes edifícios de serviços existentes são estabelecidos os limites máximos de consumo de energia: através da fixação de valores de consumo específico de referência e comparação com os valores reais obtidos por auditoria energética a realizar no âmbito do SCE. Para os novos edifícios ou para grandes intervenções de reabilitação de edifícios existentes que venham a ter novos sistemas de climatização, são estabelecidos os limites máximos de consumos de energia, para

todo o edifício e, em particular, para a climatização e ainda os limites de potência aplicáveis aos sistemas de climatização a instalar nesses edifícios.

SCE Portugal - Decreto-Lei n.o 78/2006 de 4 de Abril.

O Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) impõe esquemas de licenciamento de construção e de inspeção dos edifícios, assim como mecanismos de auditoria periódica dos edifícios, enquadrados no Sistema Português da Qualidade (SPQ), de forma a assegurar a boa aplicação dos Regulamentos (RCCTE e RSECE).

O SCE visa a obter informação sobre os consumos de energia potenciais, no caso dos novos edifícios ou no caso de edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, dos seus consumos reais ou aferidos para padrões de utilização típicos, passando o critério dos custos energéticos, durante o funcionamento normal do edifício, a integrar o conjunto dos demais aspectos importantes para a caracterização do edifício.

Nos edifícios existentes, a certificação energética destina- se a proporcionar informação sobre as medidas de melhoria de desempenho, com viabilidade econômica, que o proprietário pode implementar para reduzir as suas despesas energéticas e, simultaneamente, melhorara eficiência energética do edifício.

Nos edifícios novos e nos edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, a certificação energética permite comprovar a correta aplicação da regulamentação térmica em vigor para o edifício e para os seus sistemas energéticos, nomeadamente a obrigatoriedade de aplicação de sistemas de energias renováveis de elevada eficiência energética.

O SCE permite a Portugal posicionar-se entre os cinco primeiros países a transporem a Diretiva nº 2002/91/CE de Desempenho Energético dos Edifícios. O Certificado pretende: criar uma etiqueta de desempenho energético uniforme para os edifícios; enumerar medidas de melhoria de desempenho energético; potenciar economias de energia de 20% a 40% nos edifícios e consequentes reduções de emissões de CO<sub>2</sub>.

A etiqueta energética permitirá classificar as frações residenciais ou de serviços, numa escala de eficiência que varia de A+ (alta eficiência energética) a G (baixa eficiência), e será similar à existente para outros equipamentos, o que permitirá

uma fácil leitura por parte do consumidor. O sistema funciona em articulação com dois regulamentos aplicados na construção civil, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE).

A emissão do Certificado pelo perito será realizada através de um Portal informático de suporte criado para o efeito e onde se constituirá um registro central de edifícios certificados. O Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, SCE, tem como finalidade:

- assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia da qualidade do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e no Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE);
- certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios;
- identificar as medidas corretivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respectivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado, quer no que respeita ao desempenho energético, quer no que respeita à qualidade do ar interior.

O prazo de validade dos certificados para os edifícios que não estejam sujeitos a auditorias ou inspeções periódicas, no âmbito do RSECE, é de 10 anos.

A maioria dos países europeus é consciente da eficiência energética como fator de grande importância em seus processos produtivos e nas condições de conforto. Como os membros da União Européia possuem uma significativa dependência da importação de energia, entre 50% e 80%, é imprescindível a redução do consumo energético em suas atividades econômicas, com o objetivo de melhoria da competitividade global da economia e do desenvolvimento sustentável.

### **Situação na América do Norte.**

Segundo BARBOSA (1997) as normas mais atuais, elaboradas para avaliar e regulamentar o desempenho energético de edificações, abrangem no seu conteúdo as

questões relativas ao desempenho térmico. Em edificações de grande porte as questões de desempenho energético estão interligadas às questões de desempenho térmico. A norma da Jamaica, em vigor desde 1992, é específica para edificações de grande porte de ocupação humana, não se aplicando a edifícios cujo pico máximo de energia para ventilação, ar condicionado e aquecimento de água, seja menor que 11 W/m<sup>2</sup> ou que tenha área menor que 93 m<sup>2</sup>. Entretanto, para edifícios de pequeno porte (habitações e edifícios residenciais até três pavimentos), nos quais o desempenho energético não chega a ser uma preocupação, o desempenho térmico pode ser abordado através de uma regulamentação específica, sem considerar o consumo de energia para climatização, iluminação ou aquecimento de água. A norma da Califórnia trata em separado os códigos para edifícios de grande porte e edifícios residenciais unifamiliares e multifamiliares até três pavimentos. Assim, dependendo do porte da edificação as normas para desempenho térmico e energético podem ser abordadas em separado.

De acordo com a mesma autora, nos Estados Unidos, o Departamento de Energia (DOE), trabalha com representações dos seus estados, no intuito de estabelecer a forma mais apropriada para assistência técnica e critérios de alocação de incentivos adequados ao processo para a certificação do código de energia. A Sociedade Americana de Aquecimento, Refrigeração e Engenharia de Ar Condicionado (ASHRAE), em conjunto com a Sociedade de Engenharia de Iluminação (IES), desenvolveram o projeto nacional de normas - ASHRAE/IES 90.1-1989 (*Energy Efficient Design Of New Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*). Os objetivos destas normas são: estabelecer as exigências mínimas para eficiência energética de projetos para novas edificações; sua forma de uso e manutenção para minimizar o uso de energia sem constranger a função do edifício nem o conforto e a produtividade de seus ocupantes; providenciar critérios para projetos de eficiência energética e métodos para determinar a conformidade com estes critérios e providenciar a orientação correta para projetos de eficiência energética.

As exigências referem-se ao envelope do edifício, ao uso de energia, aos sistemas e equipamentos para aquecimento, ventilação e condicionamento ambiental, serviço de aquecimento de água, iluminação e gerenciamento de energético. Esta regulamentação é aplicável a novos edifícios ou porções do edifício com ocupação humana, exceto edifícios residenciais unifamiliares, ou aqueles com no máximo três pavimentos. Não é aplicável a edificações de comércio, ou indústrias, e edificações cujo pico máximo do consumo de energia para uso em sistemas de aquecimento,

resfriamento, ventilação, ar condicionado ou sistemas de iluminação, seja menor que 11,03 Wh/m<sup>2</sup> considerada a área bruta de construção.

Uma versão mais recente dessa mesma norma foi publicada em 2004. A norma ASHRAE 90.2-2004 – *Energy Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings* é uma das mais referenciadas, trazendo inclusive o zoneamento climático para distintas localidades internacionais, e determina diferentes métodos de aplicação como o método prescritivo, de desempenho e ainda outro baseado no custo anual de energia.

Segundo OLIVEIRA (2006), as normas baseadas em métodos de desempenho são quase sempre associadas a programas ou sistemas de classificação de desempenho térmico de edificações. Nesse caso, o projeto arquitetônico é submetido à avaliação em programas computacionais ou ferramentas de simulação de edificações que classificam o desempenho da edificação de acordo com uma escala pré-estabelecida e avaliam a conformidade com a norma, pela exigência mínima de classificação. Esses sistemas são primordialmente suportados por políticas governamentais voltadas à redução do consumo de energia em edificações e diminuição dos impactos ambientais locais e globais. Normalmente fazem uso de um banco de dados, planilhas eletrônicas ou aplicativos, para caracterização da edificação e consequente obtenção de uma classificação.

Nos EUA existe o sistema *Green Building Rating System: Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED). Este modelo é um sistema de 35 critérios e 7 pré requisitos estruturados em seis categorias: instalações sustentáveis, eficiência no uso da água, energia e atmosfera, materiais e recursos, qualidade do ambiente inferior, inovação e processo de desenho. Baseado em pontuação obtida estabelecem-se níveis de classificação.

O Canadá dispõe do modelo ATHENA que analisa os impactos ambientais desde a fase de extração de recursos até a demolição do edifício. Tem um alcance nacional e contempla as diferentes zonas geográficas regionais. Incorpora todos os materiais do processo de construção, tanto considerando a envolvente do edifício quanto os sistemas e equipamentos.

### **Situação na América do Sul.**

Na América do Sul, o processo de normatização é pouco desenvolvido. Segundo EVANS (1991), as normas existentes na Argentina não têm respaldo legal que garantam sua aplicação, a não ser nos casos em que um organismo público exija

o cumprimento de uma ou várias normas através de um decreto, resolução ou código, ou quando a legislação nacional ou estadual edita alguma lei que incorpora condições similares as formuladas pela norma.

Na Argentina a IRAM apresentou normas de condicionamento térmico de edifícios, as quais apesar de não serem obrigatórias quanto à sua aplicação, têm seus principais mecanismos incorporados nas resoluções do Fundo Nacional de Habitação, sendo aplicadas em habitações financiadas pelo mesmo. Portanto, os únicos mecanismos de aplicação das normas IRAN de habitabilidade, são as condicionantes para a utilização de resoluções que exigem dos empreendimentos financiados, o cumprimento das normas de isolamento global das edificações, de isolamento de paredes, e de controle de condensação, respeitando o zoneamento bioclimático definido pela norma IRAN 11.603.

De acordo com CARDOSO (2002) o Uruguai, no Ministério da Habitação elaborou um plano para viabilizar a habitação para classes de menor renda através da ativa participação popular na definição de exigências mínimas de satisfação quanto à habitabilidade das edificações.

BARBOSA (1997) pensa que esta questão demanda cautela na definição das exigências mínimas de habitabilidade, que são os reais mínimos de sobrevivência social, o que impõe uma reflexão sobre os objetivos e métodos com relação às formas participativas de construção. Com relação à proposta clássica de atendimento das necessidades, às exigências mínimas tornam-se inadequadas, pois a forma científica de definir os mínimos é uma negociação. Cabe ao técnico a tarefa de servir de ponte entre a ciência e a decisão política, expondo de forma comprehensível, para todas as partes interessadas, o significado dos mínimos. O cumprimento da exigência somente será efetivo quando for totalmente comprehensível e possuir uma justificativa convincente.

### **Situação Brasileira.**

A experiência internacional tem demonstrado a eficácia da regulamentação de desempenho como instrumento da promoção do conforto ambiental e da redução do consumo de energia, especialmente nos setores residencial e comercial. O sucesso destas regulamentações está diretamente ligado à coerência e simplicidade das metodologias adotadas para a avaliação do desempenho térmico.

O Brasil tem características climáticas extremamente favoráveis do ponto de vista energético. Segundo SHALDERS NETO (2003) sua abóbada celeste é uma das mais claras do mundo, privilegiando a utilização da luz natural durante a maior parte do ano em todo o seu território. A diferença entre as temperaturas de conforto e as médias diárias de temperatura também é uma das mais baixas do mundo. As temperaturas médias, verificadas na maioria do território brasileiro, permitem que sejam obtidas condições adequadas de conforto ambiental com mínimo consumo de energia, se o conjunto edifício-instalação estiver corretamente projetado.

De acordo com BERALDO (2006) o Brasil, não possui, em âmbito nacional, estadual ou municipal, nenhum instrumento legal de controle do desempenho termo-energético nas edificações. A implementação da Norma Brasileira ABNT NBR 15220-2, de 29 de abril de 2005 foi um avanço significativo, porém não tem o caráter de lei. A atenção do governo está voltada para o aumento da produção e o Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica (PROCEL) está direcionado à redução das perdas nas concessionárias, racionalização do uso da energia elétrica e eficiência energética dos equipamentos elétricos.

O mesmo autor salienta ainda que o mercado da construção civil no país se beneficia da ausência de um instrumento legal de qualificação das componentes construtivas que vise à eficiência do desempenho térmico dos projetos de arquitetura para construir edifícios de baixa qualidade e sem preocupações com as características climáticas locais, obrigando os usuários, para atingir a situação de conforto, a estarem permanentemente em ambientes condicionados, seja para o resfriamento seja para o aquecimento destes.

Para SHALDERS NETO (2003) a regulamentação de desempenho energético e conforto ambiental em edificações no Brasil ainda é incipiente. Praticamente o que existe está contido nos códigos de edificações e posturas municipais que condicionam a aprovação dos projetos. Esses códigos não abordam as questões relacionadas com o conforto e o consumo de energia de forma adequada. Os regulamentos municipais normalmente remetem as exigências construtivas e projetuais para as normas técnicas brasileiras, que ainda não contemplam as características de desempenho energético passivo da envolvente exterior e conforto ambiental em seu corpo.

A necessidade da inserção de uma normativa provém principalmente da inconsciência da sociedade sobre a importância do conforto térmico aliado à eficiência energética, e do desconhecimento técnico das soluções e práticas que devem ser adotadas.

A busca da eficiência no segmento de edificações não é nova e vem sendo feita pelo governo federal através do PROCEL, com a participação de várias entidades. Já existe um diagnóstico razoável dos principais problemas, ações necessárias e centros de excelência com conhecimento especializado em diversos temas específicos. Os resultados práticos até o presente, no entanto, foram poucos: o governo federal, em matéria de energia, tem sido assessorado quase que exclusivamente por especialistas com a visão tradicional do lado do suprimento, que entendem que as necessidades básicas de energia seriam exclusivamente supridas construindo novas unidades centrais.

LAMBERTS et al. (1997) diz que os textos referentes a desempenho térmico e iluminação natural das edificações foram os primeiros textos normativos brasileiros sobre esses temas, preenchendo importante lacuna antes existente na normalização nacional aplicável à produção habitacional.

Segundo MENEZES (2006) desde 1981, diversas pesquisas e trabalhos têm sido realizadas sobre o tema relacionado à avaliação do desempenho térmico de edificações. Os primeiros trabalhos foram realizados pela Divisão de Edificações do IPT de São Paulo. Depois, podem ser destacados os trabalhos realizados no CIENTEC do Rio Grande do Sul e na Universidade Federal de Santa Catarina. Atualmente, estudos na área têm sido realizados em diversas universidades brasileiras. Como exemplo pode-se citar os trabalhos de AKUTSU (1987 e 1998), BECKER (1992) e BARBOSA (1997).

BARBOSA (1997) diz que a formulação de uma metodologia para avaliar o desempenho térmico de edificações tem sido uma preocupação da Divisão de Edificações do IPT de São Paulo. A seqüência dos trabalhos: "Conforto : Avaliação de Desempenho de Habitações Térreas Uni familiares", IPT (1981); "Desempenho Térmico de Edificações Escolares: Manual de Procedimento para Avaliação", AKUTSU et al (1987); "Proposta de Procedimentos para Avaliação do Desempenho Térmico de Edificações Condicionadas e não Condicionadas", AKUTSU e VITTORINO (1991); "Critérios para a Definição de Níveis de Desempenho Térmico de Edificações" AKUTSU e VITTORINO (1993); "Método Expedito para Avaliação do Desempenho Térmico de Habitações", AKUTSU ET al (1995b); e "Critérios Mínimos de Desempenho de Habitações Térreas Unifamiliares", AKUTSU et al (1995), expressam a evolução das pesquisas nessa área, realizadas pelo Instituto.

Segundo LAMBERTS et al. (2003), as primeiras ações no sentido de se normalizar o uso racional de energia e o conforto nos edifícios de habitação no Brasil

surgiram em 1990, com o “I Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído”, realizado no Rio Grande do Sul, e em 1997 houve da aprovação do Projeto Normalização em Conforto Ambiental, em acordo com a Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP, sob a coordenação geral do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

BARBOSA (1997) aponta que a análise dos trabalhos existentes no Brasil, para avaliação de desempenho térmico de edificações residenciais, revelou dois problemas principais. O primeiro refere-se à sensação térmica do usuário que normalmente está baseada em normas internacionais sem a devida confirmação de sua aplicabilidade a usuários adaptados a climas tropicais e subtropicais. O segundo problema refere-se ao uso de dados climáticos na forma de dias típicos. Esta representação leva à análise de extremos (dias com baixa probabilidade de ocorrência) de verão e de inverno e não contempla a ocorrência de seqüências climáticas representativas. Deve-se considerar que no sul do país o clima é governado por frentes frias que podem gerar uma alta variação de temperaturas de um dia para o outro. O uso, portanto de dados climáticos mais detalhados (ano climático de referência TRY) possibilitaria analisar com mais propriedade os sistemas construtivos frente a esta dinâmica climática.

Em 2005, ABNT publicou um conjunto de normas dedicadas ao desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares de interesse social. A norma “NBR15220-3 - Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social” traz um conjunto de recomendações de projeto para oito zonas climáticas visando ao melhor desempenho térmico dessas edificações. De acordo com OLIVEIRA (2006), como é a primeira tentativa de influenciar a tomada de decisões arquitetônicas através de prescrições para a envoltória da edificação, a norma é passível de muitas discussões e melhoramentos. As mais pertinentes referem-se à abrangência das zonas bioclimáticas e aos critérios de definição das diretrizes de projeto.

YOSHIDA (2006) verifica que essa norma propõe diretrizes construtivas e estratégias de condicionamento térmico para cada Zona Bioclimática, apenas como caráter orientativo e não normativo, e esclarece que não trata dos procedimentos para avaliação do desempenho térmico de edificações, os quais podem ser elaborados através de cálculos, de medições in loco ou de simulações computacionais. O método de avaliação do desempenho térmico de componentes construtivos consiste de recomendações de limites para as propriedades de transmitância térmica, atraso

térmico e fator de calor solar, além da proposição de estratégias bioclimáticas, conforme a zona em estudo. É um método simplificado, pois depende apenas do cálculo das propriedades térmicas de um componente construtivo isoladamente.

Além dessa norma, apresenta-se em fase final de aprovação o projeto de norma de desempenho de edificações de até cinco pavimentos, com tópico específico para avaliação térmica de componentes e edificações. Esse, segundo GIGLIO et al.(2006), apresenta dois métodos de avaliação do desempenho térmico, um a partir de procedimento simplificado e outro por desempenho a partir de procedimento detalhado. O método simplificado apresenta parâmetros de capacidade e transmitância térmica, com valores diferentes dos estabelecidos pela norma brasileira de desempenho térmico. Já o método por desempenho detalhado considera a resposta térmica global de uma edificação com exposição dinâmica a um clima específico. A avaliação consiste na verificação da temperatura máxima obtida para o dia típico de verão e da mínima para o dia típico de inverno, e classifica a edificação com desempenhos mínimo, intermediário ou superior.

Segundo o mesmo autor a princípio, evidencia-se uma contradição entre eles. Enquanto a norma brasileira recomenda paredes externas leves e refletoras para algumas zonas bioclimáticas – segundo a classificação da norma brasileira de desempenho térmico (NBR 15220-3) –, o projeto de norma de desempenho expõe valores mínimos de capacidade térmica que atendem apenas às paredes de maior massa, deixando os sistemas construtivos leves, de baixa capacidade de armazenar calor, inadequados a essas mesmas zonas bioclimáticas. Nesse sentido, o projeto de norma direciona a avaliação de sistemas alternativos de baixa capacidade térmica para um método por desempenho, induzindo a uma avaliação mais detalhada acerca do seu desempenho térmico. Tais questionamentos e o evidenciado crescimento dessa área no Brasil demonstram a necessidade de discussão sobre os procedimentos definidos pelas normas brasileiras, a fim de aprimorar seu processo de avaliação.

Em 2001 foi estabelecida a Lei Nº 10.295 - Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia objetivando a alocação eficiente de recursos energéticos e a preservação do meio ambiente. Para isso o Poder Executivo estabeleceria níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, com base em indicadores técnicos pertinentes. Seria estabelecido um grupo técnico competente a propor: a adoção de procedimentos para avaliação da eficiência

energética das edificações; indicadores técnicos referenciais do consumo de energia das edificações para certificação de sua conformidade em relação à eficiência energética; e requisitos técnicos para que os projetos de edificações a serem construídas no país atendam os indicadores mencionados no item anterior.

Norma NBR – 15220 - Desempenho Térmico de Edificações: procedimentos para avaliação de habitações de interesse social.

A norma de Conforto Ambiental - Desempenho térmico de edificações: procedimentos para avaliação de habitações de interesse social- desenvolvida pelo Comitê Brasileiro de Construção Civil, liderado pela Universidade Federal de Santa Catarina, foi aprovada pela Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações em 2003, tendo sido publicada pela ABNT em abril de 2005, quando entrou em vigor.

A ABNT propôs a divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima e, para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática. Esta parte da NBR apresenta recomendações quanto ao desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social aplicáveis na fase de projeto. Ao mesmo tempo em que estabelece um Zoneamento Bioclimático Brasileiro, são feitas recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo, com base em parâmetros e condições de contorno fixados.

Para a formulação das diretrizes construtivas - para cada Zona Bioclimática Brasileira e para o estabelecimento das estratégias de condicionamento térmico passivo, foram considerados os parâmetros e condições de contorno seguintes: tamanho das aberturas para ventilação; proteção das aberturas; vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura); estratégias de condicionamento térmico passivo.

Projeto de Norma 02:136.01 - Desempenho de Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos.

A proposta de norma de desempenho fixa parâmetros para se checar o comportamento da edificação pós-ocupação, definindo informações a serem contidas num projeto e permitir avaliar se uma tecnologia nova está de acordo com as necessidades de uso das edificações brasileiras (ABNT, 2004). Esta norma vem

estabelecer parâmetros mais claros para aplicação do Código de Defesa do Consumidor.

O texto inova, deixando de enfocar processos, materiais e componentes, estabelecendo um desempenho global mínimo, independentemente dos sistemas construtivos que forem utilizados. Essa nova norma não é prescritiva. Com esse conceito, a norma considera as exigências dos usuários em tópicos como segurança, estanquidade, higiene, conforto e durabilidade. Procurou-se traduzir na forma de critérios, que procuram quantificar as necessidades dos usuários. Somando esses fatores com condições de exposição da edificação e critérios para avaliação de desempenho de sistemas construtivos, chega-se a respostas técnicas possíveis e desejáveis.

Esta norma prevê três níveis de desempenho: mínimo, intermediário e superior. Esses níveis serão estabelecidos pelas necessidades ou exigências dos consumidores. Para cada um desses níveis, a edificação terá um prazo de garantia e vida útil diferente. O nível de desempenho dos edifícios deverá ser apresentado ao consumidor no ato da compra do imóvel.

### **Análise Comparativa dos Regulamentos Estudados**

Com as diretrizes impostas pela União Européia, os países membros vêm desenvolvendo seus regulamentos de acordo com o rigor climático de seus territórios e as características de seus modelos construtivos. A indicação é de que considerado cada clima, as normativas entrem em vigor contemplando os pontos necessários para garantir o conforto térmico e o uso racional de energia nas edificações, pontos como o cálculo do desempenho energético, as características térmicas do edifício, a ventilação, a iluminação, a produção de águas quentes sanitárias, a proteção solar e por fim a certificação energética.

Muitos países ainda não possuem o conjunto completo de normas contemplando essas diretrizes, variando o nível de exigência em cada país como está demonstrado na tabela 09:

Dinamarca	Certificação obrigatória, avaliação por inspeção energética, índice de consumo de água, energia e de emissões de CO2.
Itália	Limite do coeficiente de condução dos materiais e isolamento da envolvente, água quente sanitária, não inclui controle do clima no verão.
Alemanha	Avaliação obrigatória, níveis limites para os coeficientes de isolamento térmico e transmissão de calor, Certificado de Residência de Baixo Consumo Energético.
Reino Unido	Obrigatória, isolamento térmico da envolvente do edifício, regulação e desempenho dos sistemas de aquecimento e água quente sanitária, ganho solar do edifício e tipo de combustível utilizado para produzir calor e água quente.
França	Temperatura e características térmicas de referência, livre escolha de materiais e sistemas. Limite do consumo global de energia para a calefação, água quente sanitária e climatização de edifício residencial e iluminação em terciários.
Países Baixos	Certificação energética voluntária. Consumo resultante para aquecimento, água quente sanitária, iluminação e a operação de bombas e ventilação mecânica, usando índices de referência.
Holanda	Análise de ciclo de vida e indicadores ambientais para a construção.
Bélgica	Índices obrigatórios, coeficiente limite para a transmissão de calor.
Irlanda	Voluntário, recomendações para as paredes exteriores, sistemas de aquecimento e combustíveis.
Luxemburgo	Voluntário, aplicada a todos os edifícios novos e antigos do setor de serviços e residencial.
Austria	Acordo nacional de eficiência energética que estabelece índices para regulação dos sistemas de aquecimento e estruturas prediais.
Suécia	Cálculo e avaliação do impacto ambiental causado por um edifício durante seu período de vida.
Suíça e Finlândia	Isolamento mínimo requerido para as diferentes partes do edifício, considerando o desempenho térmico a ser atingido.
Espanha	Obrigatório, limitação de demanda energética da envolvente (transmitância e resistência térmica e fator solar), eficiência energética nas instalações de iluminação, caudal suficiente de ar externo, dimensionamento das aberturas, condensação nas superfícies e os interiores dos fechamentos, uso racional de energia nas instalações térmicas dos edifícios, contribuição solar mínima de água quente sanitária, contribuição fotovoltaica mínima de energia elétrica, certificado de eficiência energética do edifício.
Portugal	Limitar o comportamento do edifício, no inverno e no verão, condições ambientais de referência para se calcular o consumo energético, considerando-se temperatura do ar, ventilação para renovação e qualidade do ar interior, minimizar as patologias das edificações, provocadas pela ocorrência de condensações superficiais ou internas. Quantificação de índices térmicos e parâmetros da necessidade de energia útil para aquecimento (Nic) e arrefecimento (Nvc), produção de água quente sanitária (Nac) e ainda energia primária (Ntc). São ainda quantificadas condições específicas para os coeficientes de transmissão térmica (superficiais e lineares) dos elementos da envolvente, a inércia térmica, o fator solar dos vãos envolvidos e a taxa de renovação de ar. Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

Tabela 09 – Principais diretrizes e características das normativas europeias relativas às edificações.

Percebe-se que na maioria dos países as diretrizes dizem respeito ao isolamento da envolvente do edifício, ao coeficiente de transmissão térmica de seus componentes e ao sistema de produção de água quente sanitária. Tais diretrizes são basicamente embasadas na busca pela melhoria do conforto térmico através de mecanismos de simulação adotando o consumo energético e temperatura do ar no interior da edificação como critérios de desempenho térmico e eficiência energética.

Muitos países ainda mantêm algum tipo de certificado ou mecanismo de avaliação termo-energética dos edifícios, de forma voluntária. Os dois últimos países listados na tabela se destacam por algumas características em seus instrumentos legais. Diferentemente dos diversos países europeus, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios de Portugal, RCCTE, trata das condições térmicas dos edifícios para a situação de inverno e verão de maneiras distintas. O Código Técnico espanhol, CTE, é o regulamento que contempla o maior conjunto de características e da qualidade da edificação, através de um documento completo de aprovação do edifício, funcionando de forma equivalente aos Códigos de Obra brasileiros, mas já integrando as características referidas na tabela acima.

Ao comparar os regulamentos CTE e RCCTE, detectou-se, tanto no regulamento português quanto no espanhol, que é necessário estabelecer uma limitação de demanda energética, a qual o papel da envolvente é essencial para se alcançar o conforto térmico. Essa limitação deverá, então, incidir sobre as características de isolamento e de inércia, a permeabilidade do ar exterior e a exposição à radiação solar.

O CTE agrupa os parâmetros da envolvente em: transmitância térmica das paredes das fachadas; das coberturas; dos solos; dos fechamentos em contato com o terreno; das aberturas e das divisões comuns; e ainda, o fator solar das aberturas e das clarabóias, onde é admitida uma transmitância e um fator solar máximo para cada fechamento. O CTE admite uma transmitância e um fator solar máximo para cada fechamento, restringindo o uso de determinados materiais em qualquer situação de projeto. O fato de o regulamento espanhol determinar um indicador de edifício de referência tem muitas limitações, podendo resultar em uma avaliação incorreta do edifício a ser avaliado.

Já o RCCTE quantifica índices térmicos e parâmetros da necessidade de energia útil para aquecimento e arrefecimento, além de condições específicas para os coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente, a inércia térmica, o fator solar dos vãos envidraçados e a taxa de renovação de ar. Para as taxas de

renovação do ar e garantia da qualidade do ar interior é determinado o valor de 0,6 renovações por hora. As condições de referência desse regulamento determinam uma temperatura do ar de 20°C para a estação de aquecimento e de 25 °C para a estação de resfriamento. Tem-se então que a necessidade nominal de arrefecimento será a energia necessária para manter a temperatura interna no valor estabelecido.

Da mesma forma que acontece no CTE, o RCCTE determina coeficientes máximos admissíveis de transmissão térmica, fator solar máximo admissível para vãos envidraçados e dispositivos de proteção, que devem ser obedecidos. O CTE não oferece nenhuma avaliação quantitativa direta do consumo de energia do edifício, e não incorpora nenhum mecanismo capaz de efetivamente controlar e limitar esse consumo no setor. Os coeficientes máximos admissíveis de transmissão térmica são determinados através do zoneamento climático e estão diretamente relacionados com as características do clima local e com as condições típicas de exposição. O regulamento espanhol ainda leva em consideração a condensação superficial, tornando seu índice ainda mais rigoroso.

No RCCTE os valores limites das necessidades nominais de energia útil pra arrefecimento foram estabelecidos com base em estudos paramétricos para as diferentes zonas climáticas de verão e tipologias de edificação, e ainda em soluções construtivas e níveis de isolamento. Como não foram feitas simulações para o regulamento proposto, a quantificação de índices térmicos será embasada na limitação de temperatura interna de referência.

Mais completo em quantidade de avaliações, o CTE faz a verificação da eficiência energética da instalação de iluminação, sistema de controle e regulagem que otimize o aproveitamento da luz natural e a existência de um plano de manutenção. Considerando o uso da zona a iluminar, tipo de tarefa realizada, necessidades do usuário, dimensões do recinto, refletâncias das paredes, pisos e tetos, condições da luz natural, acabamento e mobiliário previsto são calculados: o índice do local; número de pontos de luz; fator de manutenção previsto; iluminância média horizontal; índice de ofuscamento e rendimento de cor; valor da eficiência energética da instalação; potenciais do conjunto de equipamentos e sistema de controle.

No CTE a limitação da demanda energética de um edifício é determinada pelo clima da localidade onde esse está inserido, por suas características de isolamento e inércia, permeabilidade ao ar e exposição à radiação solar, através do estabelecimento de zonas climáticas. Os parâmetros (transmitância térmica e fator

solar) dos fechamentos e partições devem obedecer aos valores limites instituídos, a partir do zoneamento climático.

O CTE aponta duas formas de se fazer os cálculos para a determinação da demanda energética: a opção simplificada e a geral. A opção simplificada limita indiretamente a demanda energética dos edifícios determinando limites de valores para a transmitância térmica e fator solar dos componentes da envolvente. Essa opção pode ser aplicada quando: a superfície das aberturas em cada fachada seja inferior a 60% e a superfície de clarabóias seja inferior a 5% da superfície da coberta. Para cada categoria determina-se a média dos parâmetros de transmitância e fator solar, ponderando os parâmetros dos fechamentos segundo sua fração de área total obtendo-se os valores da transmitância média das cobertas e suas pontes térmicas, transmitância média dos solos, paredes de cada fachada, fechamentos em contato com o terreno, aberturas em todas as fachadas e fator solar das aberturas e clarabóias.

A opção geral limita diretamente a demanda energética dos edifícios, avaliando-a mediante cálculos, considerando a geometria, construção e operação do edifício ou através de edifícios de referência, que possuam a mesma geometria, zoneamento interno e uso, e qualidade térmica dos materiais construtivos. O método é baseado em um cálculo do comportamento do edifício, hora a hora, em regime transitório, considerando os efeitos da massa térmica, das solicitações internas e externas de acordo com a radiação solar nele incidente, da orientação e inclinação da envolvente e dos sombreamentos ou obstruções à radiação.

O RCCTE impõe requisitos mínimos de qualidade térmica aos elementos da envolvente dos edifícios a partir da limitação dos valores do coeficiente de transmissão térmica superficial dos elementos opacos da envolvente de acordo com a zona climática de inverno e do fator solar dos vãos envidraçados. Os requisitos relativos ao fator solar são impostos para vãos não orientados a Norte com uma área total superior a 5% da área útil de pavimento servido, sendo os valores limites expressos em função da zona climática de verão e da inércia térmica do edifício. Os valores limites das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento são embasados em estudos paramétricos para as diferentes zonas climáticas de Verão e fatores de forma e tiveram por base os valores de referência relativos aos coeficientes de transmissão térmica, limitando assim um valor máximo admissível. Logo, as necessidades nominais de arrefecimento traduzem-se na energia que é necessário retirar-se do

interior de um edifício para manter determinada temperatura interna de referência fixada para a estação de aquecimento e arrefecimento.

Percebe-se que no regulamento português e na opção simplificada do regulamento espanhol são impostos limites das propriedades térmicas da envolvente e vãos envidraçados de forma geral para todas as orientações geográficas de fachada e áreas de exposição à radiação. O ganho de calor solar pelas diferentes orientações das fachadas dos edifícios é distinto, porém não existe essa distinção na limitação da propriedade térmica de seus materiais, reduzindo assim as possibilidades de escolha pelos projetistas. E, ainda pode-se considerar que o fato de estabelecer-se uma temperatura interior de referência seria suficiente para determinar os materiais que possuam características térmicas compatíveis com cada orientação geográfica e área de fachada. O valor final da análise do regulamento português acaba por definir o consumo anual com energia para resfriar o interior dos edifícios, ou seja, de forma artificial, mesmo que todos os outros limites tenham sido obedecidos.

De acordo com a metodologia de cálculo apresentada nos regulamentos estudados, os ganhos e perdas de calor pela envolvente são contabilizados considerando-se que embora todas as parcelas sejam naturalmente fenômenos não estacionários, são abordados em regime permanente por serem todas integradas ao longo da estação de aquecimento, sendo seus efeitos desprezados.

No entanto, a consideração dos ganhos térmicos a partir de um regime estacionário não permite a determinação do comportamento da construção durante um período real, uma vez que é assumido um ganho constante e uma temperatura invariável, o que não acontece na realidade. Os materiais construtivos desempenham um papel fundamental nesse aspecto, uma vez que amortecem os ganhos térmicos nos horários de maior intensidade de radiação solar e retardam seus efeitos no interior da edificação. Nesse contexto o regulamento proposto considerou o processo de transmissão em regime variável, buscando o melhor aproveitamento das soluções passivas para a diminuição do rigor imposto pelas condições exteriores. A velocidade de deslocamento do fluxo de calor é determinada pela resistência térmica e capacidade térmica do material, fazendo com que importantes quantidades de calor se acumulem no fechamento, aumentando assim a sua temperatura. Logo, qualquer alteração de temperatura em uma das superfícies de um fechamento não é transmitida instantaneamente à superfície oposta, refletido em um retardo térmico medido em unidades de tempo, que dependerá da condutividade térmica, calor específico, densidade absoluta e espessura do fechamento.

Atendendo-se ao princípio fundamental do estado de equilíbrio térmico, onde a condição para transmissão de calor é que os corpos tenham temperaturas diferentes, sendo o fluxo de calor do ponto mais quente para o mais frio, considera-se um estado inicial onde as temperaturas internas e externas, assim como as temperaturas superficiais e armazenadas pelo fechamento não apresentam variação. Na medida em que a temperatura externa eleva-se, começa o processo de transmissão de calor, de forma gradual, das diferentes partes do fechamento que se modificam constantemente, notando-se certo tempo para que essa variação atinja o meio interior, o qual irá se aquecer até atingir novamente o estado de equilíbrio térmico com o exterior. No regime variável, além da condutividade térmica, o calor específico ( $\text{kcal/kg}^{\circ}\text{C}$ ) dos corpos participa significativamente. Refere-se à quantidade de calor necessária para elevar em uma unidade a temperatura de um corpo de massa igual à unidade. O calor específico multiplicado pela densidade ( $\text{kg/m}^3$ ) de um material refere-se ao calor específico volumétrico ( $\text{kcal/m}^3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), esse, multiplicado pela espessura do material, informa a capacidade térmica do fechamento.

Como acontece nos regulamento RCCTE e CTE a metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios proposta integrou as diretrizes: cálculo da transmitância térmica da envolvente e do fator solar dos vãos envidraçados; definição do número de renovações do ar interior; inércia térmica do edifício; proteção solar das aberturas e estabelecimento de condições ambientais de referência. Foram, ainda, determinadas diretrizes para dimensionamento das aberturas e avaliação da iluminação natural.

Em relação à água quente sanitária, o regulamento espanhol sugere uma metodologia de cálculo, especificando os valores médios diários da demanda de energia térmica e a contribuição solar, a fração solar mensal e anual e o rendimento do sistema, perdas por orientação e inclinação, perdas da radiação solar por sombreamento e o plano de manutenção do sistema. A contribuição solar para água quente sanitária será obrigatória e não foi quantificada pela metodologia portuguesa, que apenas estabelece a taxa de utilização de 40 litros de água quente ( $60^{\circ}\text{C}$ ) por pessoa por dia. Não foram contemplados os pontos referentes à condensação nas superfícies e a análise do desempenho de pontes térmicas. A quantificação das condições de transmitância térmica, inércia térmica e fator solar foi feita pela metodologia do CSTB - França, Anexo 02.

Ambos os regulamentos resultam em uma certificação ambiental obrigatória, que encerra uma avaliação do desempenho do edifício quanto às suas propriedades

térmicas e seu consumo energético. Descreve a envolvente térmica, instalações, condições normais de funcionamento e ocupação, qualificação da eficiência energética do edifício expressa pela etiqueta e descrição das comprovações e inspeções para estabelecer a conformidade da informação contida no certificado.

Na América do Norte, a etiquetagem de edifícios funciona, de forma geral, como um índice qualitativo voluntário do edifício, não possuindo caráter de lei, não possuindo assim o mesmo nível de exigências das normativas européias (ver tabela 10).

Jamaica	Específica para edificações de grande porte, não se aplica a edifícios cujo pico máximo de energia para ventilação, ar condicionado e aquecimento de água, seja menor que 11 W/m <sup>2</sup> ou que tenha área menor que 93 m <sup>2</sup>
Califórnia	Trata em separado os códigos para edifícios de grande porte e edifícios residenciais unifamiliares e multifamiliares até três pavimentos. Assim, as normas, para desempenho energético e desempenho térmico, podem ser abordadas em separado.
Estados Unidos	Estabelece as exigências mínimas para eficiência energética de projetos para novas edificações, bem como construção, forma de uso e manutenção para minimizar o uso de energia. Providencia critérios para projetos de eficiência energética e métodos para determinar a conformidade com estes critérios. Sistema LEED, é um sistema de 35 critérios e 07 pré-requisitos estruturados em seis categorias: instalações sustentáveis, eficiência no uso da água, energia e atmosfera, materiais e recursos, qualidade do ambiente interior, inovação e processo de desenho. Baseado em pontuação obtida estabelecem-se níveis de classificação.
Canadá	Analisa os impactos ambientais desde a fase de extração de recursos até a demolição do edifício.

Tabela 10 – Principais características das normativas norte-americanas relativas às edificações.

Na América do Sul as intervenções são ainda bem pontuais, e não existe nenhum país que se destaque pelo funcionamento de uma legislação termo-energética no setor de edificações.

Argentina	Normas de condicionamento térmico de edifícios, as quais apesar de não serem obrigatórias quanto à sua aplicação, têm seus principais mecanismos incorporados nas resoluções do Fundo Nacional de Habitação
Uruguai	Plano para viabilizar a habitação para classes de menor renda através da ativa participação popular na definição de exigências mínimas de satisfação quanto à habitabilidade das edificações.
Brasil	Norma NBR-15.220 - Desempenho Térmico e o Projeto de Norma 02:136.01 - Desempenho de Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos, Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica

Tabela 11 – Principais características das normativas sul-americanas relativas às edificações.

No Brasil, muitos estudos já foram desenvolvidos, porém não existe ainda uma normativa de caráter obrigatório a ser cumprida. A Norma em Desempenho Térmico

de Edificações (ABNT, 2005) propõe diretrizes de orientação, construtivas e estratégias de condicionamento térmico, e a avaliação das características térmicas da envolvente é restrita ao cálculo das propriedades térmicas de componentes isolados do edifício.

O Estado da Paraíba localiza-se na porção oriental do nordeste do Brasil, na faixa tropical do Hemisfério Sul. A sua proximidade ao equador determina um clima quente por causa da alta radiação solar anual. Apesar disso, seu clima sofre modificações devido as influências do relevo que se divide em três regiões morfologicamente: a planície costeira oriental, o planalto da Borborema e as baixadas do Norte e do Oeste da bacia do rio Piranhas.

João Pessoa, capital do Estado da Paraíba, está localizada na porção mais oriental do estado, entre os meridianos de  $34^{\circ}45'54''$  e  $38^{\circ}45'54''$  de longitude oeste e entre os paralelos  $6^{\circ}02'12''$  e  $8^{\circ}19'18''$  de Latitude sul, medindo, em suas maiores dimensões, 253 km no sentido norte – sul e 443 km no sentido leste - oeste . Limita-se ao norte com o município de Cabedelo pelo rio Jaguaribe; ao sul com o município do Conde e pelo rio Gramame; a leste com o Oceano Atlântico; e, a oeste com os municípios de Bayeux pelo rio Sanhauá e Santa Rita pelos rios Mumbaba e Paraíba, respectivamente.

Para fazer a caracterização climática da cidade de João Pessoa, foram analisados os dados fornecidos pelo Laboratório de Energia Solar - LES/LGA(SIGA) (Setor de Climatologia) e Laboratório de Geografia Aplicada (Setor de Informações Geográficas Aplicadas), contidos nas tabelas 01 a 08 do Anexo 01.

A partir desses dados foi escolhido um período de cinco anos, onde todos os elementos de clima tivessem suas respectivas medições: 1997 a 2002. Foram então feitos os gráficos para esse período, considerando os meses de equinócio e solstício: médias mensais de insolação, médias mensais de nebulosidade, médias mensais de radiação solar, médias máximas mensais de temperatura do ar, médias mínimas mensais de temperatura do ar, médias mensais de temperatura do ar, médias mensais de umidade relativa do ar e médias mensais de velocidade do vento.

O clima da cidade é do tipo mediterrâneo ou nordestino seco, com temperaturas médias anuais de  $26^{\circ}\text{C}$ . No litoral a média é de  $28^{\circ}\text{C}$  e na área do Planalto da Borborema  $22^{\circ}\text{C}$ . As estações de inverno e verão são diferenciadas apenas pela presença da chuva, resultando em baixas amplitudes térmicas ao longo do ano. O inverno inicia-se em março e termina em agosto. São duas estações climáticas, as chuvas ocorrem no período de outono e inverno, e durante todo o resto do ano o clima é de muito sol.

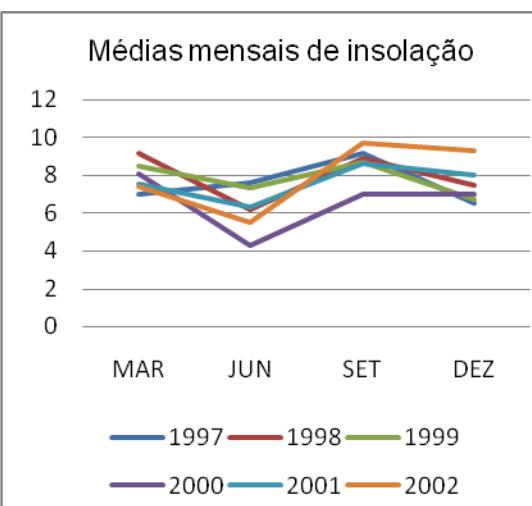


Gráfico 17 – Médias mensais de insolação

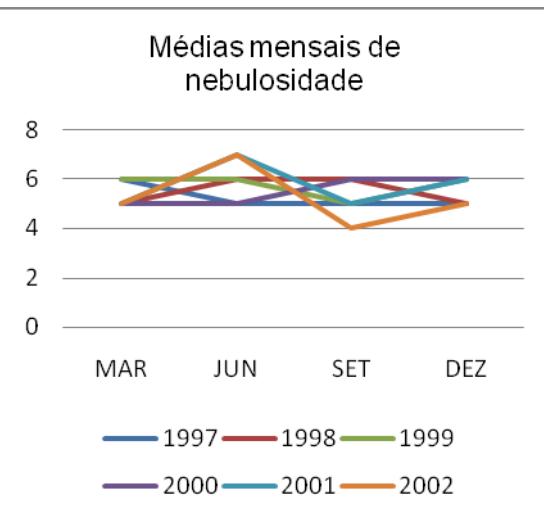


Gráfico 18 – Médias mensais de nebulosidade

As maiores médias de insolação estão entre os meses de setembro a março onde os dias apresentam de sete a quase dez horas de insolação.

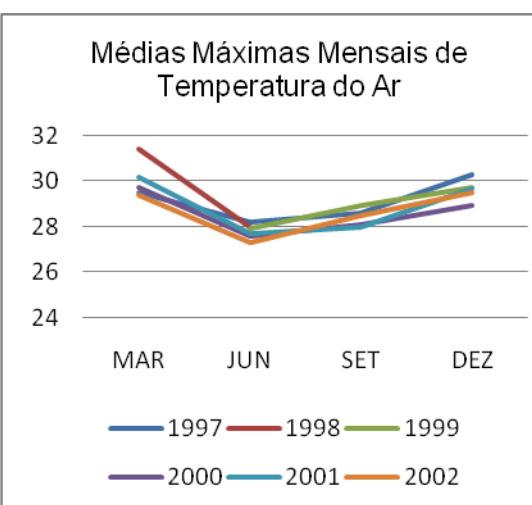


Gráfico 19 – Médias máximas mensais de temperatura do ar

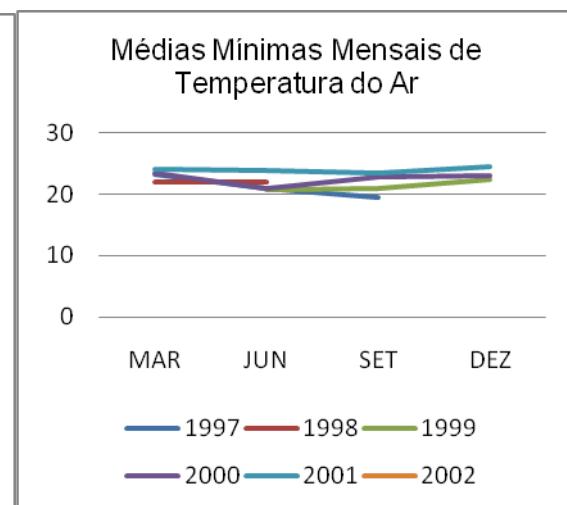


Gráfico 20 – Médias mínimas mensais de temperatura do ar

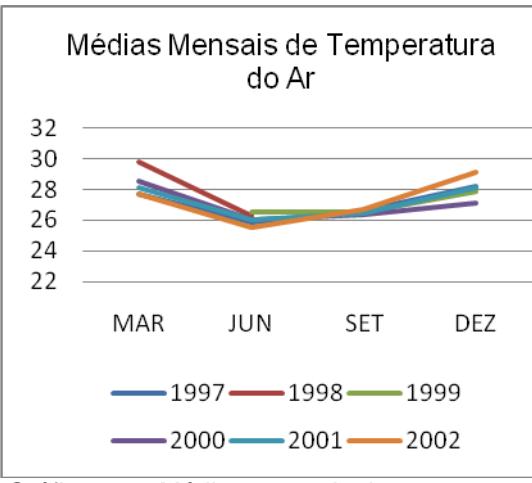


Gráfico 21 – Médias mensais de temperatura do ar

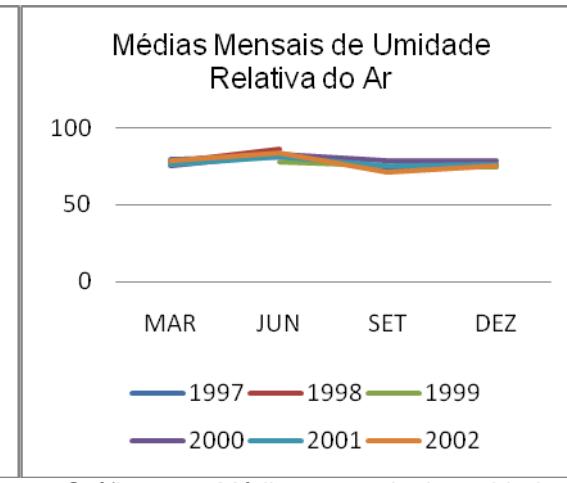


Gráfico 22 – Médias mensais de umidade relativa do ar

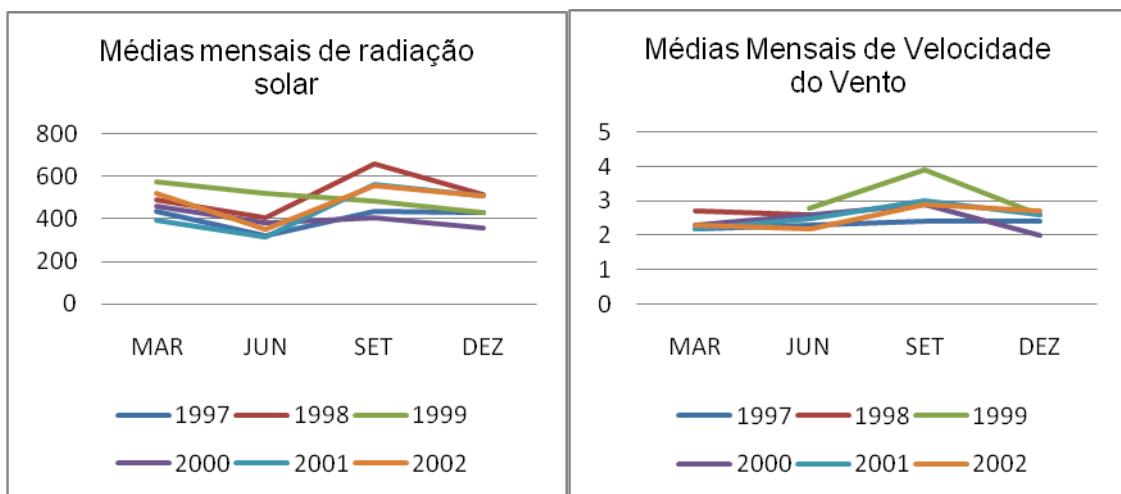


Gráfico 23 – Médias mensais de radiação solar Gráfico 24 – Médias mensais de velocidade do vento

Da mesma forma que acontece com a insolação, a radiação solar e a temperatura são mais elevadas entre os meses de setembro a março, chegando a ocorrer cerca de 700 cal/cm<sup>2</sup>/min de radiação solar e a temperatura superar os 30°C. Verifica-se uma baixa amplitude térmica anual e uma umidade do ar que varia entre 70% e 90%, esse último na estação de inverno, caracterizada pelas chuvas.

A planície costeira (João Pessoa), as serras do Brejo e o declive oriental da Borborema são atingidos pelos ventos úmidos de Sudeste. Estes, graças às condições topográficas, se elevam, resfriando-se, ultrapassando, muitas vezes, o nível de condensação, com nuvens e condições de precipitação, originando chuvas. No litoral, as precipitações começam no outono com ocorrência maior no inverno, consequência das massas de ar frias nas correntes de Sudeste de frentes frias que têm aí sua ação.

A cidade recebe a influência principalmente dos ventos de Sudeste. De acordo com SILVA (1999), os Atlas de Vento do Bessa e do Aeroporto Castro Pinto acusam que a freqüência das ocorrências e sua distribuição em termos de direção e velocidade dos ventos concentram-se no quadrante Sudeste e apresentam uma grande dispersão nas outras orientações. Quanto às velocidades, ambos variam no intervalo de 0m/s a 9m/s detectando-se uma velocidade média de 3,2 m/s para o Bessa e de 3,3 m/s para o Aeroporto (ponto adotado como sendo o mais continental para o estudo citado).

## **REGULAMENTO DE DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA**

### **ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES PARA A CIDADE DE JOÃO PESSOA - RDTEE**

#### **Apresentação**

O Regulamento de Desempenho Térmico e Eficiência Energética em Edificações para a cidade de João Pessoa – RDTEE foi desenvolvido visando a dotar a cidade de João Pessoa de um instrumento contendo mecanismos para a racionalização do consumo energético em edificações e para a otimização das condições de conforto térmico. Foi formulado com base em diretrizes a serem contempladas tanto na fase de projeto quanto em reformas e intervenções em edificações já existentes.

As exigências contidas no RDTEE dizem respeito ao conforto térmico no interior do ambiente edificado, à garantia de ventilação natural satisfatória, à adoção do sistema solar térmico para a produção de água quente sanitária e ao uso racional de energia elétrica, considerando as condições interiores de conforto térmico e o aproveitamento da iluminação natural.

O fluxo de calor que penetra em uma edificação é influenciado pelas características físicas e pelo comportamento térmico do material construtivo, seu calor específico e densidade que definem a sua capacidade térmica. Essa capacidade térmica é referente à inércia e permite o retardamento dos efeitos da carga térmica externa nos períodos mais quentes do dia. A quantidade de isolamento necessária é proporcional à diferença entre as condições térmicas externas e os requisitos de conforto.

Mediante a esse regulamento, a caracterização da edificação e do desempenho térmico dos componentes de sua envolvente deverá obedecer à condição de manter permanentemente em seu interior uma temperatura confortável, não determinando necessariamente o consumo real do edifício, uma vez que as condições de uso e rotina do usuário não podem ser determinadas de forma inequívoca pelas condições de referência admitidas por esse regulamento. No entanto essa caracterização pode ser usada como um mecanismo comparativo, do ponto de vista térmico, entre edifícios.

## **CAPITULO I**

### **Objeto e Âmbito de Aplicação**

#### **Artigo 1º - Objeto**

O RDTEE caracteriza-se como um instrumento normativo baseado em diretrizes destinadas a garantir aos edifícios de habitação e de serviços sem sistemas centralizados de climatização, o cumprimento das exigências de conforto térmico, de ventilação natural, de iluminação natural e de produção de água quente sanitária visando ao uso racional da energia necessária para a utilização dos edifícios, reduzindo a limites admissíveis o consumo energético e melhorando a qualidade da construção civil na cidade de João Pessoa.

#### **Artigo 2º - Âmbito de Aplicação**

O presente Regulamento aplica-se aos novos edifícios residenciais e de serviços sem sistemas centralizados de climatização e às reformas e intervenções nos edifícios existentes.

## **CAPITULO II**

### **Índices e Parâmetros de Caracterização**

#### **Artigo 3º - Índices e Parâmetros de Caracterização**

A caracterização do comportamento térmico dos edifícios faz-se através de índices e parâmetros. O índice térmico a se quantificar é a temperatura superficial interior máxima. Os parâmetros complementares a se quantificar são: coeficientes de transmissão térmica e resistência da envolvente; coeficiente de absorção à radiação solar; coeficiente de amortecimento térmico; atraso térmico; taxa de renovação do ar; iluminação natural no interior do recinto e a contribuição solar para produção de água quente sanitária. A limitação do consumo energético determina que os edifícios devam dispor de uma envolvente que limite a demanda energética para se alcançar o conforto térmico em função do clima da cidade, por suas características de isolamento e inércia, permeabilidade ao ar e exposição à radiação solar.

Para garantir o conforto térmico e a qualidade do ar no interior dos edifícios, os índices são calculados com base em condições de referência definidas no Artigo 10º deste regulamento.

Para aplicação do Regulamento proposto deve-se caracterizar a edificação a partir das condições climáticas da localidade, sua geometria (tabela de levantamento dimensional: plantas, cortes, fachadas, área útil, pé direito, envolvente externa), os elementos correntes da envolvente (tabela descritiva dos materiais construtivos: coeficiente de transmissão térmica e coeficiente de absorção das paredes e coberturas por área e orientação geográfica); determinação da taxa de renovação do ar; sombreamento dos vãos envidraçados; balanço de ganhos e perdas de calor associados à envolvente opaca, aos vãos envidraçados, ganhos úteis (solar e interno) e à renovação do ar; determinação da iluminação natural e determinação da produção de água quente sanitária, obedecendo aos valores de referência.

Os edifícios deverão dispor de meios que permitam seus recintos serem adequadamente ventilados, apontando um caudal de ar externo que garanta uma renovação de ar suficiente, e retire o calor dissipado em seu interior, devido à atividade realizada e ao período de utilização de cada espaço e dispondo de um sistema de regulação que otimize o aproveitamento da ventilação natural. Deve ser calculado o dimensionamento das aberturas de ventilação obedecendo a condições mínimas requeridas por este documento.

Para garantia da eficiência energética nas instalações de iluminação os edifícios deverão adequar-se às necessidades de seus usuários, sendo eficazes energeticamente e dispondo de um sistema de regulação que otimize o aproveitamento da luz natural. Deverá ser calculado o valor do aclaramento útil médio no plano de trabalho pelas aberturas laterais e/ou o aclaramento na superfície horizontal externa por iluminação zenital levando em consideração: o uso da zona a iluminar; tipo de tarefa realizada; necessidades do usuário; dimensões do recinto; refletâncias das paredes, pisos e tetos; acabamento e mobiliário previsto.

Para as águas quentes sanitárias, o objetivo básico do sistema solar de aquecimento é fornecer ao usuário uma instalação que otimize a conservação de energia, garanta durabilidade, qualidade e segurança na instalação. A metodologia de cálculo deve especificar os valores médios diários da demanda de energia térmica e a contribuição solar. Deve, ainda, apresentar o cálculo da área coletora e o cálculo da quantidade de energia necessária para aquecer a água do reservatório. A contribuição solar mínima anual será a fração entre os valores anuais da energia solar de contribuição requerida e a demanda energética anual.

## **CAPITULO III**

### **Condições Climáticas Locais**

#### **Artigo 4º - Condições Climáticas Locais**

Para caracterização e análise da edificação, baseada nas diretrizes presentes neste documento, deve-se considerar as seguintes condições climáticas da cidade de João Pessoa, através de dados referentes à média de horas de insolação diária, médias máxima e mínima de temperatura e umidade do ar, média da velocidade do vento e os dados de radiação solar incidente sobre os planos verticais e horizontais ( $\text{W/m}^2$ ), obtidos a partir da latitude da cidade.

<b>Condições Climáticas da Cidade de João Pessoa</b>	
Média de Horas de Insolação Diária	7,50 horas
Média de Radiação Solar	455,6 $\text{cal/cm}^2/\text{min}$
Média Máxima de Temperatura do Ar	28,8 0C
Média Mínima de Temperatura do Ar	22,6 0C
Média de Temperatura do Ar	27,2 0C
Média de Umidade Relativa do Ar	78,9%
Média de Velocidade do Vento	2,66 m/s

Tabela 12 – Condições Climáticas da Cidade de João Pessoa.(Fonte: LES)

## **CAPITULO IV**

### **Requisitos Energéticos**

#### **Artigo 5º - Limitação da temperatura superficial interior máxima.**

Um edifício não poderá, como resultado de sua morfologia, da qualidade térmica da sua envolvente e considerando os ganhos solares e internos, exceder um valor máximo admissível da temperatura superficial interior máxima fixada no Artigo 10º deste regulamento.

#### **Artigo 6º - Limitação das necessidades nominais de energia útil para produção de água quente sanitária**

Como resultado dos tipos e eficiência dos equipamentos de produção de água quente sanitária, em todo edifício deverá ser previsto um sistema de contribuição solar

para a produção de água quente sanitária, considerando os valores de referência contidos no Artigo 10º deste regulamento.

### **Artigo 7º - Requisitos mínimos de qualidade térmica dos edifícios**

Os valores máximos dos valores do coeficiente de absorção da radiação solar, coeficiente de condutividade térmica dos materiais utilizados, coeficiente de amortecimento, atraso térmico e por fim o coeficiente global de transmissão e de resistência térmica deverão obedecer a condição estabelecida no Artigo 5º deste regulamento.

## **CAPITULO V**

### **Metodologia de Cálculo**

A quantificação dos parâmetros térmicos é feita através de: cálculo do coeficiente de transmissão térmica; resistência térmica superficial, total e das câmaras de ar e quantificação do amortecimento e atraso térmico. As fontes de carga térmica interna ao edifício podem ser classificadas como: presença humana; sistemas de iluminação artificial; motores e equipamentos; processos industriais e calor solar.

Inicialmente, deve-se caracterizar a edificação a partir da sua geometria, materiais e elementos construtivos da envolvente por área e orientação geográfica, determinação da taxa de renovação do ar e sombreamento dos vãos envidraçados.

Edificação – Caracterização Geométrica e Construtiva						
	Norte	Sul	Leste	Oeste	Coberta	Piso
Perímetro						
Altura do pé direito						
Área das paredes da envolvente						
Espessura das paredes						
Material da envolvente						
Revestimento externo						
Revestimento interno						
Áreas de aberturas						

Tabela 13 – Edificação – Caracterização Geométrica e Construtiva

### **Artigo 8º - Quantificação dos Parâmetros Térmicos, Iluminação Natural e Produção de Água Quente Sanitária**

A quantificação dos parâmetros térmicos é feita a partir da verificação dos requisitos mínimos baseada na temperatura interna de referência especificada no Artigo 10º deste regulamento. A partir da tabela de Caracterização Geométrica e Construtiva da Edificação deverão ser calculados os coeficientes de absorção à radiação solar, a temperatura equivalente para os planos verticais e horizontais, o coeficiente de amortecimento e o retardo térmico, resistência térmica total, a temperatura superficial interna média, a temperatura superficial interior máxima, a renovação do ar, determinação da iluminação natural, e determinação da produção de água quente sanitária.

Na quantificação dos parâmetros térmicos, tem-se que o coeficiente global de transmissão térmica ( $K$ ) quantifica a capacidade do material a ser atravessado por um fluxo de calor induzido por uma diferença de temperatura entre dois ambientes, que o elemento constituído por tal material separa ( $\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ). Define-se como sendo, segundo o fluxo de calor que atravessa, na unidade de tempo, a unidade de área do elemento constituído do material, quando se estabelece uma diferença unitária de temperatura entre o ar confinante com suas faces opostas.

A condutância térmica superficial diz respeito às trocas térmicas à superfície, por convecção e radiação, podendo ser referente à superfície externa ( $h_e$ ) ou à superfície interna ( $h_i$ ). A resistência térmica superficial é dada por:  $1/h_e$  e  $1/h_i$ . A resistência térmica, de elementos e componentes, diz respeito ao quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário. É dada em função da espessura e condutividade térmica da lâmina. Tem-se então, que a transmitância térmica ( $U$ ) ou coeficiente global de transmissão térmica ( $K$ ) reflete o inverso da resistência térmica total.

Atendendo-se ao princípio fundamental do estado de equilíbrio térmico, onde a condição para transmissão de calor é que os corpos tenham temperaturas diferentes, sendo o fluxo de calor do ponto mais quente para o mais frio, considera-se um estado inicial onde as temperaturas internas e externas, assim como as temperaturas superficiais e armazenadas pelo fechamento não apresentam variação. Na medida em que a temperatura externa eleva-se, começa o processo de transmissão de calor, de forma gradual, das diferentes partes do fechamento que se modificam constantemente, notando-se certo tempo para que essa variação atinja o meio interior, o qual irá se aquecer até atingir novamente o estado de equilíbrio térmico com o exterior. No regime variável, além da condutividade térmica, o calor específico

(kcal/kg°C) dos corpos participa significativamente. Refere-se à quantidade de calor necessária para elevar em uma unidade a temperatura de um corpo de massa igual à unidade. O calor específico multiplicado pela densidade (kg/ m<sup>3</sup>) de um material refere-se ao calor específico volumétrico (kcal/ m<sup>3</sup> °C), esse, multiplicado pela espessura do material, informa a capacidade térmica do fechamento.

Pelas características de capacidade térmica e resistência térmica do fechamento tem-se que as oscilações da temperatura superficial interna não alcançarão à externa, sendo um fechamento qualquer capaz de amortecer a onda térmica exterior. A capacidade de amortecimento é a propriedade do fechamento de diminuir a amplitude das variações térmicas.

Quantificação dos Parâmetros Térmicos					
	Norte	Sul	Leste	Oeste	Coberta
Coeficiente de transmissão térmica de superfície opaca - Kop (W/m <sup>2</sup> °C)					
Coeficiente de transmissão térmica de superfície transparente - Ktr (W/m <sup>2</sup> °C)					
Resistência térmica de superfície opaca - Rop (m <sup>2</sup> °C/W)					
Resistência térmica de superfície Transparente - Rtr (m <sup>2</sup> °C/W)					
Coeficiente de absorção à radiação solar					
Retardo Térmico(°C)					
Coeficiente de amortecimento - $\mu$					
Ganhos de calor de superfície opaca - Qop (W)					
Fator de solar de superfície opaca - Sop					
Ganhos de calor de superfície transparente - Qtr (W)					
Fator de solar de superfície transpaente - Str					
Ganhos de calor por ocupação - Qocup (W)					
Perdas de calor de superfície opaca – Q'op (W)					
Perdas de calor de superfície transparente – Q'tr (W)					
Perdas de calor por ventilação - Q'vent (W)					
Total Ganhos (W)					
Total Perdas (W)					

Tabela 14 – Quantificação dos Parâmetros Térmicos

Para a verificação da iluminação natural, o método dos Diagramas de G. Pleijel, é composto de duas etapas: gráfica e de cálculos. Na primeira etapa, é determinada a área iluminante através da planta de locação e coberta do edifício

determinado e edifícios, ou quaisquer elementos tridimensionais vizinhos, cuja massa interfira na visualização da abóbada celeste (no caso da iluminação zenital) e obstruções causadas pelos elementos tridimensionais vistos a partir da janela (no caso da iluminação lateral), que constituem seu entorno. Através dos cortes longitudinal e transversal, são marcados os ângulos verticais existentes com auxílio do transferidor de ângulos. Com os ângulos definidos, a máscara gerada pela interseção desses ângulos representará, exatamente, a área de céu visível, e a obstruída pelos elementos do entorno da coberta em estudo. A sobreposição desta máscara ao diagrama solar correspondente à Latitude do lugar onde se encontra o edifício, dá a conhecer as condições de insolação, às quais se submete a área da coberta em análise. A etapa de cálculo determinará a área da superfície zenital total necessária à obtenção do aclaramento requerido no plano de trabalho e o número de domus necessário.

<b>Quantificação da Iluminação Natural Zenital</b>	
Superfície iluminante zenital total requerida – Szt (m <sup>2</sup> )	
Aclaramento na superfície horizontal externa - Ee	
Índice de local - IL	
Coeficiente de poço - Kp	
Coeficiente de utilização do local - Ku	
Número de domus necessário - N	

Tabela 15 – Quantificação da Iluminação Natural Zenital

O cálculo da iluminação natural lateral possui semelhança com o procedimento utilizado no cálculo da iluminação zenital, baseado numa etapa gráfica e uma etapa de cálculo. Através da planta de locação da edificação (a iluminar lateralmente), com seu entorno tridimensionalmente definido, determina-se a porção do céu visível a partir da abertura considerada. Traça-se a máscara resultante das obstruções causadas pelos elementos tridimensionais vistos a partir da janela, que constituem seu entorno (construções vizinhas, detalhes construtivos da própria edificação, árvores, etc.) identificando-se cada elemento obstrutor mediante coordenadas angulares. Sobrepondo-se a máscara, ao diagrama para planos verticais obtém-se o número de pontos que se situam na área visível de céu. A etapa de cálculo determinará o valor do aclaramento útil médio no plano de trabalho.

	Norte	Sul	Leste	Oeste
Aclaramento no plano externo da janela - Ee				
Fluxo que penetra no recinto pela janela - Fi				
Fluxo útil no recinto - Fu				
Índice de recinto - Ir				
Coeficiente de utilização do local - Ku				
Coeficiente de caixilho - v				
Valor do aclaramento útil médio no plano de trabalho - Eu				

Tabela 16 – Quantificação da Iluminação Natural Lateral

A instalação para a produção de água quente sanitária é constituída de um conjunto de componentes com a função de captar a energia solar e transformá-la em energia térmica, armazenando-a eficientemente, podendo estar integrado com um sistema complementar de produção de energia.

A melhor inclinação para instalação dos painéis solares é a Latitude do local acrescida de dez graus, para que a incidência solar sobre o coletor seja a mais perpendicular possível durante todo o ano. Os painéis deverão estar orientados para o Norte verdadeiro no hemisfério Sul. Quando o ângulo de inclinação da coberta em relação ao norte for menor que 20º é recomendada a instalação de um suporte, pois a inclinação mínima é de 20º para garantir o fluxo adequado de água. Em instalações em que a direção do telhado em relação ao Norte e sua respectiva inclinação não estiverem favoráveis, é necessária a ampliação da área de coletores solares para compensar as possíveis perdas. É recomendável que sejam instaladas, dependendo do tamanho do sistema solar, baterias de coletores separados para permitir a manutenção periódica dos mesmos, sem provocar falta de água quente. O dimensionamento correto de um sistema de aquecimento solar evita a falta de água quente para o consumo ou, também, o super dimensionamento que encarece a instalação. Para dimensionar-se o número de coletores e o volume do boiler a serem utilizados num determinado projeto, necessita-se saber inicialmente o número de usuários e o tipo de atividade envolvendo água quente. Esse cálculo resultará na quantidade de água quente necessária por dia.

A NBR 7198 – Projeto e Execução de Instalações Prediais de Água Quente (ABNT, 1993) oferece os valores médios para o consumo de água quente. Deve-se sempre acrescentar um suplemento, caso haja necessidade. A partir destes dados chega-se ao dimensionamento do reservatório de água quente, o boiler. Pode-se por todo o volume em um só boiler, o que é mais simples em termos de instalação, ou, em caso de problemas de peso na estrutura ou altura do forro, em dois boilers.

Os cálculos são considerados para pressão de trabalho de 4 mca entre o topo da caixa d'água e a saída de água quente. É aconselhável uma reserva de 100 litros para atender possíveis excessos ou emergências. No caso dos coletores, normalmente utiliza-se de um para cada 100 litros de água quente. No mercado existem vários tipos de construção de coletores. Dependerá da opção do comprador querer o que melhor se ajuste às suas exigências.

Uma vez tendo o diâmetro do boiler, a área de coleta solar expressa em número de coletores (com suas respectivas dimensões) pode-se determinar, então, a superfície do plano de telhado a Norte que pode efetivamente ser aproveitada para a intalação dos coletores, considerando os requisitos termodinâmicos de funcionamento do sistema.

Quantificação da Produção de Água quente Sanitária	
Determinação da área coletora – S	
Quantidade de energia necessária para aquecer a água do reservatório - Q	
Número de usuários	
Tipo de atividade envolvendo água quente	
Dimensionamento do número de coletores	
Dimensionamento do reservatório de água quente - boiler a ser utilizados	
Determinação da superfície do plano de telhado a Norte que pode efetivamente ser aproveitada para a colocação dos coletores	
Valores anuais da energia solar de contribuição requerida	
Valores da demanda energética anual	
Contribuição solar total anual	

Tabela 17 – Quantificação da Produção de Água quente Sanitária

#### **Artigo 9º - Determinação da temperatura superficial interior máxima:**

Na transmissão de calor em regime periódico, caracterizado por variações da temperatura exterior repetidas a cada 24 horas tem-se:

- uma temperatura exterior **Tq** que varia periodicamente a cada 24 horas, sendo sua temperatura media **Tqm** e seus máximos e mínimos **Tqx** e **Tqn**, a amplitude superior **θs** (**Tqx** – **Tqm**) e a amplitude inferior **θi** (**Tqm** – **Tqn**);
- uma temperatura do meio interior **Ti**;
- uma temperatura na face interior do fechamento **Ts**, com temperatura média **Tsm** com máximos e mínimos **Tsx** e **Tsn** e uma amplitude superior **ωs** (**Tsx** – **Tsm**) e inferior **ωi** (**Tsm** – **Tsn**) que são menores e se apresentam com atraso em relação às correspondentes **Tq**;

- o coeficiente de amortecimento  $\mu$  e o retardo térmico  $\Delta t$  (tempo compreendido entre ambos os máximos) para um fechamento dependem das variações da temperatura equivalente, da orientação e posição de cada plano e da posição dos materiais dentro da espessura do fechamento (resistência e capacidade térmica). É determinado pela razão entre a amplitude superior interna  $\omega_s$  e a amplitude superior externa  $\theta_s$ .

A partir do estudo dos gráficos elaborados para a temperatura equivalente da cidade foram determinados coeficientes limites para o atraso térmico e amortecimento ( $\mu$ ), sabendo-se que quanto menor é  $\mu$  maior será a capacidade de amortecimento do fechamento. A capacidade de amortecimento é proporcional a calor específico, densidade absoluta e espessura do fechamento e inversamente proporcional a condutividade térmica.

Considerando os materiais correntes na construção civil foi determinado o intervalo de 100 a 400  $\text{Kg/m}^2$  para a massa do fechamento por unidade de superfície. Dessa forma o limite do coeficiente de amortecimento será de 0,50. A partir desses dados, encontra-se no gráfico a resistência térmica total limite para o fechamento. Com o estudo do regime de temperatura externa e a partir da resistência estabelecida pelo coeficiente de amortecimento, tem-se o atraso determinado.

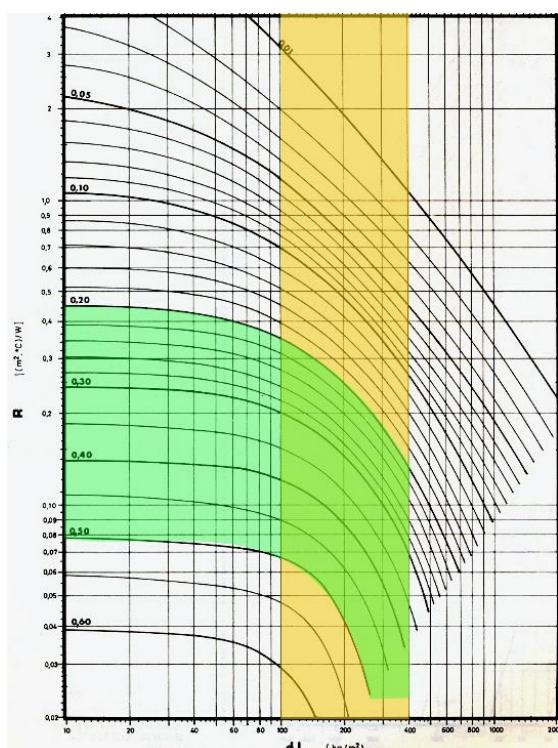


Gráfico 15 – Gráfico para o cálculo do coeficiente de amortecimento térmico (Fonte: RIVERO, 1985)

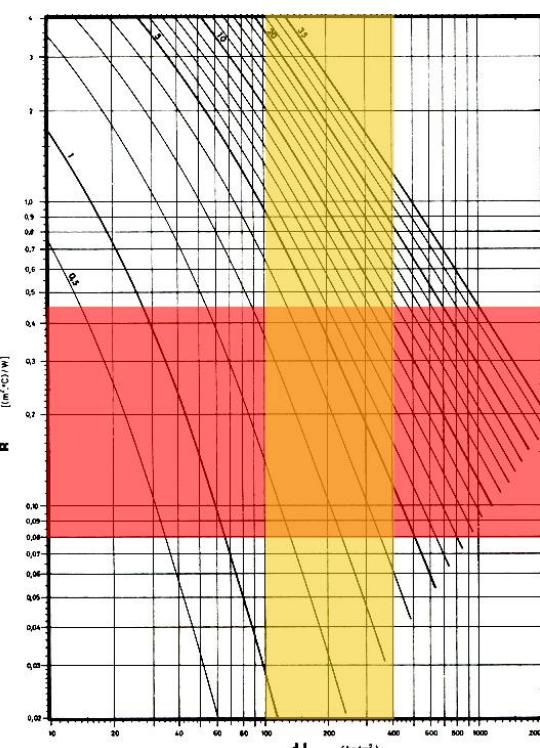


Gráfico 16 – Gráfico para o cálculo do retardo térmico (Fonte: RIVERO, 1985 - modificado)

A temperatura superficial interna média ( $T_{sm}$ ) pode ser calculada então a partir da equação:

$$T_{sm} = T_i + (1/h_i) U (T_{qm} - T_i) \quad > \text{equação 04}$$

A partir da determinação da temperatura superficial interior média ( $T_{sm}$ ) encontra-se a amplitude superior interna, multiplicando-se o valor da amplitude superior externa pelo coeficiente de amortecimento:

$$\omega_s = \mu \theta_s \quad > \text{equação 05}$$

A temperatura superficial interior máxima será então:

$$T_{sx} = T_{sm} + \omega_s \quad > \text{equação 06}$$

Para efeitos desse regulamento, o valor da temperatura superficial máxima não deverá ser ultrapassar o valor da temperatura equivalente média.

## CAPITULO VI

### Condições Ambientais de Referência

#### Artigo 10º - Condições Ambientais Interiores de Referência

As características físicas e parâmetros térmicos dos materiais construtivos encontram-se na NBR 15220-1 - Desempenho térmico de edificações (ABNT – 2005).

Para as condições internas de verão e ar exterior para renovação deverão estar de acordo com os limites sugeridos na NBR 6401 - Instalações centrais de ar-condicionado para conforto - Parâmetros básicos de projeto (ABNT – 1980).

Para as condições de iluminância de interiores deverão ser obedecidos os limites sugeridos na NBR 5413 - Iluminância de Interiores (ABNT – 1992).

A NBR 7198 – Projeto e Execução de Instalações Prediais de Água Quente (ABNT, 1993) sugere os valores médios para o consumo de água quente.

## **CAPITULO VII**

### **Anexo 01 - Exemplo de Aplicação**

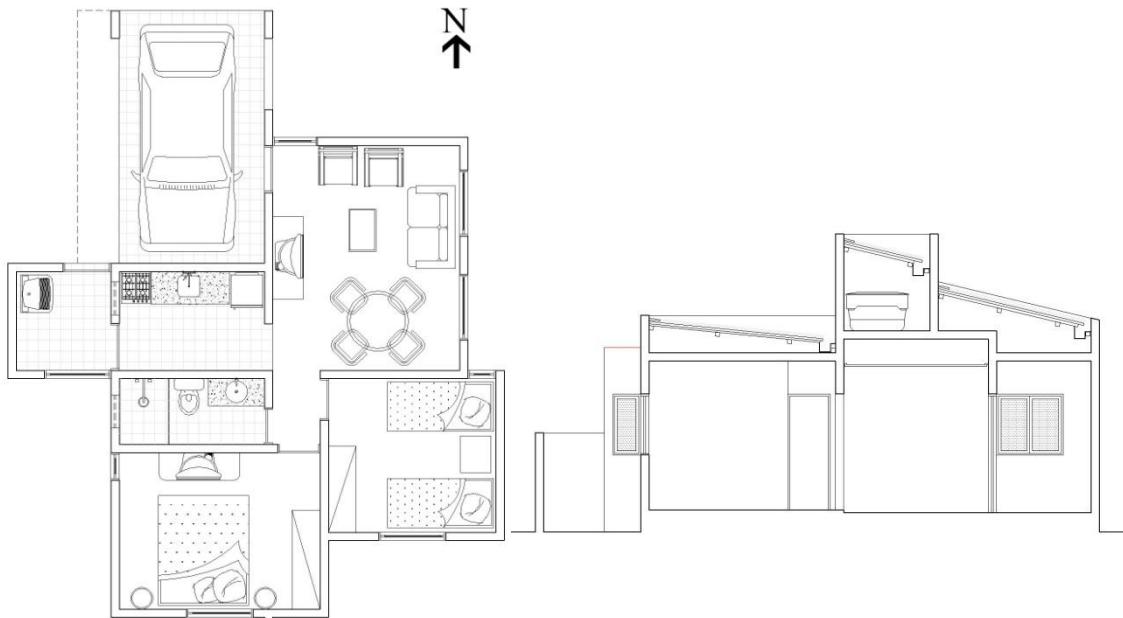


Fig.01 – Planta baixa residência 60m<sup>2</sup>

Fig.02 – Corte residência 60m<sup>2</sup>

Edificação – Caracterização Geométrica e Construtiva						
	Norte	Sul	Leste	Oeste	Coberta	Piso
Perímetro	8,90	8,90	8,75	8,75	39,90	39,90
Altura do pé direito	2,70	2,70	2,70	2,70	-	-
Área da envolvente	37,70	36,30	37,45	32,55	67,80	67,80
Espessura das paredes	definir	definir	definir	definir	definir	definir
Material da envolvente	definir	definir	definir	definir	definir	definir
Revestimento externo	definir	definir	definir	definir	definir	definir
Revestimento interno	definir	definir	definir	definir	definir	definir
Áreas de aberturas	2,88	3,96	2,64	2,71	-	-

Tabela 18 – Edificação – Caracterização Geométrica e Construtiva

### **Cálculo do número de renovações do ar.**

A condição de referência para o número de renovações do ar interior deverá obedecer o valor sugerido pela NBR 6401 Instalações Centrais de ar-condicionado para conforto – parâmetros básicos de projeto (ABNT, 1980).

Ar Exterior para Renovação			
Local	m³/h/ pessoa		Concentração de fumantes
	recomendável	mínimo	
Residências	35	17	alguns

Tabela 19 – Ar Exterior para Renovação

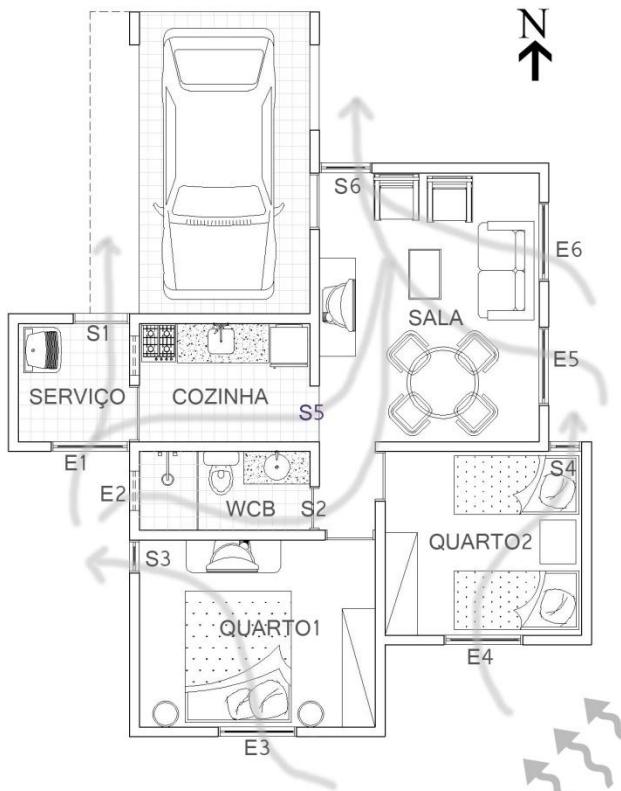


Fig.03 – Caudal de ventilação

Áreas aberturas de entrada	Áreas aberturas de saída	Volume do recinto
E1 – 1,32 m <sup>2</sup>	S1 – 1,78 m <sup>2</sup>	Quarto 01 – 27,70 m <sup>3</sup>
E2 – 0,36 m <sup>2</sup>	S2 – 1,38 m <sup>2</sup>	Quarto 02 – 22,68 m <sup>3</sup>
E3 – 1,32 m <sup>2</sup>	S3 – 0,55 m <sup>2</sup>	Wcb – 8,42 m <sup>3</sup>
E4 – 1,32 m <sup>2</sup>	S4 – 0,55 m <sup>2</sup>	Serviço – 8,26 m <sup>3</sup>
E5 – 1,32 m <sup>2</sup>	S5 – 1,78 m <sup>2</sup>	Cozinha - 12,63 m <sup>3</sup>
E6 – 1,32 m <sup>2</sup>	S6 - 0,55 m <sup>2</sup>	Sala – 37,07 m <sup>3</sup>

Tabela 20 – Áreas de abertura e volumes do recinto

Quarto 01	
1. Cálculo da perda de carga:	02. Cálculo do caudal de ventilação:
$K = \Sigma K_1 \times (A_{ref} / A_1)^2$	$Q = V_o \times A_{ref} \times 1 / \sqrt{K} \times \sqrt{C_{pe} - C_p}$
E3 → Q1 → S3	$Q_e \rightarrow Q_s = 2,66 \times 1,32 \times 1 / \sqrt{19,28} \times \sqrt{0,4}$
Cpe=+0,3	$Q_e \rightarrow Q_s = 0,45 \text{ m}^3/\text{s}$
Ke3=2,00	$Q_e \rightarrow Q_s = 1620 \text{ m}^3/\text{h}$
$Ke \rightarrow K_s = Ke \times (A_{ref} / A_e)^2 + K_s \times (A_{ref} / A_s)^2$	03. Quantidade de renovações do ar no ambiente:
$Ke \rightarrow K_s = 19,28$	$R = Q / V$
	$R = 58 \text{ Rph}$

### Quarto 02

<p>1. Cálculo da perda de carga:</p> $K = \sum K_1 \times (\Delta A_{ref} / A_1)^2$ <p>E4 → Q2 → S4</p> <p>Cpe=+0,3                      Cps=-0,1</p> <p>Ke4=2,00                      Ks4=3,00</p> <p><math>K_e \rightarrow K_s = K_e \times (\Delta A_{ref} / A_e)^2 + K_s \times (\Delta A_{ref} / A_s)^2</math></p> <p><math>K_e \rightarrow K_s = 19,28</math></p>	<p>02. Cálculo do caudal de ventilação:</p> $Q = V_o \times A_{ref} \times 1 / \sqrt{K} \times \sqrt{C_{pe} - C_{ps}}$ <p><math>Q_e \rightarrow Q_s = 2,66 \times 1,32 \times 1 / \sqrt{19,28} \times \sqrt{0,4}</math></p> <p><math>Q_e \rightarrow Q_s = 0,45 \text{ m}^3/\text{s}</math></p> <p><math>Q_e \rightarrow Q_s = 1620 \text{ m}^3/\text{h}</math></p>
	<p>03. Quantidade de renovações do ar no ambiente:</p> $R = Q / V$ <p>R = 71 Rph</p>

Tabela 21 – Quantidade de renovações do ar quartos

### Serviço

<p>1. Cálculo da perda de carga:</p> $K = \sum K_1 \times (\Delta A_{ref} / A_1)^2$ <p>E1 → S → S1</p> <p>Cpe=+0,3                      Cps=-0,1</p> <p>Ke1=2,00                      Ks1=1,00</p> <p><math>K_e \rightarrow K_s = K_e \times (\Delta A_{ref} / A_e)^2 + K_s \times (\Delta A_{ref} / A_s)^2</math></p> <p><math>K_e \rightarrow K_s = 2,54</math></p>	<p>02. Cálculo do caudal de ventilação:</p> $Q = V_o \times A_{ref} \times 1 / \sqrt{K} \times \sqrt{C_{pe} - C_{ps}}$ <p><math>Q_e \rightarrow Q_s = 2,66 \times 1,32 \times 1 / \sqrt{2,54} \times \sqrt{0,4}</math></p> <p><math>Q_e \rightarrow Q_s = 1,37 \text{ m}^3/\text{s}</math></p> <p><math>Q_e \rightarrow Q_s = 4937 \text{ m}^3/\text{h}</math></p>
	<p>03. Quantidade de renovações do ar no ambiente:</p> $R = Q / V$ <p>R = 597 Rph</p>

Tabela 22 – Quantidade de renovações do ar serviço

### Wcb – Cozinha - Sala

<p>1. Cálculo da perda de carga:</p> $K = \sum K_1 \times (\Delta A_{ref} / A_1)^2$ <p>E2 → Wcb → S2 → Sala</p> <p>Cpe=+0,1                      Cps=-0,1</p> <p>Ke2=4,00                      Ks2=1,00</p> <p>E1 → Coz → S5 → Sala</p> <p>Cpe=+0,3                      Cps=-0,1</p> <p>Ke1=2,00                      Ks2=1,00</p> <p><math>E_5 + E_6 \rightarrow \text{Sala}</math></p> <p>Cpe=+0,3</p> <p>Ke1=1,00</p> <p>Sala → S6</p> <p>Cps=-0,1</p> <p>Ks2=3,00</p> <p><math>K_e \rightarrow K_s = K_e \times (\Delta A_{ref} / A_e)^2 + K_s \times (\Delta A_{ref} / A_s)^2</math></p> <p><math>K_{e2} \rightarrow K_{s2} = 53,66</math></p> <p><math>K_{e1} \rightarrow K_{s5} = 2,54</math></p> <p><math>K_{e5-6} \rightarrow \text{Sala} = 0,25</math></p> <p><math>K_{s6} = 17,28</math></p>	$\frac{1}{K_{eq}} = \frac{1}{K_i} + 2 \sum \frac{1}{K_i K_j} \quad [i \neq j]$ $\frac{1}{Sala} = 0,018 + 0,39 + 4 + 2 \times (0,085 + 0,27 + 1,26)$ $\frac{1}{Sala} = 7,638$ $K_{Sala} = 0,13$ $\text{Sala} \rightarrow S6$ $K_{Sala} \rightarrow S6 = 17,41$ <p>02. Cálculo do caudal de ventilação:</p> $Q = V_o \times A_{ref} \times 1 / \sqrt{K} \times \sqrt{C_{pe} - C_{ps}}$ <p><math>Q = 2,66 \times 1,32 \times 1 / \sqrt{17,41} \times \sqrt{0,4}</math></p> <p><math>Q = 0,53 \text{ m}^3/\text{s}</math></p> <p><math>Q = 1911 \text{ m}^3/\text{h}</math></p> <p>03. Quantidade de renovações do ar no ambiente:</p> $R = Q / V$ <p>R Wcb = 226 Rph</p> <p>R Coz = 151 Rph</p> <p>R Sala = 51 Rph</p>
--	---

Tabela 23 – Quantidade de renovações do ar WC, cozinha e sala

### **Cálculo do aclaramento útil médio no plano de trabalho .**

A condição de referência para o aclaramento útil no plano de trabalho deverá obedecer o valor sugerido pela NBR 5413 - Iluminância de Interiores (ABNT – 1992).

Residências – Número de lux			
Salas de estar	100	150	200
Cozinha (geral / local)	100 / 200	150 / 300	200 / 500
Quartos de dormir (geral / local)	100 / 200	150 / 300	200 / 500
Banheiros (geral / local)	100 / 200	150 / 300	200 / 500

Tabela 24 – Aclaramento útil no plano de trabalho (Fonte NBR 5413)

	Quarto 1	Quarto 2	Sala	Cozinha e Serviço
Dimensões do ambiente (l x c)	3,60 x 2,85	3,00 x 2,80	3,35 x 4,10	4,45 x 1,80
Pé direito	2,70	2,70	2,70	2,70
Número de usuários	02	02	04	01
Valor da iluminação externa – Eh (Lat. 8°S, equinócio, 9-15h)	27.900 lux	27.900 lux	27.900 lux	27.900 lux
Coeficiente de reflexão teto ambiente -pTE	50%	50%	50%	50%
Coeficiente de reflexão parede ambiente -pTA	50%	50%	50%	50%
Dimensões das aberturas (l x h)	1,20 x 1,10	1,20 x 1,10	2,40x 1,10	1,20 x 1,10
Área de obstrução provocada pelos caixilhos	0,44	0,44	0,88	0,44
Coeficiente de transmissão do vidro simples- tv	0,85	0,85	0,85	0,85
Coeficiente de manutenção - Km	0,8	0,8	0,8	0,8
Aclaramento no plano externo da janela - Ee	27.900 lux	24.676 lux	25.899 lux	16.173 lux
Índice de recinto - Ir	0,59	0,53	0,68	0,47
Coeficiente de utilização do local - Ku	35	35	35	35
Coeficiente de caixilho - V	0,66	0,66	0,66	0,66
Coeficiente de parede - p	0,95	0,95	0,95	0,95
Fluxo que penetra no recinto pela janela - Fi	36.828	32.572	68.373	21.348
Fluxo útil no recinto - Fu	5.495	4.860	10.203	3.185
Valor do aclaramento útil médio - Eu	4.162	3.681	3.864	2.412

Tabela 25 – Aclaramento útil no plano de trabalho para residência

### **Cálculo água quente sanitária .**

A NBR 7198 – Projeto e Execução de Instalações Prediais de Água Quente oferece os valores médios para o consumo de água quente. Deve-se sempre acrescentar um suplemento, caso houver necessidade.

Quantificação da Produção de Água quente Sanitária	
Determinação do tipo de atividade envolvendo água quente	banho
Quantidade de equipamentos que utilizam a água quente	01 chuveiro
Quantidade de agua quente utilizada na atividade	50 L/ banho
Número de usuários	04
Número de vezes de utilização por usuario / dia	02
Consumo de água quente por dia na edificação	400 L
Quantidade de energia necessária para aquecer a água do reservatório - Q	18.000 Kcal/dia
Média de Intensidade da Radiação Solar	273 Kcal / cm <sup>2</sup> dia
Determinação da área coletora – S	110 cm <sup>2</sup>

Tabela 26 – Quantificação da Produção de Água quente Sanitária

#### Determinação da qualidade térmica da envolvente a partir da temperatura superficial interior máxima .

As características físicas e parâmetros térmicos dos materiais construtivos encontram-se na NBR 15220-1 - Desempenho térmico de edificações (ABNT – 2005).

Para as condições internas de verão e deve-se utilizar o limite sugerido na NBR 6401 - Instalações centrais de ar-condicionado para conforto - Parâmetros básicos de projeto (ABNT – 1980).

Condições internas para verão					
Finalidade	Local	Recomendada		Máxima	
		TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)
Conforto	Residências Hotéis Escritórios Escolas	23 a 25	40 a 60	26,5	60

Tabela 27 – Condições internas para verão

	Envolvente	U	CT	ΔT	μ	Tsm	ωs	Tsx	Tqx
Coberta	Cobertura de telha de barro com forro de laje mista	1,92	113	3,6	0,20	26,9	5,4	32,30	33,1
Fachada Sul	Parede de tijolos de 8 furos circulares, assentados na menor dimensão + argamassa de emboço	2,24	167	3,7	0,25	24,8	2,25	27,05	26,7
Fachada leste						24,6	3,75	28,35	26,3
Fachada norte						24,1	1,25	25,35	23,7
Fachada oeste						24,6	4,00	28,6	26,3

Tabela 28 – Determinação da temperatura superficial interior máxima

A partir da tabela 28 constata-se que a edificação só atende às condições estabelecidas por esse regulamento em relação à sua coberta. No entanto o cálculo da temperatura equivalente foi feito com base nos requisitos mínimos para o limite do coeficiente de absorção, considerando-se uma alvenaria de tijolo aparente. A solução para esse caso seria diminuir o coeficiente de absorção, pintando por exemplo a parede com uma tinta branca.

Para verificar e validar o Regulamento proposto foi feita uma análise de uma edificação existente na cidade de João Pessoa, a Estação Ciência, Cultura e Artes, tomada como objeto empírico de estudo. Para tal, foram aplicados os regulamentos da ABNT, o RCCTE e por fim o RDTEE, sendo comparados os seus resultados.

### **Estação Ciência Cultura e Artes.**

A Estação Ciência, Cultura e Artes é uma proposta inspirada em exemplos de museus de ciência que ocorrem no mundo todo e em particular na Estação Ciência da USP, suas atividades as dimensões artísticas e culturais e a preocupação em ser um espaço de criação de alternativas de trabalho, emprego e renda tendo como referência ciência e tecnologia para inclusão social, sendo vista como um espaço dinâmico, multiuso, de atividades culturais, científicas e de inovação. A estação vai estudar os fatos continentais e a falésia onde está instalada. O conjunto arquitetônico tem a finalidade de apoiar a difusão cultural e a realização de pesquisas científicas voltadas à área continental, atendendo a população não só de João Pessoa como também de todo o estado da Paraíba.

O complexo da Estação Ciência é composto basicamente pelos seguintes equipamentos: torre; espelho d'água; rampa; anfiteatro; auditório e salão de convenções; loja e lanchonete; serviços gerais; estacionamentos e ainda apresenta a previsão de uma feirinha de artesanato e sanitários públicos.

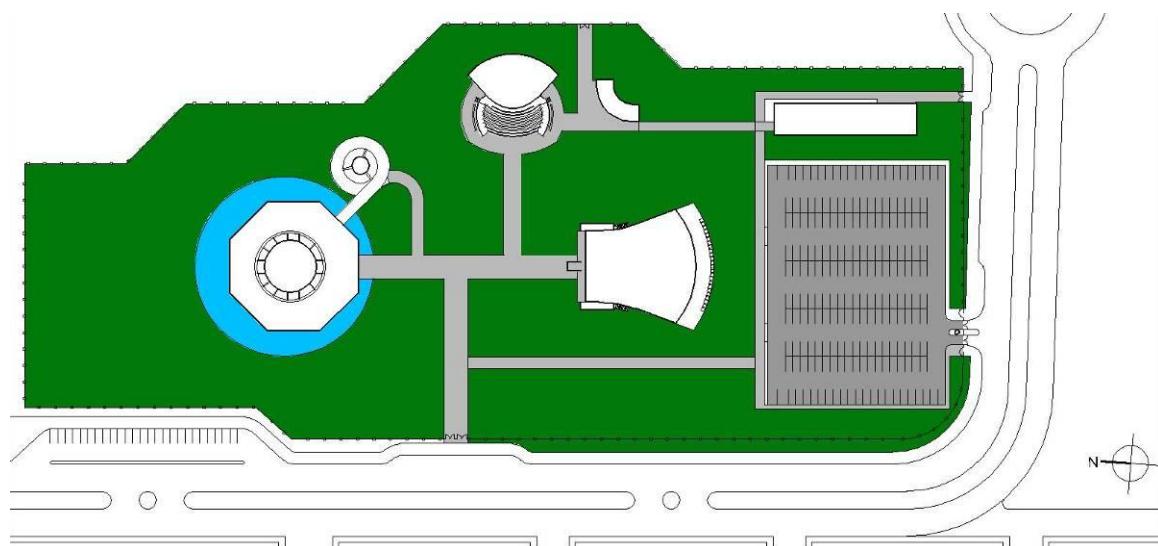


Fig.04 – Implantação

A Torre é determinada por uma grande estrutura com planta em forma octogonal, com 43,0 m de distância entre lados opostos, apoiada sobre uma parede cilíndrica, com 15,0 m de diâmetro. Seu pavimento térreo é circundado por um espelho d'água com 60,0 m de diâmetro, interrompido apenas por uma passarela de acesso com 8,0 m de largura. A parede cilíndrica, que sustenta o prédio, aloja uma escada e dois elevadores para circulação entre os pavimentos. No subsolo, com área de 176,71 m<sup>2</sup> encontra-se uma cisterna de 30 mil litros, casa de máquinas dos elevadores e casa de bombas.

O pavimento térreo, com área de 192,25 m<sup>2</sup> possui um hall social onde localizam-se dois elevadores, uma sala de reserva técnica e uma escadaria. Sua porta de entrada (a única abertura existente no pavimento) possui quatro folhas de 0,78 m x 2,10 m e está voltada para uma grande passarela na porção sul do terreno. Sua alvenaria, com espessura de 0,50 m possui como acabamento pintura acrílica na cor branca, sobre base emassada. Seu piso é acabado com cimentado de alta resistência e o teto composto de gesso acartonado com pintura acrílica na cor branca.

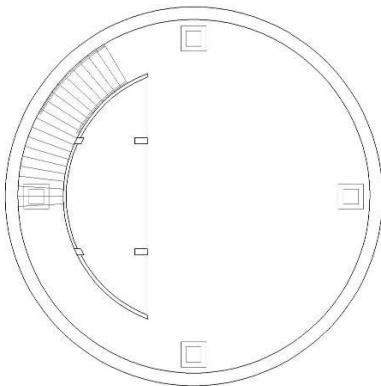


Fig. 05 - Planta Baixa Subsolo

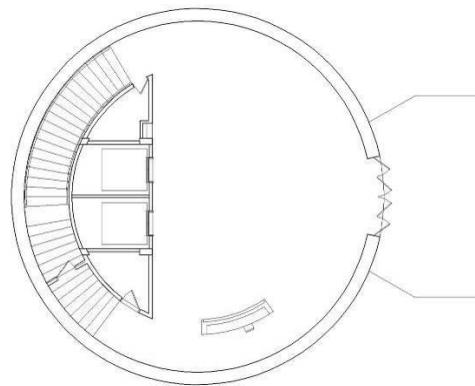


Fig. 06 - Planta Baixa Pavimento Térreo

O primeiro pavimento possui área total de 1.531,76 m<sup>2</sup>, sendo composto por um grande salão com área 1.339,51m<sup>2</sup> e um bloco central contíguo ao pavimento térreo com área 192,25 m<sup>2</sup>. O bloco central é composto pelo hall social, sanitários masculinos e femininos, sala de reserva técnica, dois elevadores e escadaria. Sua alvenaria com espessura de 0,50m é acabada com pintura acrílica na cor branca, sobre o concreto. Seu piso é acabado com cimentado de alta resistência e o teto executado em gesso acartonado com pintura acrílica na cor branca. O salão é totalmente circundado por esquadria em vidro, sendo seu piso acabado com cimentado de alta resistência e o teto em gesso acartonado com pintura acrílica na cor branca. O mesmo se constata no segundo pavimento, igual ao primeiro, acima especificado. O fechamento das fachadas da Torre é do tipo Glazing com vidro

laminado refletivo prata, 10 mm, da marca Blindex, instalados com silicone estrutural, na cor preta.

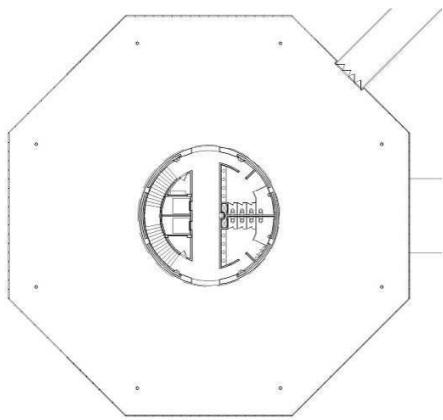


Fig. 07 - Planta Baixa Primeiro Pavimento

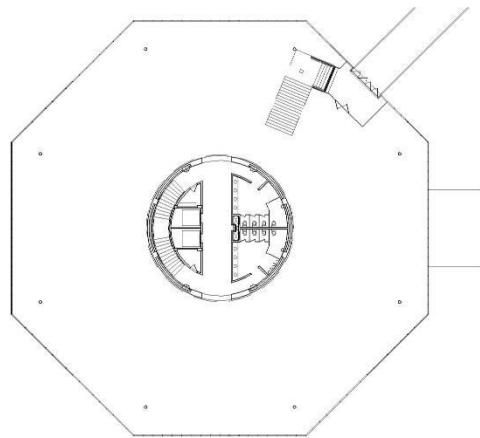


Fig. 08 - Planta Baixa Segundo Pavimento

O terceiro pavimento possui um bloco central similar ao existente no primeiro e segundo pavimento, sendo composto de: hall; sanitários masculinos e femininos; sala de reserva técnica; despensa; bar; dois elevadores e escadaria. Possui um grande terraço com 1.277,68 m<sup>2</sup> de área, descoberto e circundado por um peitoril de 1,30 m de altura. Entre o terceiro pavimento e a coberta existe um pavimento técnico, como continuação do bloco central já referido, onde estão localizados: a área para instalação de equipamentos de ar condicionado; a caixa de elevadores e a caixa d'água superior. A laje de concreto da coberta possui acabamento impermeável na cor branca.

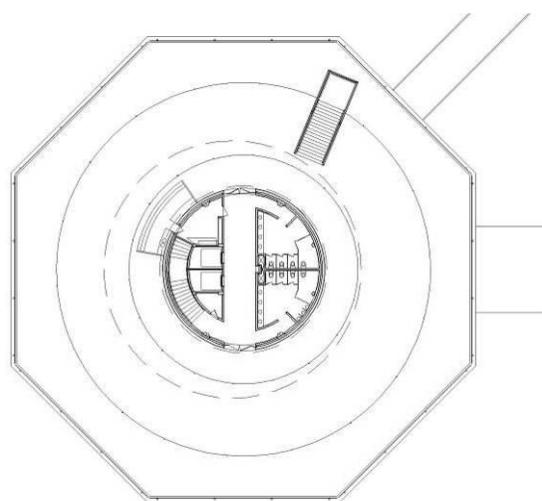


Fig. 09 - Planta Baixa Terceiro Pavimento

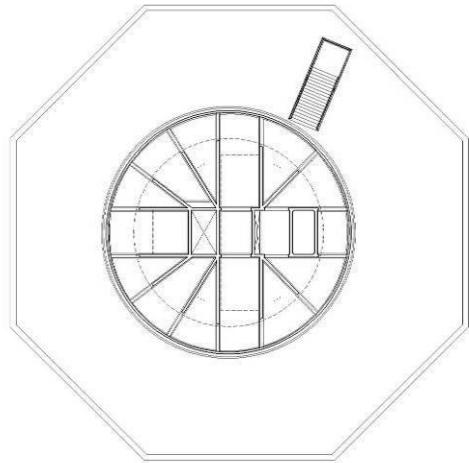


Fig. 10 - Planta Baixa Pavimento Técnico

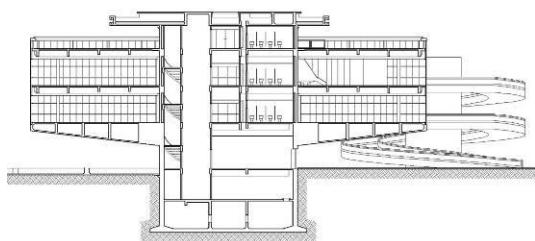


Fig. 11 – Corte

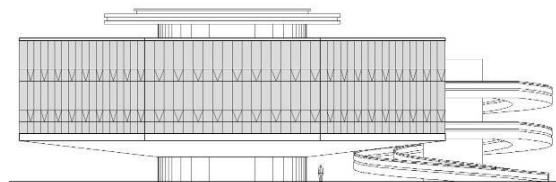


Fig. 12 – Fachada Leste

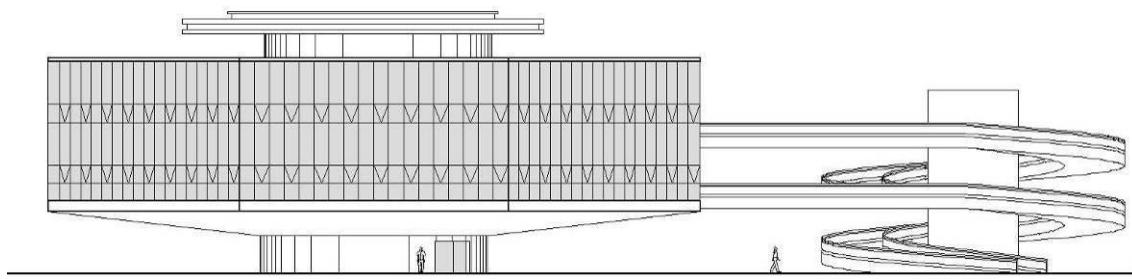


Fig. 13 – Fachada Sul

Externamente, a Torre dispõe de acesso aos dois pavimentos por uma grande rampa com desenvolvimento, na maior parte, curvo, em torno de uma torre cilíndrica, afastada 39,5 m do eixo do prédio. Extensões retas, perpendiculares a um dos lados do octógono, ligam os dois ramos da rampa aos pavimentos da Torre. Cada lanço curvo da rampa se apóia em três braços engastados na torre cilíndrica, que tem 6,0 m de diâmetro e suporta, em seu topo, uma caixa d'água para abastecimento do conjunto arquitetônico. Ao leste da torre principal encontra-se a casa de bombas e depósito, com área de 23,50 m<sup>2</sup>, com sua alvenaria de 0,20 m de espessura e acabada com pintura acrílica na cor branca sobre o concreto. Seu piso é acabado em cimentado e o teto em concreto aparente.

O Bloco do Auditório prevê capacidade para 500 pessoas, e será destinado à realização de eventos culturais variados, sem interferir em outras atividades da área, já que tem acesso independente. É uma estrutura composta por um pavimento, com diversas elevações de modo a acomodar o foyer, o palco, a platéia e demais instalações e um subsolo destinado a convenções, acessado a partir do foyer por uma rampa interna, junto à fachada Oeste do prédio. No subsolo encontram-se, ainda, espaços destinados a sanitários, depósito, instalações de ar condicionado e sala de administração.

O primeiro piso corresponde ao nível do palco e platéia. Possui área de 1.183,72 m<sup>2</sup> e abriga: copa; sanitários masculinos e femininos; cabine; foyer; hall;

camarim; palco e platéia. Possui apenas a porta de entrada como abertura para o exterior, que conta com quatro folhas de 0,85m x 2,17 m. O prédio dispõe de paredes estruturais nas quatro fachadas, sustentando a estrutura de cobertura em concreto protendido. Sua alvenaria externa possui 0,20 m de espessura e é acabada com pintura acrílica cor branca sobre base emassada, impermeabilizada. Internamente os principais materiais de acabamento utilizados foram: cimentado de alta resistência; carpete 6 mm colado e madeira para os pisos; pintura acrílica na cor branca; laminado melamínico na cor branca; carpete 6 mm colado para as paredes; gesso acartonado com pintura na cor branca, pintura acrílica na cor branca e preta para os tetos.

Em planta, o prédio possui simetria em relação ao eixo disposto na direção Norte-Sul que passa pelo centro da Torre. A largura do prédio é variável, aumentando a partir do foyer, de modo a acomodar os degraus da platéia dispostos em arcos de círculo, crescentes a medida que se elevam em relação ao nível do foyer.

O subsolo abriga o centro de convenções. Com área de 1.456,01 m<sup>2</sup> esse nível engloba: dois pátios; dois salões; central de informática; depósitos; copa; sanitários masculinos e femininos. Na fachada Sul, o nível do terreno é mais baixo que o da praça, permitindo a abertura de janelas na parede estrutural para iluminação do salão de convenções situado no subsolo. Possui os mesmos materiais de acabamento do nível, acima especificado. Comunica-se com o exterior através de 24 portas localizadas na sua porção sul, com dimensões de 0,98m x 2,15 m cada uma. Além disso, na área destinada à administração, no subsolo, foram abertos grandes vãos nas paredes laterais, para dois pátios descobertos, permitindo a iluminação deste salão e criação de acessos externos através de escadas ligando os pátios ao piso térreo.

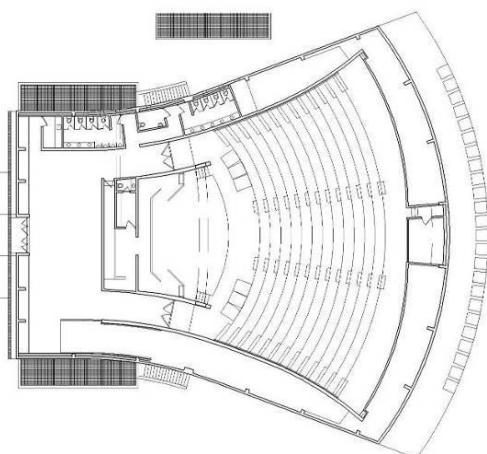


Fig. 14 – Planta Baixa Térreo Auditório

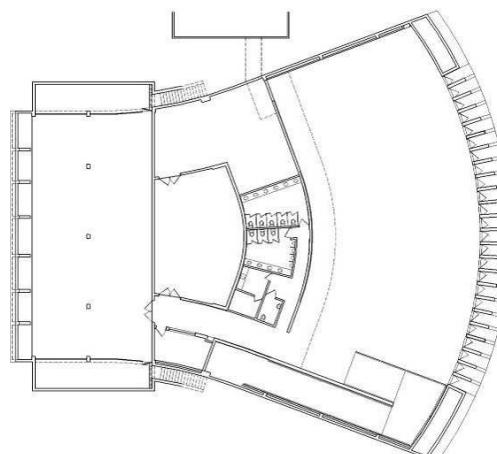


Fig. 15 – Planta Baixa Subsolo Auditório

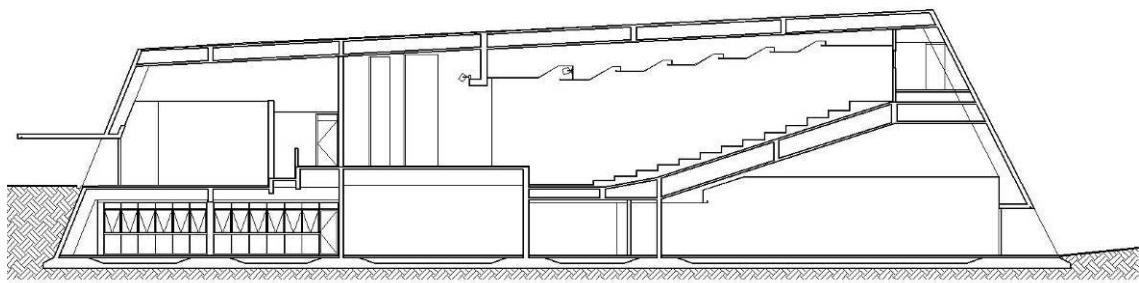


Fig. 16 – Corte Auditório

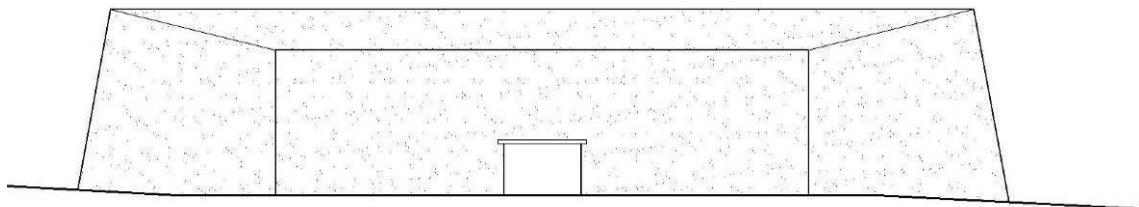


Fig. 17 – Fachada Norte Auditório

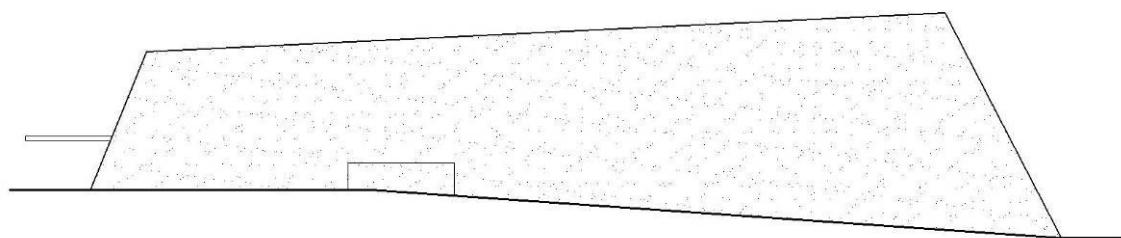


Fig. 18 – Fachada Oeste Auditório

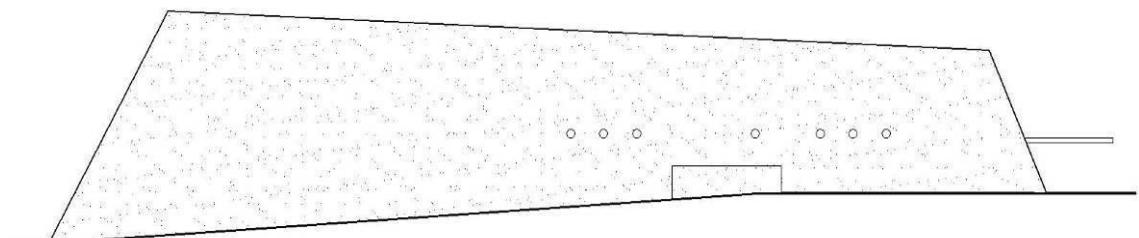


Fig. 19 – Fachada Leste Auditório

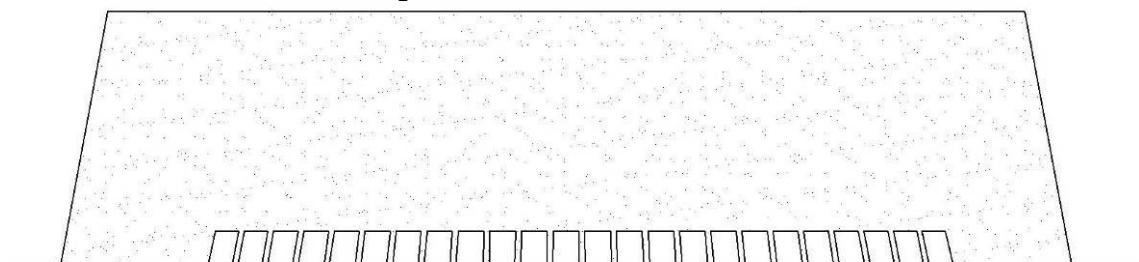


Fig. 20 – Fachada Sul Auditório

O Bloco do Anfiteatro será usado para programações em espaço aberto, e suas instalações incluem palco, camarim e banheiros. Acomoda 300 pessoas sentadas, podendo chegar ao dobro dessa capacidade com a ocupação das calçadas.

O anfiteatro é composto pela platéia, palco, camarim, sanitários masculinos e femininos, e uma circulação reservada. Sua área total é de 359,16 m<sup>2</sup> e a área do bloco de serviços, onde estão localizadas todas atividades, com exceção do palco e da platéia é de 138,57 m<sup>2</sup>. Os fechamentos em elementos vazados do bloco de Serviços e do bloco de sanitários do Anfiteatro são feitos com elementos pré-fabricados de concreto. As coberturas são em lajes de concreto armado. Os tetos rebaixados foram executados com placas de gesso acartonado, acabamento liso, espessura de 12,5 mm. Tem-se como material de revestimento nos pisos o cimentado de alta resistência, nas paredes do bloco de serviços pintura acrílica na cor branca e amarela e por fim concreto aparente nos peitoris da platéia.

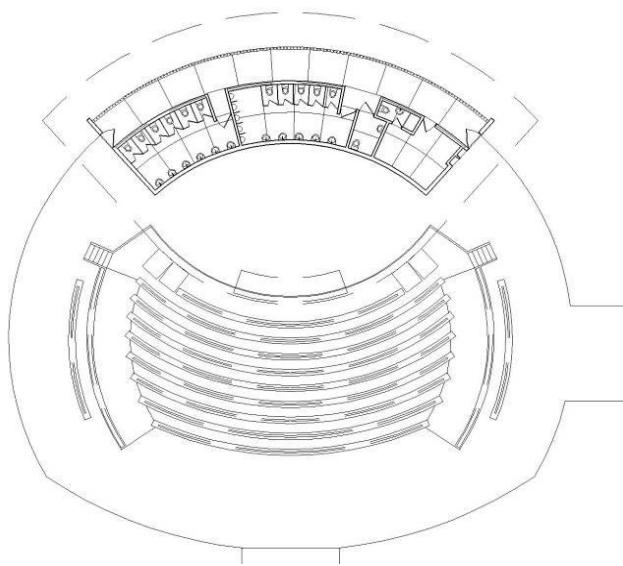


Fig. 21 – Planta Baixa Anfiteatro

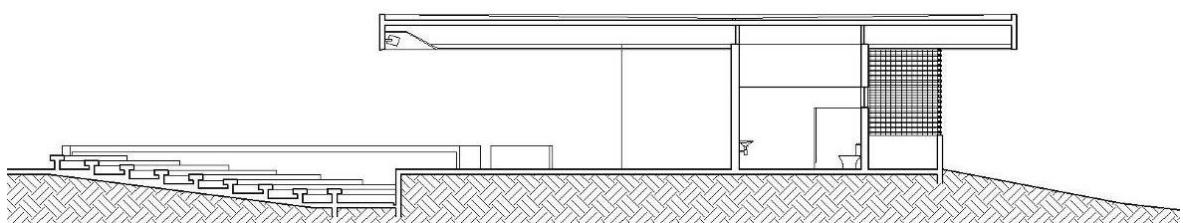


Fig. 22 – Corte Anfiteatro

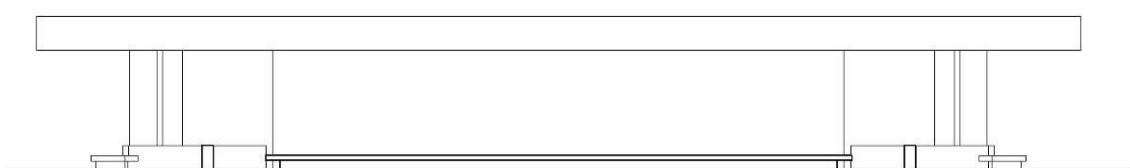


Fig. 23 – Fachada Oeste Anfiteatro

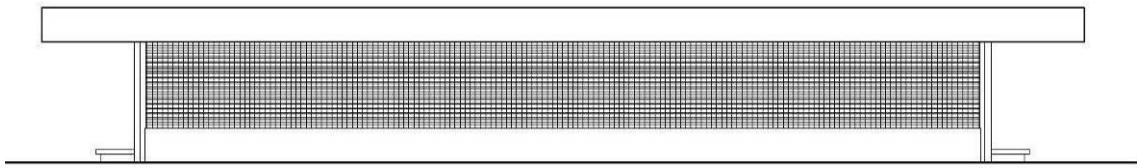


Fig. 24 – Fachada Leste Anfiteatro

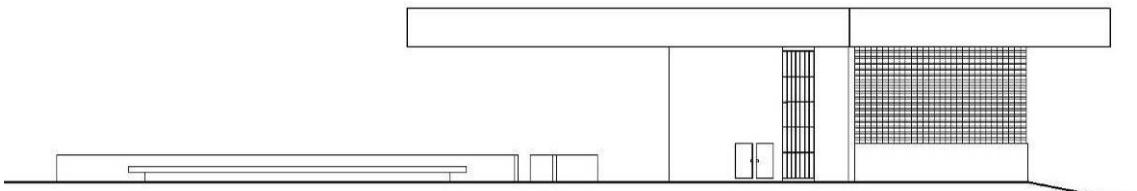


Fig. 25 – Fachada Sul Anfiteatro

O Bloco da Lanchonete é composto por: dois depósitos; lanchonete e uma loja. Possui área de 106,51 m<sup>2</sup>. Seus materiais de revestimento são: cimentado de alta resistência nos pisos, pintura acrílica na cor branca e coral sobre base emassada nas paredes e gesso acartonado com pintura acrílica na cor branca no teto.

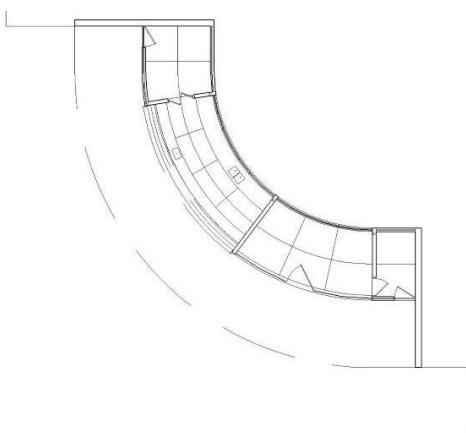


Fig. 26 – Planta Baixa Lanchonete

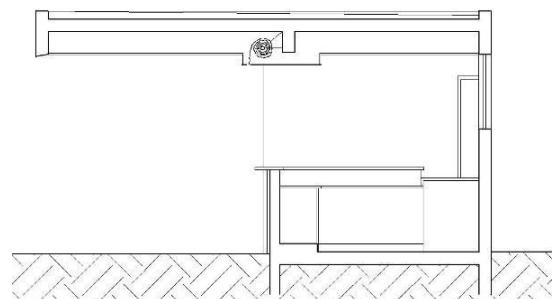


Fig. 27 – Corte Lanchonete

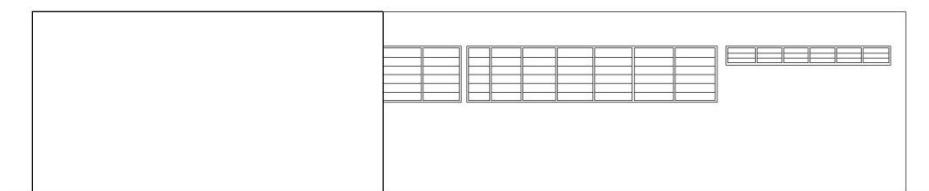


Fig. 28 – Fachada Norte Lanchonete

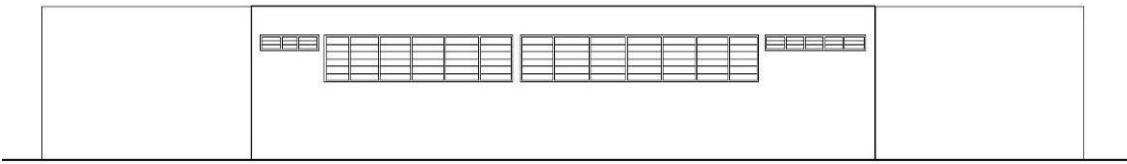


Fig. 29 – Fachada Leste Lanchonete

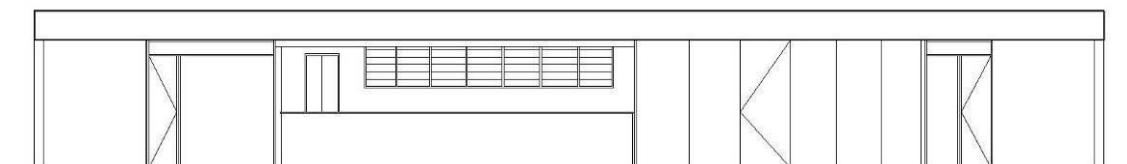


Fig. 30 – Fachada Oeste Lanchonete

### **Análise Frente à ABNT – Norma de Desempenho Térmico de Edificações.**

A Norma de Desempenho Térmico de Edificações da ABNT não possui caráter normativo e fornece orientação a partir de diretrizes a serem seguidas em cada zona bioclimática determinada pela própria norma. No entanto, o método de avaliação e apresentação das diretrizes é incompleto. Esse fato pode estar relacionado com a divisão de caráter generalizado do território brasileiro proposta pela norma, onde grandes áreas com características físicas e climáticas bem distintas fazem parte de um mesmo grupo, levando ao equívoco das recomendações e diretrizes propostas.

No geral, a norma não trata diretamente do desempenho térmico da edificação a partir da avaliação das características dos componentes construtivos, e sim recomenda limites, isoladamente, para as propriedades de transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar, além da proposição de estratégias bioclimáticas, conforme a zona em estudo. Esse método não permite a determinação ou quantificação da qualidade do conforto térmico, qualidade do ar interior ou consumo energético dos edifícios.

Todavia, a norma já está em vigor, mesmo sem cumprimento obrigatório, e mostra os primeiros passos do país no sentido da certificação termo-energética dos edifícios. Mesmo possuindo um caráter bem generalizado em suas diretrizes, a edificação tomada como objeto empírico não cumpriu com nenhuma de suas recomendações. Em relação às aberturas a norma tem como recomendação estabelecida que essas totalizem 40% da área total da fachada. No caso do conjunto em análise, a Estação Ciência, percebe-se que a única situação que tem-se aberturas

para ventilação é a torre principal (primeiro e segundo pavimentos) onde tais aberturas representam cerca de 15% da área total de cada fachada, estando dessa forma bem abaixo da recomendação da ABNT. O projeto foi concebido determinando o uso de equipamentos artificiais para condicionamento do ar e iluminação interior, desconsiderando então qualquer princípio de condicionamento térmico natural, e até mesmo o uso de aberturas para renovação do ar interior.

Outro fator, em relação às aberturas, que deve ser levado em consideração é a diretriz que infere que as aberturas deverão estar sombreadas, o que não ocorre em nenhuma parte do projeto. Nota-se ainda que nenhuma envolvente possui proteções solares, o que afeta principalmente a grande área envidraçada da torre principal. A grande área envidraçada da fachada recebe a radiação solar incidente todas as horas do dia, ganho térmico esse que se converte em calor no interior da edificação, uma vez que o vidro não apresenta características de amortecimento desses ganhos.

A ventilação cruzada permanente, recomendada pela norma, só pode ser obtida nos pavimentos envidraçados da torre principal, considerando que suas aberturas de entrada e saída do ar serão utilizadas frequentemente, o que não se pode prever com certeza, já que existe um projeto de condicionamento de ar para toda a torre. Com relação aos outros blocos inexiste a possibilidade de ventilação natural.

A sugestão do uso de estratégia de condicionamento térmico passivo existente na norma também não foi contemplada pela edificação estudada.

Em relação às propriedades de transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar a norma recomenda que a parede seja leve refletora e possua coeficiente global de transferência de calor menor ou igual a 3,60 e fator solar menor ou igual a 4,0. No caso da torre tem-se o coeficiente global de transferência de calor 5,86, e o fator solar 48, percebendo assim que nenhum valor condiz com as recomendações da norma, sendo todos muito elevados. No caso do auditório tem-se o coeficiente global de transferência de calor 3,52 e o fator solar 48, sendo então o valor do coeficiente de transmissão aprovado pela norma. No entanto, esse coeficiente diz respeito à parede de 20 centímetros em concreto que circunda todo o edifício e assim desobedecendo a característica de ser um elemento leve refletor, recomendada pela norma.

## Análise Frente ao RCCTE.

No RCCTE a avaliação do comportamento térmico dos edifícios é baseada na quantificação dos seguintes parâmetros: valores das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (Nic); das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (Nvc); das necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias (Nac); e das necessidades globais de energia primária (Ntc). Esses parâmetros são diretamente relacionados com os coeficientes de transmissão térmica da envolvente e dos vãos envidraçados, a inércia do edifício e a taxa de renovação de ar.

Os ganhos totais brutos são obtidos, adotando-se condições ambientais de referência, pela soma das parcelas das cargas individuais devidas a cada componente da envolvente pela diferença de temperatura exterior interior e da incidência da radiação solar (Q1), as cargas devidas à entrada da radiação solar através dos envidraçados (Q2), as cargas devidas à renovação de ar (Q3) e as cargas internas, devidas aos ocupantes, equipamentos e iluminação artificial (Q4). São calculados os ganhos através da envolvente opaca exterior, ganhos através dos vãos envidraçados, fator solar do envidraçado e o uso de proteções solares, quando for o caso.

Para o cálculo da necessidade de energia útil para arrefecimento considera-se a estação de verão (quatro meses). Sendo assim o somatório das perdas térmicas totais (KWh) e dos ganhos térmicos totais (KWh) deve ser multiplicado pelo fator 2,928. A necessidade bruta de arrefecimento é dada pela multiplicação dos ganhos térmicos totais pelo fator de utilização dos ganhos. A necessidade nominal de arrefecimento é a fração entre as necessidades brutas de arrefecimento e a área útil do pavimento do edifício.

No caso de estudo, a Estação Ciência, foi considerado somente a estação de arrefecimento (verão) pois o clima local não tem estação de inverno definida, sendo desnecessário o uso de sistemas de aquecimento. Segundo o RCCTE, o edifício não pode exceder um valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento. Assume as seguintes condições de referência: como condição ambiental de conforto para estação de arrefecimento – temperatura do ar de 25°C e 50% de umidade relativa; taxa de renovação do ar de 0,6 renovações por hora.

Os valores limites das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento (Nv), definidos pelo regulamento, são dependentes da zona climática do local, definido de acordo com o zoneamento do território português exposto pelo

regulamento. Não será admitido um valor limite aqui, e sim serão expostos os valores contidos no regulamento para que seja possível uma comparação com o resultado aqui obtido: Zona V1 (norte),  $Nv=16\text{ kWh/m}^2.\text{ano}$ ; Zona V1 (sul),  $Nv=22\text{ kWh/m}^2.\text{ano}$ ; Zona V2 (norte),  $Nv=18\text{ kWh/m}^2.\text{ano}$ ; Zona V2 (sul),  $Nv=32\text{ kWh/m}^2.\text{ano}$ ; Zona V3 (norte),  $Nv=26\text{ kWh/m}^2.\text{ano}$ ; Zona V3 (sul),  $Nv=32\text{ kWh/m}^2.\text{ano}$ ; Açores,  $Nv=21\text{ kWh/m}^2.\text{ano}$ ; Madeira,  $Nv=23\text{ kWh/m}^2.\text{ano}$ .

RCCTE - Folha de cálculo FCV.1g				
Necessidades Nominais de Aquecimento Nvc (Verão)	Torre 2º Pav.	Torre 1º Pav.	Aud. Platéia	Aud. Convenções
Ganhos Térmicos Totais (kWh)	258.847,61	217.039,28	161.929,52	84.085,22
Perdas Térmicas Totais (kWh)	53.004,47	47.849,02	15.294,73	5.669,31
Relação Ganhos e Perdas ( $\gamma$ )	4,883	4,535	10,587	14,831
Inércia do Edifício	1,00	1,00	1,00	1,00
Fator de Utilização dos Ganhos ( $\eta$ )	0,1952	0,2089	0,0932	0,0669
Necessidades Brutas de Arrefecimento (kWh/ano)	208.299,20	171.679,44	146.833,14	78.457,15
Área Útil de Pavimento (m <sup>2</sup> )	1.531,76	1.531,76	1.042,63	1.183,72
Necessidades Nominais de Arrefecimento – Nvc (kWh/m <sup>2</sup> .ano)*	135,99	112,08	140,83	66,28

\* Considere ano a estação de arrefecimento para cálculo, que no caso será a estação de verão (122 dias).

Tabela 29 – RCCTE - Folha de cálculo

A elevada taxa das Necessidades Nominais de Arrefecimento é consequência da não avaliação da contextualização climática da edificação. Todo o projeto foi elaborado já configurado na obtenção do conforto térmico e lumínico interior por sistemas artificiais. O uso de matérias de baixo desempenho térmico e a não utilização dos mecanismos de sombreamento e ventilação natural, aliados ao rigor climático característico da cidade conferem à edificação um péssimo desempenho térmico e um elevado consumo energético para a obtenção de condições satisfatórias em seu interior.

### Análise Frente ao RDTEE.

Para a edificação em análise tem-se que a taxa de renovação de ar recomendada pelas condições de referência do regulamento somente é obtida no bloco da torre principal (primeiro e segundo pavimentos), verificando-se a mesma

situação para as condições de iluminação natural. No entanto o bloco que poderia ser ventilado naturalmente possui um sistema de condicionamento de ar já instalado e em uso freqüente. O uso de água quente sanitária não foi previsto em nenhum dos blocos edificados.

Diferentemente dos regulamentos aplicados anteriormente, o RDTEE considerou o processo de transmissão em regime variável, buscando o melhor aproveitamento das soluções passivas para a diminuição do rigor imposto pelas condições exteriores. A velocidade de deslocamento do fluxo de calor é determinada pela resistência térmica e capacidade térmica do material, fazendo com que importantes quantidades de calor se acumulem no fechamento, aumentando assim a sua temperatura. Logo, qualquer alteração de temperatura em uma das superfícies de um fechamento não é transmitida instantaneamente à superfície oposta, refletido em um retardo térmico medido em unidades de tempo, que dependerá da condutividade térmica, calor específico, densidade absoluta e espessura do fechamento.

No verão, além das variações da temperatura do ar, o comportamento térmico de um fechamento em regime variável baseia-se também na radiação solar. Com isso, a temperatura a adotar será determinada segundo o conceito de temperatura equivalente, sendo essa a temperatura exterior que origina um processo de transmissão de calor, na superfície do fechamento, igual ao originado em condições reais, considerando a radiação solar incidente.

A partir do estudo da temperatura equivalente da cidade foram determinados coeficientes limites para o atraso térmico e amortecimento ( $\mu$ ), sabendo-se que quanto menor é  $\mu$  maior será a capacidade de amortecimento do fechamento. A capacidade de amortecimento é proporcional a calor específico, densidade absoluta e espessura do fechamento e inversamente proporcional a condutividade térmica.

Para efeito de determinação das condições limite dos valores dos coeficientes de absorção tomou-se a telha de barro como coeficiente máximo admissível para os planos horizontais ( $\alpha = 0,75$ ) e o tijolo aparente e concreto aparente como coeficiente máximo admissível para os planos verticais ( $\alpha = 0,65$ ). Considerando os materiais correntes na construção civil foi determinado o intervalo de 100 a 400 Kg/m<sup>2</sup> para a massa do fechamento por unidade de superfície. Dessa forma o limite do coeficiente de amortecimento foi estabelecido em 0,50. A partir desses dados, encontra-se no gráfico a resistência térmica total limite para o fechamento. Com o estudo do regime de temperatura externa e a partir da resistência estabelecida pelo coeficiente de amortecimento, tem-se o atraso determinado. Calcula-se então a temperatura

superficial interior máxima que não deverá ser ultrapassar o valor da temperatura equivalente média.

Para a torre principal tem-se que devido ao intenso ganho térmico da grande área envidraçada assim como os valores do amortecimento e atraso do vidro insuficientes, a edificação não atende as condições impostas por esse regulamento.

O bloco do auditório atende aos requisitos de absorção, amortecimento e atraso, no entanto não faz uso de mecanismos naturais de iluminação ou ventilação. As propriedades térmicas da envolvente teriam condições de propiciar um bom desempenhos, mas a massa edificada mantém armazenado em seu interior boa parte do calor ganho durante o dia, devido a ausência de aberturas para que a ventilação noturna retire esse calor, e mantenha a temperatura interna em equilíbrio com a externa nos horários de menor rigor climático.

#### **Análise do Consumo – Iluminação Artificial e Condicionamento de Ar.**

A análise do consumo energético da edificação foi feita com base no estudo do projeto e do memorial descritivo do sistema de condicionamento do ar e do sistema de instalações elétricas.

Atualmente o complexo Estação Ciência , Cultura e Arte funciona de terça-feira a sexta-feira das 08 horas às 17 horas e nos sábados e domingos das 13 horas às 17 horas, permanecendo fechado às segundas-feiras. De acordo com esses dados, foram levantados os componentes dos sistemas artificiais de iluminação e condicionamento de ar e calculados seus consumos nas 44 horas de funcionamento semanal. Além disso, a iluminação geral e da torre principal permanece ligada durante toda a noite, todos os dias da semana, totalizando 70 horas semanais de iluminação noturna.

<b>Sistema Elétrico e de Iluminação Artificial – Consumo Semanal (44 horas)</b>	
Torre	4.884,66 kWh
Auditório	2.797,96 kWh
Anfiteatro	227,83 kWh
Lanchonete	198,52 kWh
Lojas	45,40 kWh
Gerais	552,81 kWh
Iluminação Noturna (70 horas semanais)	8.650,53 kWh
Total – consumo semanal	<b>17.357,71 kWh</b>

Tabela 30 – Sistema Elétrico e de Iluminação Artificial

<b>Sistema de Condicionamento de Ar – Consumo Semanal (44 horas)</b>	
Torre	1.309,88 kWh
Auditório	7.813,96 kWh
Total	<b>9.123,84 kWh</b>

Tabela 31 – Sistema de Condicionamento de Ar

Com base nos dados apresentados e considerando a situação de pleno funcionamento dos equipamentos pode-se concluir que o complexo apresenta um consumo mensal em torno de 105.926,20 KWh, que transformado em Reais R\$57.200,00, valor que aparenta ser bem elevado.

Pode-se afirmar que a descontextualização da arquitetura ao clima é um fator de importante influência na manutenção energética de um edifício em sua vida útil. Mesmo que o uso do edifício exija sistemas artificiais de climatização e iluminação, o uso de elementos arquitetônicos para a proteção solar, bem como a correta orientação do edifício em relação aos ventos dominantes e à radiação solar incidente, determina uma redução do consumo energético necessário para o funcionamento de tais sistemas artificiais.

A aplicação dos regulamentos à Estação Ciência mostra os aspectos arquitetônicos que não foram considerados em seu projeto, tendo como consequência um alto custo de manutenção para o pleno funcionamento da edificação, que jamais atingirá uma temperatura interna confortável sem os sistemas artificiais de condicionamento.

---

## **CONCLUSÃO**

A inserção de uma normativa para regulamentação energética e de desempenho das edificações é um dos mecanismos mais eficientes para a implantação de incentivos de uso de técnicas passivas, caracterizando as componentes térmicas relacionadas com os aspectos construtivos, diminuindo a solicitação de tecnologias ou sistemas artificiais de condicionamento e iluminação. A princípio o regulamento proposto buscou uma forma simplificada de proporcionar aos projetistas instrumentos e diretrizes a serem implantadas na fase inicial de um projeto ou em intervenções em edificações já existentes. Esse primeiro estudo tende a sofrer modificações a partir de uma análise mais detalhada e de um conjunto de aplicação em diferentes sistemas e tipologias construtivas. Um aspecto muito importante diz respeito ao banco de dados climáticos. A maioria das cidades brasileiras não possuem um banco de dados consistente e completo, o que dificulta bastante a análise climatológica e diminui a precisão dos cálculos a serem realizados.

Buscou-se a aproximação do regime térmico real, a partir do uso da variação de temperatura quando foi percebido que assumir um regime permanente impossibilitaria a alternativa de utilizar-se de sistemas passivos para a obtenção do conforto térmico no interior dos ambientes edificados na cidade de João Pessoa. A partir das recomendações e condições de referência estabelecidas pelo regulamento, o projetista possui mecanismos para a adequação climática do ambiente construído, uma vez que os coeficientes utilizados nas diretrizes já possuem seus valores definidos por testes laboratoriais e disponíveis nas Normas Técnicas Brasileiras.

A implantação de qualquer regulamento requer aprimoramentos constantes e incentivos para sua inserção. O estudo da implantação desses mecanismos em diferentes países já mostra resultados e prova também que é perfeitamente possível aliar o desempenho térmico e adequação ao clima em diferentes tipologias de edificação. As características do clima de João Pessoa, com suas baixas amplitudes térmicas anuais, propicia que o estabelecimento de soluções para a estação de verão garanta a qualidade térmica interior durante o ano inteiro.

A aplicação dos regulamento na Estação Ciência, Cultura e Artes mostrou que a inserção da arquitetura descontextualizada das condições climáticas locais reflete diretamente num custo muito alto para manter as condições de conforto em seu interior.

---

## **REFERÊNCIAS**

ACHÃO, Carla da Costa Lopes. Análise da Estrutura de Consumo de Energia pelo Setor Residencial Brasileiro. Programas de Pós-Graduação de Engenharia - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ, 2003. (Dissertação de Mestrado em Ciências em Planejamento Energético)

ADENE - Agência para a Energia. FORUM “Energias Renováveis em Portugal”- Relatório Síntese. ADENE / INETI. Lisboa, 2001.

AGÊNCIA MUNICIPAL DE ENERGIA DE SINTRA. Plano Energético de Sintra. Câmara Municipal de Sintra e Universidade Católica Portuguesa – Faculdade de Engenharia. Lisboa, 2004.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica. ANEEL, Brasília, 2002.

AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE E DIRECÇÃO-GERAL DA SAÚDE. Projecto de Plano Nacional de Acção Ambiente e Saúde. Agência Portuguesa do Ambiente. Lisboa, 2007.

AKUTSU, M. Método para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – FAUUSP. São Paulo, 1998. (Tese de Doutorado em Arquitetura)

AKUTSU e VITTORINO Aplicação de isolantes térmicos em edificações: efeito no conforto térmico e nas cargas térmicas de condicionamento de ambientes. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC, 1º, Gramado, 1990.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). Handbook of Fundamentals. ASHRAE. Atlanta, 1997.

APOSTILA ERGONOMIA EM AMBIENTES FÍSICOS. 3º Curso de Especialização em Ergonomia. Disciplina de Ergonomia em Ambientes Físicos. Centro de Artes e Comunicação. Departamento de Pós Graduação. Latusenso. dDesign. UFPE. Pernambuco, 2004.

ARCHIBALD, J. M. Manual de instalações hidráulicas e sanitárias. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro: 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). NBR 6401 - Instalações Centrais de ar-condicionado para conforto – parâmetros básicos de projeto. ABNT. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). NBR 5413 – Iluminância de Interiores – Especificação. ABNT. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). NBR 7198 – Projeto e Execução de Instalações Prediais de Água Quente. ABNT. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). NBR 15220 - Desempenho Térmico de Edificações. ABNT. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). PNBR 02:136.01: Desempenho de Edifícios Habitacionais de Até Cinco Pavimentos. ABNT. Rio de Janeiro, 2004.

BARBOSA, Miriam Jerônimo. Uma Metodologia para Especificar e Avaliar o Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - Universidade Federal De Santa Catarina. Florianópolis – SC, 1997. (Tese de Doutorado em Engenharia)

BELO, Domingos Beirão. Comportamento Térmico de um Grande Átrio Periférico Envidraçado de um Edifício de Serviços. Projectos de Termodinâmica Aplicada - Instituto Superior Técnico. Lisboa, 2002.

BEN: Balanço energético nacional. Ministério das Minas e Energia. 2000. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/sem>

BERALDO, Juliano Coronato. Eficiência Energética em Edifícios: avaliação de uma proposta de regulamento de desempenho térmico para a arquitetura do estado de São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - Universidade de São Paulo. São Paulo – SP, 2006. (Dissertação de Mestrado em Arquitetura)

BOHN, A. R. Instalação Predial de Água Quente. UFSC. Florianópolis, 2002.

BOREL, J. Le Confort Thermique en Climat Chaud. Tours professé à la Omega, 1972.

BROWN, G.Z. DE KAY, Mark. Sol, Vento & Luz. Estratégias para o Projeto de Arquitetura. Ed. Bookman. Porto Alegre, 2004.

BUENO, Carolina Lotufo. A Influência da Vegetação no Conforto Térmico Urbano e no Ambiente Construído. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp, 2003. (Tese de Doutorado).

CARDOSO, José Carlos Mendes. Estratégias Visando Eficiência Energética e Conforto Térmico Incorporados aos Projetos de Edificações Residenciais em Maringá – PR. Universidade Federal De Santa Catarina - Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Civil. Florianópolis, 2002. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil)

CASALS, Xavier García. Analysis of Building Energy Regulation and Certification in Europe: Their Role, Limitations and Differences. Science Direct – Energy and Buildings. 2006.

CASTRO, Larissa Lemos Fonseca de Lima e. Estudo de Parâmetros de Conforto Térmico em Áreas Verdes Inseridas no Ambiente Urbano. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp, 1999. (Dissertação de Mestrado).

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT – CSTB. REEF 58. Hygrothermique et Ventilation (D5). CSTB. Paris, 1958.

CEPINHA, Eloísa Isabel Fernandes. A Certificação Energética de Edifícios como Estratégia Empresarial do Sector da Construção: análise à escala nacional. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa. Portugal, 2007. (Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente)

CHVATAL, Karin Maria Soares. Relação Entre o Nível de Isolamento Térmico da Envolvente dos Edifícios e o Potencial de Sobreaquecimento no Verão. Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto. Porto, 2007. (Tese de Doutorado em Engenharia Civil)

COSTA, Ennio C.da. Arquitetura Ecológica – Condicionamento Térmico Natural. Ed. Edgard Blucher LTDA. São Paulo, 1982.

COSTA, Ennio C.da. Física Aplicada à Construção: Conforto Térmico. Ed. Edgard Blucher LTDA. São Paulo, 2003.

COUTINHO, A.S. Conforto e Insalubridade Térmica em Ambientes de Trabalho. Editora Universitária. UFPB. João Pessoa, 1998.

CROISET , M. L`higrothermique dans le batiment . Eyroles. Paris, I972  
ENGINEERS. ASHRAE 55/1998: thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 1998.

ESPAÑA, MINISTERIO DE ECONOMÍA. Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energetica en España 2004-2012. Docuemento de Trabajo - Secretaría de Estado de Energía, Desarrollo Industrial y de la pequeña y mediana empresa. España, 2003.

FROTA, Anésia B. Geometria da Insolação. Ed.Geros. São Paulo, 2004.

FROTA, Anésia B. SCHIFFER, Sueli R. Manual de Conforto Térmico. Studio Nobel. São Paulo, 2001

GELLER, H.; JANUZZI, G. M.; SCHAEFFER, R.; TOLMASQUIM, M. T. The efficient use of electricity in Brasil: progress and oportunities. ACEEE. Washington, May. 1997.

GHISI, E.; LAMBERTS, R. Desenvolvimento de uma metodologia para retrofits em sistemas de iluminação. VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Florianópolis. 1998. Artigo Técnico. p. 401-409. v. 1.

GIGLIO, Thalita Gorban Ferreira; BARBOSA, Miriam Jerônimo. Aplicação de Métodos de Avaliação do Desempenho Térmico para Analisar Painéis de Vedações em Madeira. Ambiente Construído, v. 6, n. 3, p. 91-103, jul./set. 2006. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre, 2006.

GIVONI, B.; (1992). Comfort, climate analysis and building design guidelines. Energy and Building, n.18, pp.11-23.

GOMES, R.J. Condicionamento climático da envolvente dos edifícios para habitação. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, 1962.

GOULART, Solange V. G; LAMBERTS, Roberto; FIRMINO, Samanta. Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras. Núcleo de Pesquisa em Construção – UFSC. Florianópolis – SC, 1998.

GUGLIELMETTI, Ana Helena Guiguer. A Legislação Energética como Ferramenta de Redução do Consumo de Energia em Edifícios: os impactos para a cidade de São Paulo. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia – PIPGE. Universidade de São Paulo – USP. São Paulo – SP, 2002. (Dissertação de Mestrado em Energia)

JANNUZZI, Gilberto de Martino. Políticas Públicas para Eficiência Energética e Energia Renovável no Novo Contexto de Mercado: uma análise da experiência recente dos EUA e do Brasil. FAPESP – Editora Autores Associados. Campinas - São Paulo, 2000.

KOENIGSBERGER, O. H., et al. Manual of tropical housing and building. London: Longman. 1974. v p.

LAMBERTS, R.; GUISI, E.; RORIZ, M.; PEREIRA, F. O. R.; SOUZA, M. C.; (2003). Normalização em conforto ambiental: desempenho térmico, lumínico e acústico de edificações. In: Normalização e Certificação na Construção Habitacional. Coletânea HABITARE – Vol.3, ANTAC, 2003. Porto Alegre, Brasil.

LAMBERTS, R.; GUISI, E.; PAPST, A., L.; (2000). Desempenho térmico de edificações. Laboratório de Eficiência Energética de Edificações – Labeee. Núcleo de Pesquisa em Construção. Departamento de Engenharia Civil. UFSC. Florianópolis, Brasil.

LAMBERTS, R. PEREIRA, F. O. R. SOUZA, M. C. R. GHISI, E. Normalização em conforto ambiental. Programa HABITARE. FINEP, ANTAC, PCC USP. São Paulo, 1998.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, F. O. R. Eficiência energética na arquitetura. São Paulo: PW Editores, 1997.

LANHAM, Ana; GAMA, Pedro; BRAZ, Renato Arquitectura Bioclimática: perspectivas de inovação e futuro. Seminários de Inovação. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2004.

LIM, B. B. P. Energy conservation in buildings and the indoor environment A Review. Architectural Science Review, v. 26, n. 1, p. 6-12, 1983.

MARTINEZ, Francisco Xavier Rey; GÒMEZ, Eloy Velasco. Eficiencia Energética em Edificios: Certificación y Auditorias Energéticas. Thomson Editores Spain-Paraninfo, AS. Madrid, 2006.

MASCARÓ, J.L.; MASCARÓ, L.R. Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios. Sagra-DC Luzzatto., Porto Alegre, 1992.

MASCARÓ, L.R. de. Energia na Edificação: Estratégia para Minimizar o seu Consumo. Projeto, São Paulo, 1991.

Avaliação do Desempenho Térmico de Habitações Sociais de Passo Fundo – RS. Universidade de Passo Fundo - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA. Passo Fundo – RS, 2006. (Dissertação de Mestrado em Infra-estrutura e Meio Ambiente)

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. Eficiência Energética nos Edifícios. Direcção Geral de Energia. Portugal, 2002.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA E DA INOVAÇÃO. Decreto-Lei n.o 78/2006 de 4 de Abril de 2006. DIÁRIO DA REPÚBLICA—I SÉRIE-A 2411. Portugal, 2006.

MINISTERIO DE ECONOMÍA. Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética 2004-2012. Secretaría de Estado de Energía, Desarrollo Industrial y de la Pequeña y Mediana Empresa. España, 2003.

MINISTERIO DE VIVIENDA. Código Técnico de la Edificación – CTE 2006.

MINISTERIO DE VIVIENDA. Documento Básico HE Ahorro de energía. 2007.

MÍGUEZ, J.L.; PORTEIRO, J.; LÓPEZ – GONZÁLEZ, L.M.; VICUNA, J.E.; MURILLO, S.; MORÁN, J.C.; GRANADA, E. Review of the Energy Rating of Dwellings in the European Union as a Mechanism for Sustainable Energy. Science Direct – Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2006.

OLGYAY, V. Design with climate – bioclimatic approach to architectural regionalism. Princeton University Press, Princeton, New Jersey – USA, 1963.

OLIVEIRA, Alexandre Gomes de. Proposta de Método para Avaliação do Desempenho Térmico de Residências Unifamiliares em Clima Quente-Úmido. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal – RN, 2006. (Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)

PAPST, A., L.; (1999). Uso de inércia térmica no clima subtropical: Estudo de caso em Florianópolis – SC. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Brasil.

PAULA, Roberta Zakia Rigitano de. A Influência da Vegetação no Conforto Térmico do Ambiente Construído. Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas – SP, 2004. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, área de concentração em Edificações)

PÉREZ, Cayetano Gutiérrez. Consumo Sostenible: Ahorro y Eficiencia Energética. III Jornadas Andaluzas De La Asociación Española De Educación Ambiental. Granada, 2007.

PUPPO, E. PUPPO, O. Acondicionamento Natural y Arquitectura. Ecología en Arquitectura. Marcombo – Boixareu. Barcelona, 1979.

QUEIROGA, Silvana C. C. de. Verificação da Eficiência do Dimensionamento de Aberturas para Ventilação Natural, nos Bairros Cabo Branco e Tambaú, na Cidade de João Pessoa/PB. UFPB, João Pessoa, 2005. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Urbana).

RIVERO, Roberto. Arquitetura e Clima – Acondicionamento Térmico Natural. Editora da Universidade, UFRGS. Rio Grande do Sul, 1985.

ROMERO, M. de Andrade. Legislação energética em edifícios: a análise do caso de Portugal. In: Cadernos Técnicos AUT n. 5. São Paulo: FAU, 1998.

RUAS, Álvaro César. Avaliação de Conforto Térmico: Contribuição à aplicação prática das normas internacionais. Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil -Universidade Estadual de Campinas. Campinas – SP, 2001. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil)

SANTAMOURIS, M. Ed., Energy and climate in the urban environment. James & James, Londres, 2001SIQUEIRA, Tulio Cesar Pessotto Alves, AKUTSU, Maria, LOPES, Jarbas Ibraim Esperidião et al. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. Rem: Rev. Esc. Minas, Apr./June 2005, vol.58, no.2, p.133-138. ISSN 0370-4467.

SANTOS, Robson Ribeiro Rangel dos. Análise dos Vínculos entre os Certificados Verdes e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: a perspectiva de aplicação de certificados verdes no Brasil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ, 2005. (Dissertação de Mestrado em Ciências em Planejamento Energético)

SANTOS, R. F. dos. A Arquitetura e a Eficiência nos Usos Finais da Energia para o Conforto Ambiental. USP, São Paulo, 2002. (Dissertação, Mestrado em Energia).

SARAIVA, J. G. A Simplified Model to Estimate Natural Ventilation Flows for Simple Dwelling Layouts. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, 1999.

SHALDERS NETO, Armando. Regulamentação de Desempenho Térmico e Energético em Edificações. USP, São Paulo, 2003. (Dissertação de Mestrado em Energia).

SILVA, F. de A. G. da. O Vento como Ferramenta no Desenho do Ambiente Construído: uma Aplicação ao Nordeste do Brasil. FAUUSP, São Paulo, 1999. (Tese, Doutorado em Arquitetura.).

SOUSA, Tiago A.; PREGITZER, Ricardo L.; MARTINS, Júlio S.; AFONSO, João L. Estudo do Panorama das Energias Renováveis na União Europeia e Sugestões para Portugal. ENER'05 – Conferência sobre Energias Renováveis e Ambiente em Portugal. Figueira da Foz – Portugal, 2005.

UNIÃO EUROPEIA. 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 Européias.

YOSHIDA, Rosana. Das Normas em Conforto Térmico ao Projecto de Arquitectura: Estudo de Caso para Edifícios de Habitação - Zona Bioclimática Brasileira Z3 – Brasil. Universidade Técnica De Lisboa - Faculdade de Arquitectura. Lisboa, 2006. (Dissertação de Mestrado em Arquitetura Bioclimática)

VILA, Ramón Velázquez; DOMÍNGUEZ, Servando Álvarez; FÉLIX, José L. Molina. Situación Actual de la Normativa Energética Española en Edificación Relacionada con la Directiva 2002/91/CE. Escuela Superior de Ingenieros, Camino de los Descubrimientos. Sevilla – España, 2005.

## APÊNDICE 01

<b>Torre Principal - Subsolo</b>						
	F. Norte	F. Sul	F. Leste	F. Oeste	Coberta	Piso
Perímetro	11.78 m	11.78 m	11.78 m	11.78 m	47.12 m	47.12 m
Altura	3.28 m	3.28 m	3.28 m	3.28 m	-	-
Área	38.64 m <sup>2</sup>	38.64 m <sup>2</sup>	38.64 m <sup>2</sup>	38.64 m <sup>2</sup>	176.71 m <sup>2</sup>	176.71 m <sup>2</sup>
Espessura	0.50 m	0.50 m	0.50 m	0.50 m	0.17 m	0,20 m
Material	concreto	concreto	concreto	concreto	concreto	concreto
Revestimento externo	-	-	-	-	-	-
Revestimento interno	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	concreto aparente	cimentado de alta resistência
Abertura	-	-	-	-	-	-
Material Abert.	-	-	-	-	-	-

<b>Torre Principal - Térreo</b>						
	F. Norte	F. Sul	F. Leste	F. Oeste	Coberta	Piso
Perímetro	11.78 m	11.78 m	11.78 m	11.78 m	47.12 m	47.12 m
Altura	4.88 m	4.88 m	4.88 m	4.88 m	-	-
Área	57.48 m <sup>2</sup>	57.48 m <sup>2</sup>	57.48 m <sup>2</sup>	57.48 m <sup>2</sup>	176.71 m <sup>2</sup>	176.71 m <sup>2</sup>
Espessura	0.50 m	0.50 m	0.50 m	0.50 m	0.17 m	0.17 m
Material	concreto	concreto	concreto	concreto	concreto	concreto
Revestimento externo	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	-	-
Revestimento interno	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	forro (3.50m) de gesso acartonado com pintura branca	cimentado de alta resistência
Abertura	-	6.55 m <sup>2</sup>	-	-	-	-
Material Abert.	-	Vidro temperado	-	-	-	-

Torre Principal - Primeiro Pavimento						
	F. Norte	F. Sul	F. Leste	F. Oeste	Coberta	Piso
Perímetro	35.62 m	35.62 m	35.62 m	35.62 m	142.49 m	142.49 m
Altura	3.85 m	3.85 m	3.85 m	3.85 m	-	-
Área	137.14m <sup>2</sup>	137.14m <sup>2</sup>	137.14m <sup>2</sup>	137.14m <sup>2</sup>	1531.76m <sup>2</sup>	1531.76m <sup>2</sup>
Espessura	0.01 m	0.01 m	0.01 m	0.01 m	0.17 m	0.17 m
Material	vidro laminado refletivo prata	vidro laminado refletivo prata	vidro laminado refletivo prata	vidro laminado refletivo prata	concreto	concreto
Revestimento externo	-	-	-	-	-	-
Revestimento interno	-	-	-	-	forro (3.50m) de gesso acartonado com pintura branca	cimentado de alta resistência
Abertura	21.37 m <sup>2</sup>	24.12 m <sup>2</sup>	24.12 m <sup>2</sup>	21.37 m <sup>2</sup>	-	-
Material Abert.	vidro laminado refletivo prata	vidro laminado refletivo prata	vidro laminado refletivo prata	vidro laminado refletivo prata	-	-

Torre Principal - Segundo Pavimento						
	F. Norte	F. Sul	F. Leste	F. Oeste	Coberta	Piso
Perímetro	35.62 m	35.62 m	35.62 m	35.62 m	142.49 m	142.49 m
Altura	3.85 m	3.85 m	3.85 m	3.85 m	-	-
Área	137.14m <sup>2</sup>	137.14m <sup>2</sup>	137.14m <sup>2</sup>	137.14m <sup>2</sup>	1531.76m <sup>2</sup>	1531.76m <sup>2</sup>
Espessura	0.01 m	0.01 m	0.01 m	0.01 m	0.17 m	0.17 m
Material	vidro laminado refletivo prata	vidro laminado refletivo prata	vidro laminado refletivo prata	vidro laminado refletivo prata	concreto	concreto
Revestimento externo	-	-	-	-	-	-
Revestimento interno	-	-	-	-	forro (3.50m) de gesso acartonado com pintura branca	cimentado de alta resistência
Abertura	21.37 m <sup>2</sup>	24.12 m <sup>2</sup>	24.12 m <sup>2</sup>	21.37 m <sup>2</sup>	-	-
Material Abert.	vidro laminado refletivo prata	vidro laminado refletivo prata	vidro laminado refletivo prata	vidro laminado refletivo prata	-	-

Torre Principal - Terceiro Pavimento						
	F. Norte	F. Sul	F. Leste	F. Oeste	Coberta	Piso
Perímetro	11.78 m	11.78 m	11.78 m	11.78 m	74.77 m	47.12 m
Altura	2.50 m	2.50 m	2.50 m	2.50 m	-	-
Área	29.45 m <sup>2</sup>	29.45 m <sup>2</sup>	29.45 m <sup>2</sup>	29.45 m <sup>2</sup>	444.88 m <sup>2</sup>	176.71 m <sup>2</sup>
Espessura	0.50 m	0.50 m	0.50 m	0.50 m	0.17 m	0.18 m
Material	concreto	concreto	concreto	concreto	concreto	concreto
Revestimento externo	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	impermeabilização	-
Revestimento interno	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	forro (2.40m) de gesso acartonado com pintura branca	cimentado de alta resistência
Abertura	1.47 m <sup>2</sup>	-	4.20 m <sup>2</sup>	4.20 m <sup>2</sup>	-	-

Torre Principal - Pavimento Técnico						
	F. Norte	F. Sul	F. Leste	F. Oeste	Coberta	Piso
Perímetro	18.06 m	18.06 m	18.06 m	18.06 m	55.92 m	72.25 m
Altura	1.13 m	1.13 m	1.13 m	1.13 m	-	-
Área	20.40 m <sup>2</sup>	20.40 m <sup>2</sup>	20.40 m <sup>2</sup>	20.40 m <sup>2</sup>	248.84 m <sup>2</sup>	415.47 m <sup>2</sup>
Espessura	0.25 m	0.25 m	0.25 m	0.25 m	0.15 m	0.17 m
Material	concreto	concreto	concreto	concreto	concreto	concreto
Revestimento externo	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	impermeabilização	-
Revestimento interno	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	Concreto aparente	cimentado de alta resistência
Abertura	-	-	-	-	-	-

Auditório - Nível Platéia						
	F. Norte	F. Sul	F. Leste	F. Oeste	Coberta	Piso
Perímetro	23.60 m	42.80 m	36.03 m	36.03 m	128.20 m	138.47 m
Altura	6.95 m	4,50 m	6,74 m	6,74 m	-	-
Área	164.02 m <sup>2</sup>	192,60	242,84 m <sup>3</sup>	242,84 m <sup>3</sup>	1042.63 m <sup>2</sup>	1183.72 m <sup>2</sup>
Espessura	0.20 m	0.20 m	0.20m	0.20 m	0.10/ 0.60/ 0.10	0.17
Material	concreto	concreto	concreto	concreto	concreto	concreto
Revestimento externo	pintura impermeável branca	pintura impermeável branca	pintura impermeável branca	pintura impermeável branca	impermeabilização	-
Revestimento interno	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	forro de gesso acartonado com pintura branca	cimentado de alta resistência
Abertura	7.38 m <sup>2</sup>	-	0.875 m <sup>2</sup>	-	-	-
Material Abert.	?	-	-	-	-	-

Auditório - Nível Convenções						
	F. Norte	F. Sul	F. Leste	F. Oeste	Coberta	Piso
Perímetro	32.31 m	45.39 m	41.59 m	41.59 m	138.47 m	160.89 m
Altura	0,00 m	6,23 m	2,20 m	2,20 m	-	-
Área	0,00 m <sup>2</sup>	282,78 m <sup>2</sup>	91,56 m <sup>2</sup>	91,56 m <sup>2</sup>	1183.72 m <sup>2</sup>	1456.01 m <sup>2</sup>
Espessura	0.20 m	0.20 m	0.20m	0.20 m	0.10/ 0.80/ 0.10	0.60
Material	concreto	concreto	concreto	concreto	concreto	concreto
Revestimento externo	pintura impermeável branca	pintura impermeável branca	pintura impermeável branca	pintura impermeável branca	impermeabilização	-
Revestimento interno	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	pintura acrílica branca	forro de gesso acartonado com pintura branca	cimentado de alta resistência
Abertura	-	50,56 m <sup>2</sup>	-	-	-	-
Material Abert.	-	vidro	-	-	-	-

Anfiteatro						
	F. Norte	F. Sul	F. Leste	F. Oeste	Coberta	Piso
Perímetro	6.08 m	6.08 m	27.20 m	12.27 m	74.05 m	104.62 m
Altura	4.20 m	4.20 m	4.20 m	4.20 m	-	-
Área	25.54 m <sup>2</sup>		114.24 m <sup>2</sup>	51.53 m <sup>2</sup>	370.19 m <sup>2</sup>	855.78 m <sup>2</sup>
Espessura	0.23 m	0.23 m	0.23 m	0.23 m	0.15 m	0.15 m
Material	concreto	concreto	concreto	concreto	concreto	concreto
Revestimento externo	pintura acrílica verde	pintura acrílica verde	cobogó concreto aparente	pintura acrílica verde	impermeabilização	-
Revestimento interno	pintura acrílica verde	pintura acrílica verde	cobogó concreto aparente	pintura acrílica verde	forro de gesso acartonado com pintura branca	cimentado de alta resistência
Abertura					-	-
Material Abert.					-	-

## APÊNDICE 02

### Cálculos das Propriedades Térmicas da Edificação

#### Torre – Segundo Pavimento

	Fac. Norte	Fac. Sul	Fac. Leste	Fac. Oeste	Coberta
<b>K<sub>op</sub> (W/m<sup>2</sup>C)</b>	-	-	-	-	1,62
<b>K<sub>tr</sub> (W/m<sup>2</sup>C)</b>	5,86	5,86	5,86	5,86	-
<b>R<sub>op</sub> (m<sup>2</sup>C/W)</b>	-	-	-	-	0,61
<b>R<sub>tr</sub> (m<sup>2</sup>C/W)</b>	0,17	0,17	0,17	0,17	-
<b>Q<sub>op</sub> (W)</b>	-	-	-	-	19,56 lg
<b>S<sub>op</sub></b>	-	-	-	-	0,018
<b>Q<sub>tr</sub> (W)</b>	65,82 lg	65,82 lg	65,82 lg	65,82 lg	-
<b>Str</b>	0,48	0,48	0,48	0,48	-
<b>Q<sub>ocup</sub> (W)</b>	2250				
<b>Q'<sub>op</sub> (W)</b>	-	-	-	-	1760,74 ΔT
<b>Q'<sub>tr</sub> (W)</b>	803,64 ΔT	803,64 ΔT	803,64 ΔT	803,64 ΔT	-
<b>Q'<sub>vent</sub> (W)</b>	13127,32 ΔT				
<b>Total Ganhos</b>	88.404,24				
<b>Total Perdas</b>	18.102,62 ΔT				
<b>ΔT (°C)</b>	4,88				
<b>Inércia</b>	Muito fraca				
<b>μ</b>	0,4				
<b>timax (°C)</b>	31,7				

#### Torre – Primeiro Pavimento

	Fac. Norte	Fac. Sul	Fac. Leste	Fac. Oeste	Coberta
<b>K<sub>op</sub> (W/m<sup>2</sup>C)</b>	-	-	-	-	-
<b>K<sub>tr</sub> (W/m<sup>2</sup>C)</b>	5,86	5,86	5,86	5,86	-
<b>R<sub>op</sub> (m<sup>2</sup>C/W)</b>	-	-	-	-	-
<b>R<sub>tr</sub> (m<sup>2</sup>C/W)</b>	0,17	0,17	0,17	0,17	-
<b>Q<sub>op</sub> (W)</b>	-	-	-	-	-
<b>S<sub>op</sub></b>	-	-	-	-	-
<b>Q<sub>tr</sub> (W)</b>	65,82 lg	65,82 lg	65,82 lg	65,82 lg	-
<b>Str</b>	0,48	0,48	0,48	0,48	-
<b>Q<sub>ocup</sub> (W)</b>	2250				
<b>Q'<sub>op</sub> (W)</b>	-	-	-	-	-
<b>Q'<sub>tr</sub> (W)</b>	803,64 ΔT	803,64 ΔT	803,64 ΔT	803,64 ΔT	-
<b>Q'<sub>vent</sub> (W)</b>	13127,32 ΔT				
<b>Total Ganhos</b>	74.125,44				
<b>Total Perdas</b>	16.341,88 ΔT				
<b>ΔT</b>	4,54				
<b>Inércia</b>	Muito fraca				
<b>μ</b>	0,4				
<b>timax (°C)</b>	31,5				

Auditório – Nível Platéia					
	Fac. Norte	Fac. Sul	Fac. Leste	Fac. Oeste	Coberta
<b>Kop (W/m<sup>2</sup>C)</b>	3,52	3,52	3,52	3,52	2,12
<b>Ktr (W/m<sup>2</sup>C)</b>	5,86	-	5,86	-	-
<b>Rop (m<sup>2</sup>C/W)</b>	0,28	0,28	0,28	0,28	0,47
<b>Rtr (m<sup>2</sup>C/W)</b>	0,17	-	0,17	-	-
<b>Qop (W)</b>	4,59 lg	5,39 lg	6,80 lg	6,80 lg	17,72 lg
<b>Sop</b>	0,028	0,028	0,028	0,028	0,017
<b>Qtr (W)</b>	3,54 lg	-	0,42 lg	-	-
<b>Str</b>	0,48	-	0,48	-	-
<b>Qocup (W)</b>	31500				
<b>Q'op (W)</b>	577,35 ΔT	677,95 ΔT	854,79 ΔT	854,79 ΔT	2210,37 ΔT
<b>Q'tr (W)</b>	43,24 ΔT	-	5,12 ΔT	-	-
<b>Q'vent (W)</b>	-	-	-	-	-
<b>Total Ganhos</b>	55.303,80				
<b>Total Perdas</b>	5.223,61 ΔT				
<b>ΔT</b>	10,6				
<b>Inércia</b>	Fraca				
<b>μ</b>	0,6				
<b>timax (oC)</b>	32,7				

Auditório – Nível Convenções					
	Fac. Norte	Fac. Sul	Fac. Leste	Fac. Oeste	Coberta
<b>Kop (W/m<sup>2</sup>C)</b>	3,52	3,52	3,52	3,52	-
<b>Ktr (W/m<sup>2</sup>C)</b>	-	5,86	-	-	-
<b>Rop (m<sup>2</sup>C/W)</b>	0,28	0,28	0,28	0,28	-
<b>Rtr (m<sup>2</sup>C/W)</b>	0,17	-	0,17	-	-
<b>Qop (W)</b>	0,00 lg	7,91 lg	2,56 lg	2,56 lg	-
<b>Sop</b>	0,028	0,028	0,028	0,028	-
<b>Qtr (W)</b>	-	24,26 lg	-	-	-
<b>Str</b>	-	0,48	-	-	-
<b>Qocup (W)</b>	16.250				
<b>Q'op (W)</b>	0,00 ΔT	995,38 ΔT	322,29 ΔT	322,29 ΔT	-
<b>Q'tr (W)</b>	-	296,28 ΔT	-	-	-
<b>Q'vent (W)</b>	-	-	-	-	-
<b>Total Ganhos</b>	28.717,63				
<b>Total Perdas</b>	1.936,24 ΔT				
<b>ΔT</b>	14,83				
<b>Inércia</b>	Fraca	Fraca	Fraca	Fraca	-
<b>μ</b>	0,6	0,6	0,6	0,6	-
<b>timax (oC)</b>	34,3				

## APÊNDICE 03

### Levantamento de Componentes e Iluminação e Condicionamento Artificial

		Serviço	Torre	Auditório	Anfiteatro	Lanchonete	Loja	Gerais	Total
Lâmpadas	11W		121						121
	1x18W				45				45
	2x18W		478	261		17	12		768
	1x32W		18	197					215
	2x32w		80	10	12			51	153
	60W		04						04
	70W		29						29
	150W		28	27					55
	400W							12	12
	500W				06				06
	1.000W			19					19
Tomadas	100W		11	05					16
	300W		111	49	02	03	02	15	182
	500 w		13	16					29
	1000W		07	01		03			11
Watts (Circ.)		33810	77205	63590	5178	4512	1032	12564	197891

Torre – Térreo: Sistema de Condicionadores de ar – Unidade Interna							
Item	Qte.	Capacidade		Vazão de ar (m <sup>3</sup> /h)	Consumo (Kw/h)	Carac. Elétricas (60Hz)	Modelo
		Kcal/h	Tr				
UE-01A	1	12220	4	1830	0,22	220v/1F+N+T	RCI-5,0FSNB
UE-01A	2	12220	4	1830	0,22	220v/1F+N+T	RCI-5,0FSNB

Torre – Primeiro Pavimento: Sistema de Condicionadores de ar – Unidade Interna							
Item	Qte.	Capacidade		Vazão de ar (m <sup>3</sup> /h)	Consumo (Kw/h)	Carac. Elétricas (60Hz)	Modelo
		Kcal/h	Tr				
UE-02A	1	4820	1,6	960	0,10	220v/1F+N+T	RCI-2,0FSNB
UE-02B	1	4820	1,6	960	0,10	220v/1F+N+T	RCI-2,0FSNB
UE-03A	1	24600	8,14	4320	1,20	380v/3F+N+T	RPI-10,0FSG1
UE-03B	1	24600	8,14	4320	1,20	380v/3F+N+T	RPI-10,0FSG1
UE-03C	1	24600	8,14	4320	1,20	380v/3F+N+T	RPI-10,0FSG1
UE-03D	1	24600	8,14	4320	1,20	380v/3F+N+T	RPI-10,0FSG1
UE-03E	1	24600	8,14	4320	1,20	380v/3F+N+T	RPI-10,0FSG1
UE-03F	1	24600	8,14	4320	1,20	380v/3F+N+T	RPI-10,0FSG1
UE-03G	1	24600	8,14	4320	1,20	380v/3F+N+T	RPI-10,0FSG1
UE-03H	1	24600	8,14	4320	1,20	380v/3F+N+T	RPI-10,0FSG1

UE-03I	1	24600	8,14	4320	1,20	380v/3F+N+T	RPI-10,0FSG1
UE-03J	1	24600	8,14	4320	1,20	380v/3F+N+T	RPI-10,0FSG1
UE-03K	1	24600	8,14	4320	1,20	380v/3F+N+T	RPI-10,0FSG1
UE-03L	1	24600	8,14	4320	1,20	380v/3F+N+T	RPI-10,0FSG1

Torre – Segundo Pavimento: Sistema de Condicionadores de ar – Unidade Interna							
Item	Qte.	Capacidade		Vazão de ar (m3/h)	Consumo (Kw/h)	Carac. Elétricas (60Hz)	Modelo
		Kcal/h	Tr				
UE-02C	1	4820	1,6	960	0,10	220v/1F+N+T	RCI-2,0FSNB
UE-02D	1	4820	1,6	960	0,10	220v/1F+N+T	RCI-2,0FSNB
UE-04A	1	24600	8,14	4320	1,20	380v/3F+N+T	RPI-10,0FSG1
UE-04B	1	24600	8,14	4320	1,20	380v/3F+N+T	RPI-10,0FSG1
UE-04C	1	24600	8,14	4320	1,20	380v/3F+N+T	RPI-10,0FSG1
UE-04D	1	24600	8,14	4320	1,20	380v/3F+N+T	RPI-10,0FSG1
UE-04E	1	24600	8,14	4320	1,20	380v/3F+N+T	RPI-10,0FSG1
UE-04F	1	24600	8,14	4320	1,20	380v/3F+N+T	RPI-10,0FSG1
UE-04G	1	24600	8,14	4320	1,20	380v/3F+N+T	RPI-10,0FSG1
UE-04H	1	24600	8,14	4320	1,20	380v/3F+N+T	RPI-10,0FSG1
UE-04I	1	24600	8,14	4320	1,20	380v/3F+N+T	RPI-10,0FSG1
UE-04J	1	24600	8,14	4320	1,20	380v/3F+N+T	RPI-10,0FSG1
UE-04K	1	24600	8,14	4320	1,20	380v/3F+N+T	RPI-10,0FSG1
UE-04L	1	24600	8,14	4320	1,20	380v/3F+N+T	RPI-10,0FSG1

Torre – Terceiro Pavimento: Sistema de Condicionadores de ar – Unidade Interna							
Item	Qte.	Capacidade		Vazão de ar (m3/h)	Consumo (Kw/h)	Carac. Elétricas (60Hz)	Modelo
		Kcal/h	Tr				
UE-09-A	1	7230	2,40	1120	0,06	220v/1F+N+T	RPI-3,0FSNB
UE-09-B	1	7230	2,40	1120	0,07	220v/1F+N+T	RPI-3,0FSNB

Auditório - Convenções: Sistema de Condicionadores de ar – Unidade Interna							
Item	Qte.	Capacidade		Vazão de ar (m3/h)	Consumo (Kw/h)	Carac. Elétricas (60Hz)	Modelo
		Kcal/h	Tr				
UE-01A	1	9.640	3,20	1.650	0,21	220v/1F+N+T	RCI4.0FSNB
UE-01B	1	9.640	3,20	1.650	0,21	220v/1F+N+T	RCI4.0FSNB
UE-01C	1	9.640	3,20	1.650	0,21	220v/1F+N+T	RCI4.0FSNB
UE-01D	1	9.640	3,20	1.650	0,21	220v/1F+N+T	RCI4.0FSNB
UE-01E	1	9.640	3,20	1.650	0,21	220v/1F+N+T	RCI4.0FSNB
UE-01F	1	9.640	3,20	1.650	0,21	220v/1F+N+T	RCI4.0FSNB
UE-01G	1	9.640	3,20	1.650	0,21	220v/1F+N+T	RCI4.0FSNB
UE-01H	1	9.640	3,20	1.650	0,21	220v/1F+N+T	RCI4.0FSNB
UE-02A	1	6.110	2,00	960	0,10	220v/1F+N+T	RCI2,5FSNB
UE-02B	1	6.110	2,00	960	0,10	220v/1F+N+T	RCI2,5FSNB

UE-03A	1	9.640	3,20	1.650	0,21	220v/1F+N+T	RCI4.0FSNB
UE-03B	1	9.640	3,20	1.650	0,21	220v/1F+N+T	RCI4.0FSNB
UE-04A	1	12.220	4,04	1.830	0,22	220v/1F+N+T	RCI5,0FSNB
UE-04B	1	12.220	4,04	1.830	0,22	220v/1F+N+T	RCI5,0FSNB
UE-05	1	4.820	1,60	900	0,14	220v/1F+N+T	RPC2,0FSNB
UE-06	1	6.110	2,00	900	0,16	220v/1F+N+T	RPC2,5FSNB

Auditório - Convenções: Sistema de Condicionadores de ar – Unidade Externa							
Item	Qte.	Capacidade		Vazão de ar (m3/h)	Consumo (Kw/h)	Carac. Elétricas (60Hz)	Modelo
		Kcal/h	Tr				
UC-01	1	77.400	25,60	22.900	33,8	380v/3F+N+T	RAS32FSNB
UC-02	1	48.160	15,90	20.600	16,6	380v/3F+N+T	RAS20FSNB

Auditório – Platéia: Condicionadores de Ar Fan-Coil							
Item	Qte.	Capacidade		Vazão de ar (m3/h)	Consumo (Kw/h)	Carac. Elétricas (60Hz)	Modelo
		Kcal/h	Tr				
FCC-01A/B/C	3	9.374	3,10	2.040	0,25	220v/1F+N+T	TCC36AP

Auditório - Convenções: Condicionadores de Ar Fan-Coil							
Item	Qte.	Capacidade		Vazão de ar (m3/h)	Consumo (Kw/h)	Carac. Elétricas (60Hz)	Modelo
		Kcal/h	Tr				
FCV-01	2	90.750	30,00	17.000	7,50	380v/3F+N+T	RAH-ZK25

Auditório – Convenções: Unidade Resfriadora de Água - Chiller cond. a ar.							
Item	Qte.	Capacidade		Vazão de ar (m3/h)	Consumo (Kw/h)	Carac. Elétricas (60Hz)	Modelo
		Kcal/h	Tr				
URA-01	1	288.000	95,00	40.000	115,2	380v/3F+N+T	RCU-9008SAZ

Motobombas de Água Gelada - B.A.G.							
Item	Qte.	Capacidade		Consumo (Kw/h)	Carac. Elétricas (60Hz)	Modelo	
		vazão(m3/h)	AMT(mCA)				
BAG-01A	1	40,0	25,0	5,60	380v/3F+N+T	MEGANORM 40-125	
BAG-01B	1	40,0	25,0	5,60	380v/3F+N+T	MEGANORM 40-125	

## ANEXO 01

---

Dados climáticos da cidade de João Pessoa, Paraíba (Fonte: LES/LGA(SIGA) - Laboratório de Energia Solar - Setor de Climatologia e Laboratório de Geografia Aplicada - Setor de Informações Geográficas Aplicadas).

	MÉDIAS MENSais DE INSOLAÇÃO ENTRE O PERÍODO DE 1991 à 2005												Média Anual (h)
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1991	7,6	7,3	7,4	7,0	5,2	6,6	5,4	6,7	6,8	6,8	7,4	8,6	6,9
1992	6,0	5,6	4,7	7,5	6,3	5,3	6,9	6,4	7,4	8,9	8,6	7,9	6,7
1993	8,4	10	8,8	7,9	7,9	6,5	6,5	8,9	8,6	8,4	9,1	9	8,3
1994	8,3	8,9	7	6,5	5,3	4,3	6,3	7,4	7,3	9,2	9,3	7,4	7,2
1995	8,3	8,9	7	6,4	5,3	4,3	6,3	7,4	7,1	9,1	9,3	7,4	7,2
1996	8,5	9,6	6,3	5,6	8,0	5,7	6,2	6,9	7,5	9,2	8,6	8,8	7,5
1997	8	8,9	7	6,3	6,6	7,6	8	7,4	9,2	9,8	9,5	6,5	7,9
1998	8,1	9,6	9,2	8,2	7,2	6,2	6,8	6,9	8,9	9,3	9,3	7,5	8,1
1999	8,1	8,3	8,5	8,3	7,3	7,3	7,1	8,0	8,7	9,0	9,4	6,7	8,0
2000	7,6	7,6	8,1	6,8	7,7	4,3	3,4	8,0	7,0	8,6	8,9	7,0	7,0
2001	8,4	9,5	7,5	6,8	8,6	6,3	6,4	8,1	8,6	8,7	9,3	8,0	8,0
2002	6,1	8,7	7,4	6,7	6,8	5,5	6,2	7,7	9,7	8,8	9,0	9,3	7,6
2003	8,4	8,0	6,6	7,6		5,4	7,2	8,4	8,2	9,2	9,9	9,1	8,0
2004	5,2	7,4	8,0	6,9	6,4	4,4	5,7	7,9	8,3	9,1	9,7	9,3	7,4
2005	8,7	8,9	8,0	8,4	6,8	5,0	7,3	7,1	8,1	9,8	9,6	8,7	8,0

	MÉDIAS MENSais DE NEBULOSIDADE ENTRE O PERÍODO DE 1992 à 2005												Média Anual
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1992	6/10	7/10	7/10	5/10	5/10	6/10	6/10	6/10	5/10	5/10	5/10	5/10	6/10
1993	6/10	4/10	4/10	5/10	5/10	6/10	6/10	4/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10
1994	5/10	5/10	6/10	5/10	6/10	7/10	6/10	5/10	5/10	5/10	4/10	6/10	5/10
1995	5/10	5/10	5/10	6/10	5/10	7/10	6/10	5/10	5/10	5/10	6/10	4/10	5/10
1996	5/10	5/10	6/10	6/10	5/10	6/10	6/10	6/10	6/10	5/10	5/10	5/10	6/10
1997	5/10	6/10	6/10	6/10	6/10	5/10	5/10	6/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10
1998	6/10	5/10	5/10	5/10	5/10	6/10	5/10						
1999						5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	6/10	
2000	5/10	5/10	5/10	6/10	6/10	6/10	8/10	6/10	6/10	5/10	5/10	6/10	6/10
2001	5/10	5/10	5/10	6/10	4/10	7/10	6/10	6/10	5/10	5/10	5/10	6/10	5/10
2002	6/10	5/10	6/10	6/10	6/10	7/10	6/10	6/10	4/10	5/10	6/10	5/10	6/10
2003	6/10	1/10	6/10	6/10	5/10	6/10	6/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10
2004	7/10	6/10	5/10	6/10	6/10	7/10	6/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	6/10
2005	6/10	6/10	5/10	6/10	7/10	8/10	4/10	6/10	5/10	5/10	6/10	6/10	6/10

	MÉDIAS MENSais DE RADIAÇÃO SOLAR ENTRE O PERÍODO DE 1997 à 2006												Média Anual ( cal/cm <sup>2</sup> /min)
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1997	396,8	420,8	438,8	339,1	352,0	323,7	321,6	335,7	436,0	480,4	447,0	432,2	393,7
1998	460,8	461,9	491,8	505,0	413,8	403,5	481,8	513,0	661,0	682,2	635,7	516,0	415,1
1999	519,3	507,5	571,9	514,4	429,1	521,0	505,8	421,1	481,3	462,7	505,8	430,5	489,2
2000	483,7	483,2	461,8	369,5	386,0	379,1	325,3	385,6	406,7	451,7	420,6	355,0	409,0
2001	409,6	451,5	391,7	335,7	328,2	315,0	438,6	501,7	559,9	587,7	612,2	508,7	453,3
2002	475,9	532,5	519,6	459,7	417,6	352,9	380,2	462,6	556,9	490,7	527,6	507,0	473,6
2003	530,0	485,3	453,1	516,1	519,0	309,3	522,3	314,0	489,2	471,0	569,9	530,5	475,8
2004	384,4	446,6	522,4	420,7	390,1	320,9	369,0	419,5	466,4	502,5	506,5	495,7	557,6
2005	504,9	493,4	494,3	443,6	396,4	286,7	365,7	360,9	443,9	468,6	473,8	468,5	433,4
2006	451,1	462,7	481,9			504,9	504,9						

	MÉDIAS MÁXIMAS MENSais DE TEMPERATURA DO AR ENTRE O PERÍODO DE 1993 à 2002												Média Anual (°C)
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1993	30,0	29,4	29,9	29,3	28,6	27,3	27,5	27,4	28,2	29,1	29,5	29,8	28,8
1994	29,7	29,8	30,0	28,8	28,1	27,0	30,8	27,2	27,7	28,4	29,0	29,5	28,8
1995	29,7	30,2	30,5	29,4	28,7	27,2	27,1	27,4	28,0	28,9	29,0	29,9	28,8
1996	29,9	29,5	29,7	29,0	29,2	27,5	26,9	27,4	28,2	29,3	29,3	30,1	28,8
1997	30,3	30,0	29,5	28,8	28,8	28,2	27,1	27,5	28,6	29,8	30,0	30,3	29,0
1998	30,6	30,7	31,4	31,0	29,8	28,0	27,6						
1999						27,9	27,3	27,1	28,9	29,3	29,9	29,7	
2000	29,7	29,9	29,7	29,4	28,7	27,6	26,9	27,6	28,1	29,2	29,9	28,9	28,8
2001	28,9	30,5	30,2	29,8	29,6	27,7	27,2	27,1	28,0	29,0	29,6	29,7	28,9
2002	29,1	29,6	29,4	29,3	28,6	27,3	27	27,3	28,5	28,7	29,0	29,5	28,6

	MÉDIAS MÍNIMAS MENSais DE TEMPERATURA DO AR ENTRE O PERÍODO DE 1992 à 2002												Média Anual (°C)
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1992	25,3	23,1	22,4	23,0	22,4	20,9	20,3	20,9	23,4	22,8			
1993	22,2	24,0	24,6	24,1	22,8	21,2	20,5	21,4	22,6	23,2	23,5	23,6	22,8
1994	24,1	24,2	21,3	23,3	22,3	21,8	21,2	20,6	21,7	23,1	23,0	22,3	22,4
1995	21,1	23,8	23,5	23,0	22,5	21,0	22,2	21,0	21,6	22,2	22,7	23,4	
1996	23,3	23,6	22,9	19,5	21,7	20,8	20,0	20,5	21,2	22,4	20,8	23,9	21,7
1997	24,0	23,6	23,2	21,8	21,2	21,0	20,0	19,9	19,5	21,4	20,7		
1998	21,1	22,1	21,9	23,2	22,7	22,0	22,5						
1999						20,8	23,8	20,4	21,0	20,8	22,5	22,4	
2000	21,4	22,1	23,4	22,8	21,6	21,0	21,9	22,6	22,8	22,8	22,4	23,0	22,3
2001	22,7	23,3	24,0	24,5	24,3	23,8	23,8	23,9	23,5	23,7	23,8	24,4	23,8
2002	24,8	24,4	24,0	22,9									

	MÉDIAS MENSAIS DE TEMPERATURA DO AR ENTRE O PERÍODO DE 1990 à 2005												Média Anual (°C)
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1990	27,6	27,8	28,3	27,9	26,8	25,8	25,2	25,1	25,5	26,8	27,4	27,8	26,8
1991	28,2	28,0	28,1	27,1	26,2	26,2	24,8	24,8	25,7	26,3	26,8	27,1	28,0
1992	27,8	27,2	27,2	27,6	26,8	25,2	24,9	24,8	25,8	26,3	26,9	27,2	27,7
1993	27,4	27,9	28,0	27,6	26,9	25,6	25,1	25,6	26,5	27,2	27,5	27,7	26,9
1994	28,0	28,2	28,0	27,0	26,2	25,5	25,2	25,7	25,8	26,8	26,8	27,2	26,7
1995	27,5	28,3	28,8	27,7	27,1	25,4	25,4	25,9	26,3	27	27,1	28,0	27,0
1996	28,3	28,5	28,0	27,3	27,0	25,6	25,0	25,6	26,2	27,2	27,6	28,1	27,0
1997	28,4	28,0	27,7	27,0	26,6	25,9	25,3	25,2	26,6	27,6	27,9	28,2	27,0
1998	28,7	29,3	29,8	29,3	27,6	26,3	25,9						28,1
1999						26,5	25,5	25,3	26,5	26,9	28,0	27,9	26,7
2000	27,9	28,3	28,5	27,7	26,9	26,0	25,0	25,7	26,3	27,2	27,5	27,1	27,0
2001	27,8	28,6	28,1	27,2	28,0	26,0	25,5	25,6	26,4	27,4	28,0	28,1	27,2
2002	27,6	28,0	27,7	27,5	27,1	25,5	25,7	25,9	26,7	27	27,3	29,1	27,0
2003	29,5	28,8	27,9	28,2	27,6	25,5	25,6	25,0	26,5	27,2	27,7	28,1	27,8
2004	27,5	30,1	28,3	30,4	29,3	25,6	24,7	25,6	26,2	27,4	27,4	27,8	27,5
2005	28,4	28,7	29,1	28,4	27,2	25,7	25,8	25,4	26,4	26,9	27,6	27,9	27,3

	MÉDIAS MENSAIS DE UMIDADE RELATIVA ENTRE O PERÍODO DE 1993 à 2005												Média Anual ( % )
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1993	80,4	75,7	77,5	80,6	81,5	86,1	85,0	82,2	82,6	80,4	79,6	77,6	80,7
1994	79,6	79,1	81,5	85,1	88,9	89,0	86,0	80,4	81,9	79,6	78,4	77,6	82,2
1995	79,9	79,2	77,1	82,3	83	85,5	85,1	77,8	81,7	73,4	75,8	73,2	79,5
1996	72,1	72,8	78,9	82,9	80,8	82,9	82,6	79,7	77,2	75,6	76,3	73,7	77,9
1997	72,9	74,4	79,9	81,5	83,2	81,3	80,7	79,6	73,9	71,8	73,0	76,6	77,4
1998	77,6	74,9	77,7	83,1	85,5	86,1	84,9						
1999						78,2	78,4	77,6	75,4	72,9	71,2	74,5	
2000	77,3	76,4	75,0	81,0	80,5	82,6	85,1	79,1	78,5	73,0	74,0	78,0	78,3
2001	72,9	71,4	75,8	80,2	75,2	81,0	81,4	75,4	75,4	73,2	72,5	76,2	75,8
2002	79,0	76,1	79,0	79,2	81,0	84,0	80,1	76,5	71,1	73,2	74,6	75,7	77,4
2003	75,4	79,2	78,9	77,3	78,9	83,1	82,8	81,0	80,2	78,2	76,3	78,0	76,7
2004	84,2	81,6	79,7	84,6	87,7	86,0	86,1	84,6	77,2	77,9	77,7	76,8	82,0
2005	77,4	78,1	82,0	84,3	87,1	90,3	80,5	82,6	77,3	76,8	73,5	74,8	80,4

	MÉDIAS MENSais DE VENTOS ENTRE O PERÍODO DE 1990 à 2005												Média Anual ( m/s )
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1990	3,2	3,0	3,3	2,8	3,0	2,6	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,0	2,9
1991	3,3	3,1	3,2	2,4	2,9	3,3	3,3	3,9	3,4	3,0	2,4	2,3	3,0
1992	2,3	3,1	3,0	2,9	2,5	2,5	2,7	2,9	2,9	2,9	3,2	3,0	2,8
1993	3,0	3,0	2,6	2,7	2,7	2,6	2,5	2,8	2,7	3,0	3,1	2,9	2,8
1994	2,3	2,6	2,2	2,1	2,0	1,8	2,9	3,2	2,8	2,9	2,5	2,6	2,4
1995	2,4	2,0	2,5	2,0	2,1	2,1	3,0	3,2	3,6	2,6	2,5	2,2	2,0
1996	2,6	2,2	1,9	2,0	2,3	2,3	2,8	2,7	2,9	2,4	2,5	2,3	2,4
1997	2,2	2,4	2,2	2,1	2,5	2,3	2,6	2,9	2,4	3,0	2,7	2,4	2,4
1998	2,5	2,5	2,7	2,6	2,6	2,6	2,6						2,6
1999						2,8	2,9	3,0	3,9	3,2	2,5	2,6	2,5
2000	2,3	2,2	2,3	2,1	2,3	2,6	3,2	2,7	2,9	3,3	2,5	2,0	2,5
2001	3,2	2,4	2,2	2,5	1,9	2,5	2,7	3,3	3,0	2,5	2,6	2,6	2,6
2002	2,5	2,5	2,3	2,9	2,3	2,2	2,8	3,2	2,9	3,3	3,1	2,7	2,7
2003	2,5	3,0	2,7	2,7	2,5	3,3	3,3	3,1	3,5	3,3	2,8	2,9	2,9
2004	2,1	2,6	2,9	2,7	2,5	2,8	2,9	3,5	4,1	3,4	3,2	3,1	3,0
2005	2,8	2,9	2,6	2,9	2,7	2,7	3,2	3,3	3,8	3,8	3	3,4	3,1

**Método CSTB - França**

- Determinação de K para parede de material homogêneo e com espessura constante:

$$1/K = 1/h_i + 1/h_e + e/\lambda \quad (\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$$

- Determinação de K para paredes heterogêneas (varias camadas de materiais diferentes):

$$1/K = 1/h_e + e_1/\lambda_1 + e_2/\lambda_2 + e_3/\lambda_3 + 1/h_i \quad (\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$$

K = coeficiente global de transmissão térmica.

hi & he = coeficiente de condutância térmica superficial.

1/hi & 1/he = resistências térmicas superficiais

$\lambda$  = coeficiente de condutividade térmica dos materiais.

e = espessura.

1/hi (m <sup>2</sup> .K)/W						1/he (m <sup>2</sup> .K)/W					
Direção do fluxo de calor						Direção do fluxo de calor					
Horizontal		Ascendente		Descendente		Horizontal		Ascendente		Descendente	
	⇒			↑		↓		⇒		↑	
0,13		0,10		0,17		0,04		0,04		0,04	

Resistência térmica superficial interna e externa.

- Determinação dos valores de resistência térmica:

$$R = e/\lambda \quad (\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W})$$

- Determinação dos valores de resistência térmica de espaços de ar refinados entre duas lâminas paralelas:

$$\epsilon_r = \frac{1}{1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1}$$

$\epsilon_r$  = emissividade térmica relativa.

$\epsilon_1$  e  $\epsilon_2$  = emissividade de cada lâmina paralela que confinam o espaço de ar.

		Resistência térmica Rar m2.K/W						
Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar	Direção do fluxo de calor						
		Horizontal			Ascendente		Descendente	
	cm							
			⇒			↑		↓
Superfície de alta emissividade $\epsilon > 0,8$	1,0 $\leq$ e $\leq$ 2,0 2,0 < e $\leq$ 5,0 e > 5,0	0,14 0,16 0,17		0,13 0,14 0,14		0,15 0,18 0,21		
Superfície de baixa emissividade $\epsilon < 0,2$	1,0 $\leq$ e $\leq$ 2,0 2,0 < e $\leq$ 5,0 e > 5,0	0,29 0,37 0,34		0,23 0,25 0,27		0,29 0,43 0,61		

Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura.

Tipo de superfície		$\alpha$	$\epsilon$
Chapa de alumínio (nova e brilhante)		0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)		0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)		0,25	0,25
Caiação nova		0,12 / 0,15	0,90
Concreto aparente		0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro		0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente		0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro		0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico		0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
Vidro incolor		0,06 / 0,25	0,84
Vidro colorido		0,40 / 0,80	0,84
Vidro metalizado		0,35 / 0,80	0,15 / 0,84
Pintura:	Branca	0,20	0,90
	Amarela	0,30	0,90
	Verde clara	0,40	0,90
	“Alumínio”	0,40	0,50
	Verde escura	0,70	0,90
	Vermelha	0,74	0,90
	Preta	0,97	0,90

Absortância ( $\alpha$ ) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade ( $\epsilon$ ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas)

- Determinação dos ganhos de calor solar através de paredes opacas:

$$Q_{op} = A_{op} \times S_{op} \times I_{g} \text{ (W)}$$

$Q_{op}$  = Intensidade do fluxo térmico que atravessa a parede, por efeito da radiação solar incidente e da diferença de temperatura do ar.

Aop = área superfície opaca ( $m^2$ )

Sop = fator de ganho solar da superfície opaca

Ig = Intensidade de radiação solar incidente global. ( $W/m^2$ )

- Determinação do fator de ganho solar de material opaco:

$$Sop = \alpha K / he$$

Sop = fator de ganho solar da superfície opaca

$\alpha$  = Coeficiente de absorção da radiação solar.

K = Coeficiente global de transmissão térmica. ( $W/m^2 ^\circ C$ )

he = coeficiente de condutância térmica superficial externa ( $W/m^2 ^\circ C$ )

- Determinação dos ganhos de calor solar através de paredes transparentes ou translúcidas:

$$Qtr = Atr \times Str \times Ig (W)$$

Qtr = Intensidade do fluxo térmico que atravessa a parede, por efeito da radiação solar incidente e da diferença de temperatura do ar. ( $W/m^2$ ).

Atr = área superfície transparente ( $m^2$ )

Str = fator solar dos envidraçados

Ig = Intensidade de radiação solar incidente global. ( $W/m^2$ )

- Determinação do fator solar à radiação solar global:

$$Str = (\alpha K / he) \times T$$

Str = fator solar dos envidraçados

$\alpha$  = Coeficiente de absorção da radiação solar.

K = Coeficiente global de transmissão térmica. ( $W/m^2 ^\circ C$ ).

he = coeficiente de condutância térmica superficial externa ( $W/m^2 ^\circ C$ )

T = Parcela que penetra por transparência.

Tipo de Vidro	Fator Solar (Str)	Para vidro comum: $\alpha = 0,07$ $\rho = 0,08$ $\tau = 0,85$	$K = 5,7$ $1/he = 0,05$ $Str = 0,86$
Lâmina Única			
Vidro comum transparente	0,86		
Vidro cinza sombra	0,66		
Vidro atérmico verde-claro	0,60		
Vidro atérmico verde-escuro	0,49		

Tipo de Proteção	Cor do elemento de proteção			
	Claro	Médio	Escuro	Preto
Proteção externa:				
- Persiana de madeira (e=1cm) vertical	0,05	0,08	0,10	0,13
- Persiana de madeira (e=2cm) vertical	0,04	0,07	0,09	0,11
- Persiana metálica, vertical	0,07	0,10	0,13	0,16
- Persiana de madeira (e=1cm), projetada à italiana	0,09	0,09	0,10	0,11
- Persiana metálica, projetada à italiana	0,10	0,11	0,12	0,14
Proteção entre dois vidros				
- Veneziana de lâminas finas a 45°C	0,24	0,31	0,38	0,44
- Cortina opaca	0,21	0,28	0,36	0,43
- Cortina pouco transparente	0,24	0,32	0,40	-
Proteção interna:				
-Persiana de lâminas finas, vertical	0,39	0,50	0,60	0,70
-Persiana de lâminas finas, a 45°C	0,51	0,62	0,70	0,76
- Cortina opaca	0,34	0,45	0,57	0,66
- Cortina pouco transparente	0,36	0,47	0,59	-
- Cortina muito transparente	0,39	0,50	0,51	-

Fator Solar das proteções das vidraças (para vidros simples com Str =0,85). (Fonte: Croiset)

- Determinação dos ganhos de calor devido à presença humana (calor sensível):

Atividade	Calor Metabólico	Calor Sensível	Calor Latente
Durante o sono (basal)	80	40	40
Sentado, em repouso	115	63	52
Em pé, em repouso	120	63	57
Sentado, cosendo à mão	130	65	65
Escritório (atividade moderada)	140	65	75
Em pé, trabalho leve	145	65	80
Datilografando rápido	160	65	95
Lavando pratos	175	65	110
Confeccionando calçados	190	65	125
Andando	220	75	145
Trabalho leve, em bancada	255	80	175

Garçom	290	95	195
Descendo escada	420	140	280
Serrando madeira	520	175	345
Nadando	580	-	-
Subindo escada	1280	-	-
Esforço máximo	870 a 1400	-	-

Calor cedido ao ambiente (W) segundo a atividade desenvolvida pelo individuo (Mesquita, 1977)

- Determinação das perdas de calor solar através de paredes opacas:

$$Q'_{op} = A_{op} K \Delta T \text{ (W)}$$

- Determinação das perdas de calor solar através de paredes transparentes ou translúcidas:

$$Q'_{tr} = A_{tr} K \Delta T \text{ (W)}$$

- Determinação da carga térmica transferida pela ventilação:

$$Q'_{vent} = 0,35 N V \Delta t \text{ (W)}$$

0,35 = calor específico x densidade do ar (W/m<sup>3</sup> °C)

N = taxa de renovação horária do recinto

Δt = diferença de temperatura do ar interno e externo (°C)

- Determinação do balanço de ganhos e perdas de calor:

$$\Delta T = \Sigma Q - \Sigma Q' = 0$$

$$\Sigma Q_g = \Sigma Q_p$$

### **Método de Croiset**

Determinação da inércia térmica da edificação:

- Aplicar um coeficiente igual a: 1, 2/3, 1/3 ou 0, segundo peso e a resistência térmica do revestimento, conforme a *Tabela*:

	Resistência inferior a 0,15	Resistência entre 0,15 e 0,50	Resistência superior a 0,50
Parede pesando mais de 200 kg/m <sup>2</sup>	1	2/3	0
Parede pesando entre 200 kg/m <sup>2</sup> e 100 kg/m <sup>2</sup>	2/3	1/3	0
Parede pesando entre 100kg/m <sup>2</sup> e 50kg/m <sup>2</sup>	1/3	0	0
Parede pesando menos de 50kg/m <sup>2</sup>	0	0	0

*Tabela – Resistência Térmica do Revestimento. (Fonte: Croiset)*

- Determinar o peso da envolvente:

$$\text{Peso} = e/2 \times d \times 1 (\text{kg/m}^2)$$

**e** = espessura (m)

**d** = densidade (kg/m)

- Classificar a inércia do recinto considerado segundo o valor da relação base “Superfície Equivalente Pesada” /Área do piso do local.
- Determinar o valor da superfície equivalente pesada:

$$\frac{\sum \text{Áreas da envolvente} \times \text{coeficiente}}{\text{Área do piso do pavimento}}$$

- Determinar a inércia do recinto a partir da tabela:

Inferior a 0,5	Inércia muito fraca
Entre 0,5 e 1,5	Inércia fraca
Superior a 1,5 e sem cumprir a condição definida para inércia forte	Inércia média
Superior a 1,5 e se a metade das paredes pesarem mais de 300 kg/m <sup>2</sup>	Inércia forte

Tabela – Inércia do Recinto. (Fonte: Croiset)

- Adoção dos valores para o amortecimento:

Para Construção de Inércia muito fraca	m=0,4
Para Construção de Inércia fraca	m=0,6
Para Construção de Inércia média	m=0,8
Para Construção de Inércia forte	m=1,0

Tabela – Amortecimento. (Fonte: Croiset)

- Determinação da temperatura máxima interna:

$$t_{imax} = t_e + (1-m) E + (1-m) \Delta T$$

A = amplitude entre as temperaturas máxima e mínima -  $(t_{emax} - t_{emin})/2$  - ( $^0\text{C}$ )

m = coeficiente de amortecimento da construção

E = enlongação – Amp/2 - ( $^0\text{C}$ )

Métodos: “*Taxas de Renovação de Ventilação Cruzada em Apartamentos de Tipologia Simples*” de J.A. Saraiva, F.V. Marques da Silva e P.R.P. Santos, e “*A Simplified Model to Estimate Natural Ventilation Flows for Simple Dwelling Layouts*” desenvolvido por F.V. Marques da Silva e J.A. Saraiva.

- Cálculo da perda de carga (para o caso da análise de uma série, a perda de carga global é igual à soma das perdas de cargas parciais):

$$K_{eq} = \left( \sum K_i \frac{A_{ref}^2}{A_i^2} \right)$$

- Cálculo do equivalente a um paralelo:

$$\frac{1}{K_{eq}} = \frac{1}{K_i} + 2 \sum \frac{1}{\sqrt{K_i K_j}} \quad [i \neq j]$$

K = perda de carga;

Aref = área de referência;

A = área em estudo

- Cálculo do caudal de ventilação:

$$Q = U_o A_{ref} \frac{1}{\sqrt{K}} \sqrt{C_{pe} - C_{ps}}$$

Q = caudal de ventilação;

Uo = velocidade do vento exterior;

Aref = área de referência;

K = coeficiente de perda de carga;

Cpe = coeficiente de pressão de entrada;

Cps = coeficiente de pressão de saída.

- Cálculo da quantidade de renovações de ar do ambiente:

$$R = Q/V$$

R = número de renovações;

Q = caudal de ventilação;

V = volume do ambiente em estudo.

Metodologia de cálculo da iluminação natural - Diagramas de G. Pleijel

- Cálculo da superfície iluminante zenital total requerida:

$$S_{zt} = \frac{E \times S}{Ee \times Ku \times Kp}$$

S<sub>zt</sub> – área da superfície iluminante zenital total necessária (m<sup>2</sup>)

E – aclaramento requerido no plano de trabalho (lux)

S – área da coberta (m<sup>2</sup>)

Ee – aclaramento externo no plano horizontal (lux)

Ku – coeficiente de utilização do local

Kp – coeficiente de poço (no caso de domus).

- Cálculo do número de pontos (superposição de máscara e diagrama):

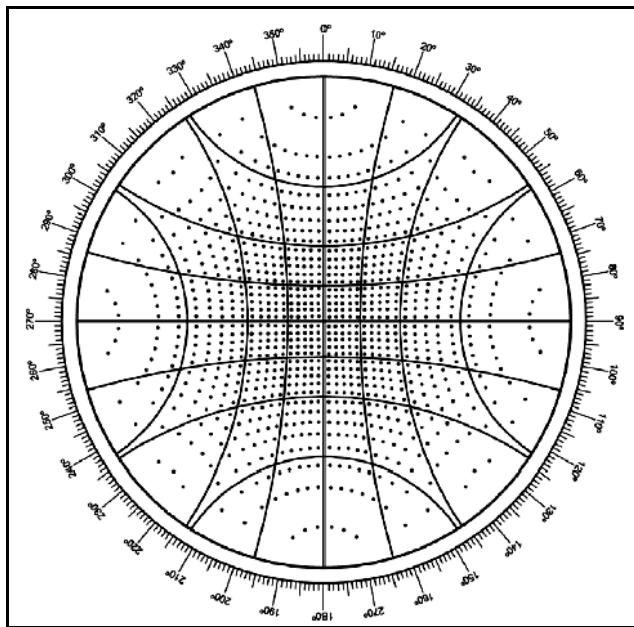


Diagrama de distribuição de luz emanante. (Fonte: Apostila Ergonomia em Ambientes Físicos)

- Cálculo do aclaramento na superfície horizontal externa do domus:

$$Ee = \frac{n \times Eh}{1004}$$

n = de pontos contidos entre as linhas que delimitam a área visível do céu (máscara), quando se superpõe ao diagrama de representação da iluminação natural em superfícies horizontais.

Eh = é o aclaramento fornecido pela abóbada celeste que, sem quaisquer obstruções, alcança as superfícies horizontais (lux)

- Determinação do coeficiente de utilização do local ( $K_u$ ): relação entre o fluxo luminoso que atinge o plano de trabalho e o total que penetra no ambiente, através da superfície iluminante do domus e de seu poço sendo função das dimensões e acabamento das superfícies internas dos ambientes.
- Cálculo do índice de local:

$$IL = \frac{C \times L}{(C + L) \times H}$$

C – comprimento do local (m)

L – largura do local (m)

H – distância do plano do teto ao de trabalho (m)

- Cálculo do coeficiente de poço:

$$K_p = K_m \times t \times K_o$$

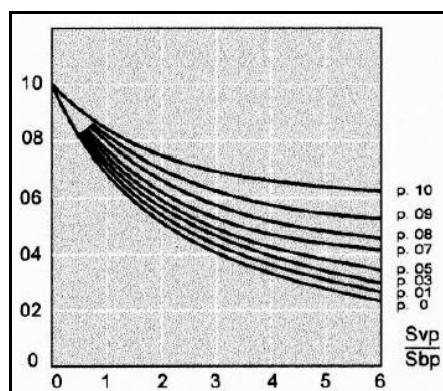
$K_m$  = coeficiente de manutenção – fator de correção (Ver Tabela 04)

$t$  = coeficiente de transmissão (Ver Tabela 05)

$K_o$  = coeficiente de obstrução interna (Ver Gráfico 02)

Tipo de Local e de Trabalho	Estado de Conservação	Fator de Correção ( $K_m$ )		
		Vertical	Inclinada	Horizontal
Limpo/Limpo Sujo/Sujo	Bom	0,9	0,8	0,7
		0,7	0,6	0,5
Limpo/Limpo Sujo/Sujo	Regular	0,8	0,7	0,6
		0,7	0,6	0,5
Limpo/Limpo Sujo/Sujo	Mau	0,7	0,6	0,5
		0,6	0,5	0,4

Fator de Correção ( $K_m$ ) (Fonte: Apostila Ergonomia em Ambientes Físicos)



Coeficiente de Obstrução Interna ( $K_o$ ) (Fonte: Apostila Ergonomia em Ambientes Físicos)

Material		Coeficiente de Transmissão do Médio
Vidro Laminado	Vidro transparente simples, de 2 a 3 mm de espessura	0,85
	triplo, de 4 a 6 mm de espessura	0,86
	aramado, até 6 mm de espessura	0,80
	Vidro translúcido impresso fantasia, de 3 a 4 mm de espessura	0,80-0,85
	colorido, absorvente de calor, de 4 a 6 mm de espessura	0,75-0,80
	Vidro especial colorido, absorvedor de calor, de 4 a 6 mm de espessura	0,74
Lâmina de Plástico	Telhas onduladas reforçadas com fibra de vidro	0,75-0,80
	Medianamente difusoras	0,65-0,75
	Muito difusoras	0,55-0,70
	Lâminas translúcidas "opalinas" de acrílico	0,55-0,78

Coeficiente de transmissão ( $t$ ) (Fonte: Apostila Ergonomia em Ambientes Físicos)

- Cálculo do número de domus necessário:

$$N = \frac{S_{zt}}{S_d}$$

- Cálculo da iluminação lateral.

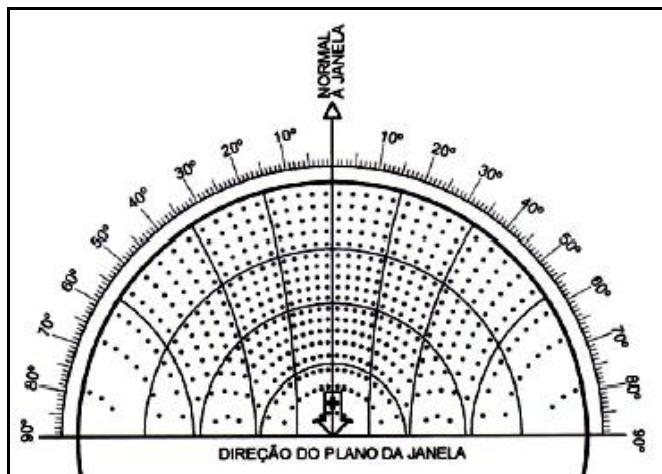


Diagrama para cálculo de iluminação lateral. (Fonte: Apostila Ergonomia em Ambientes Físicos)

- Cálculo do aclaramento no plano externo da janela :

$$E_e = \frac{n \text{º de pontos} \times E_h}{502}$$

- Cálculo do fluxo que penetra no recinto pela janela:

$$F_i = E_e \times S_o$$

$S_o$  = área líquida da abertura

- Cálculo do fluxo útil no recinto:

$$F_u = K_u \times p \times v \times t \times K_m \times F_i$$

$K_u$  = Coeficiente de utilização (ver Tabela 06)

$p$  = Coeficiente de parede (ver Tabela 07)

$v$  = Coeficiente de caixilho.

$t$  = Coeficiente de transmissão do vidro (Ver Tabela 05)

$K_m$  = Coeficiente de manutenção (Ver tabela 04)

$F_i$  = Fluxo que penetra no recinto pela janela

- Calculo do índice de recinto:

$$I_r = \frac{C \times L}{(C + L) \times H}$$

- Determinação do coeficiente médio de reflexão do teto e do coeficiente médio de reflexão das paredes e coeficiente de utilização:

Coeficiente de Reflexão						
Teto	0,7			0,5		
Paredes	0,7	0,5	0,3	0,7	0,5	0,3
Índice do recinto	Coeficiente de Utilização					
0,6	45	36	30	42	35	28
0,8	51	44	38	48	37	30
1,0	58	52	46	55	49	43
1,25	62	56	50	58	52	47
1,5	65	59	53	60	55	49
2,0	69	63	58	63	58	53
2,5	70	65	61	65	60	55
3,0	71	67	63	66	61	57
4,0	72	69	65	67	62	59
5,0	73	70	67	68	63	60

Coeficiente de utilização para recintos com janelas laterais. (Fonte: Apostila Ergonomia em Ambientes Físicos)

Coeficiente de Parede (p)	
Espessura da parede	Coeficiente de parede (p)
25 cm	0,90
15 cm	0,95

Coeficiente parede. (Fonte: Apostila Ergonomia em Ambientes Físicos)

- Cálculo do coeficiente de caixilho:

$$v = \frac{So - Sc}{So}$$

So = área líquida da abertura

Sc = área de obstrução provocada pelos caixilhos

- Cálculo do aclaramento útil médio no plano de trabalho:

$$Eu = \frac{Fu}{So}$$

Aquecimento solar para produção de água quente sanitária

- Cálculo da área coletora:

$$S = Q / (I \times R)$$

S = a área ( $m^2$ );

Q = calor necessário (kcal/dia)

I = intensidade da radiação solar ( $kWh/m^2$  dia ou  $kcal/m^2.h$ ); e,

R = rendimento dos coletores.

- Cálculo da quantidade de energia necessária para aquecer a água do reservatório:

$$Q = m \cdot cp \cdot \Delta t = \rho \cdot V \cdot cp \cdot (T_{reserv} - T_{amb})$$

m = massa (ou volume) de água a ser aquecida;

$\rho$  = densidade da água a  $25^\circ C$  (1 kg/l)

V = volume de água do reservatório a ser aquecido (litros/dia)

cp = calor específico da água (1 kcal/kg. $^\circ C$ )

T<sub>reserv</sub> = temperatura da água do reservatório ( $^\circ C$ )

T<sub>amb</sub> = temperatura ambiente (temperatura ambiente média mensal) ( $^\circ C$ )

Alojamento Provisório de Obra	24	litros por indivíduo
Casa Popular ou rural	36	litros por indivíduo
Residência	45	litros por indivíduo
Apartamento	60	litros por indivíduo
Quartel	45	litros por indivíduo
Escola (Internato)	45	litros por indivíduo
Hotel (sem incluir cozinha e lavanderia)	36	litros por indivíduo
Hospital	125	litros por leito
Restaurante e Similares	12	litros por refeição
Lavanderia	15	litros por Kg de roupa seca

Consumo Diário de Água Quente. (Fonte: ABNT)

Chuveiro	50	litros por banho
Banheira para uma pessoa	100	litros por banho
Banheira para duas pessoas	200	litros por banho
Torneira de água quente	50	litros por dia
Máquina de lavar pratos	150	litros por dia
Máquina de lavar roupa	150	litros por dia

Consumo médio de água aquecida em ambientes residenciais. (Fonte: PROCEL)

<b>Consumo Diário a 70°C (Litros)</b>	<b>Capacidade do Aquecedor (Litros)</b>	<b>Potência (Kw)</b>
60	50	0,75
95	75	0,75
130	100	1
200	150	1,25
260	200	1,5
330	250	2
430	300	2,5
570	400	3
700	500	4
850	600	4,5
1150	750	5,5
1500	1000	7
1900	1250	8,5
2300	1500	10
2900	1750	12
3300	2000	14
4200	2500	17
5000	3000	20

Dimensionamento indicado para aquecedores elétricos de acumulação. (Fonte: ABNT)

RCCTE: Método de Cálculo para Estação de Arrefecimento

- Cálculo das necessidades nominais de arrefecimento:

$$Nv_c = Qg \times (1-\eta)/A_p$$

$Qg$  = ganhos totais brutos do edifício

$\eta$  = fator de utilização dos ganhos

$A_p$  = área útil do pavimento

- Cálculo das cargas por unidade de tempo correspondentes à renovação do ar interior:

$$Q_{ra} = \rho C_p R_{ph} V (\Theta_i - \Theta_{atm}) / 3600 (W)$$

$\rho$  = massa volumétrica do ar ( $\text{kg/m}^3$ )

$C_p$  = calor específico do ar ( $\text{J/Kg}^\circ\text{C}$ )

$R_{ph}$  = número de renovações horárias do ar interior

$V$  = volume do interior do edifício ( $\text{m}^3$ )

$\Theta_i$  = temperatura interior de referência ( $^\circ\text{C}$ )

$\Theta_{atm}$  = temperatura do ar exterior ( $^\circ\text{C}$ )

(considera-se o termo  $\rho C_p / 3600$  com o valor de  $0,34 \text{ W/m}^3$ )

- Cálculo das perdas por ventilação:

$$Q = (xdias \times 24horas/1000) (0,34 Rph \times Área pav \times Pe dir) (\Theta_m - \Theta_i) (\text{kWh})$$

$R_{ph}$  = número de renovações horárias do ar interior

$\Theta_i$  = temperatura interior de referência ( $^\circ\text{C}$ )

$\Theta_{atm}$  = temperatura do ar exterior ( $^\circ\text{C}$ )

- Cálculo dos ganhos de calor de fontes internas:

$$Qi = q_i M A_p \times 0,720 (\text{kWh})$$

$q_i$  = ganhos térmicos internos médios por unidade de área útil de pavimento ( $\text{W/m}^2$ ) numa base de 24 horas por dia, todos os dias do ano ou em cada dia que haja ocupação.

$M$  = duração média da estação convencional de aquecimento (meses)

$A_p$  = área útil do pavimento ( $\text{m}^2$ )

- Cálculo da energia elétrica necessária ao funcionamento de sistemas mecânicos de ventilação:

$$E_v = P_v \times 24 \times 0,03 M$$

$P_v$  = soma das potencias elétricas de todos os ventiladores instalados (W)

M = duração do uso em meses

- Cálculo do fator de utilização dos ganhos térmicos em função da inércia térmica do edifício e da relação entre os ganhos totais brutos e as perdas térmicas totais do edifício:

$$\eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad \text{se } \gamma \neq 1$$
$$\eta = a / a+1 \quad \text{se } \gamma = 1$$

a = 1,8 – edifícios com inércia térmica fraca

a = 2,6 – edifícios com inércia térmica média

a = 4,2 – edifícios com inércia térmica forte

$$\gamma = \frac{\text{ganhos térmicos brutos}}{\text{nec. brutas de resfriamento}}$$

ABNT: Metodologia de Cálculo

- Cálculo da resistência térmica para camadas homogêneas:

$$R = e/\lambda$$

$e$  = espessura da camada

$\lambda$  = condutividade térmica do material

- Cálculo da transmitância térmica:

$$U = 1/R_T$$

- Cálculo da capacidade térmica de componentes:

$$C_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

$\lambda_i$  = condutividade térmica do material da camada  $i^a$ .

$R_i$  = resistência térmica da camada  $i^a$ .

$e_i$  = espessura da camada  $i^a$ .

$c_i$  = calor específico do material da camada  $i^a$ ;

$\rho_i$  = densidade de massa aparente do material da camada  $i^a$ .

- Cálculo da resistência térmica de um componente de superfície a superfície:

$$R_t = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tn} + R_{ar1} + R_{ar2} + \dots + R_{arn}$$

- Cálculo da resistência térmica de um componente de ambiente a ambiente:

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si}$$

- Cálculo da resistência térmica total de superfície a superfície de um componente plano constituído de camadas homogêneas e não homogêneas:

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}}$$

- Cálculo da resistência térmica total de ambiente a ambiente de um componente plano constituído de camadas homogêneas e não homogêneas:

$$R_t = R_{se} + R_t + R_{si}$$

- Cálculo da resistência térmica de componentes com câmara de ar ventilada:

Posição da câmara de ar	Câmara de ar	
	Pouco ventilada	Muito ventilada
Vertical (paredes)	S/L < 500	S/L ≥ 500
Horizontal (coberturas)	S/A < 30	S/A ≥ 30
Onde:		
S é a área total de abertura de ventilação, em cm <sup>2</sup> ;		
L é o comprimento da parede, em m;		
A é a área da cobertura.		

- Cálculo da resistência térmica de componentes com câmara de ar muito ventilada:

$$R_T = 2.R_{si} + R_t$$

- Cálculo da capacidade térmica de um componente com camadas homogêneas e não homogêneas:

$$C_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{C_{Tn}}}$$

- Cálculo do atraso térmico de um componente:

$$\varphi = 1,382 \cdot e \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot c}{3,6 \cdot \lambda}} \quad \text{ou} \quad \varphi = 0,7284 \cdot \sqrt{R_t \cdot C_T}$$

$\varphi$  = atraso térmico;

e = espessura da placa;

$\lambda$  = condutividade térmica do material;

$\rho$  = densidade de massa aparente do material;

c = calor específico do material;

$R_t$  = resistência térmica de superfície a superfície do componente;

$C_T$  = capacidade térmica do componente.

- Cálculo do fator de ganho de calor solar de elementos opacos:

$$FS_o = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{se}$$

$FS_o$  = fator solar de elementos opacos em percentagem;

$U$  = transmitância térmica do componente;

$\alpha$  = absorção à radiação solar – função da cor

$R_{se}$  = resistência superficial externa

- Cálculo do fator de ganho de calor solar de elementos transparentes ou translúcidos:

$$FS_t = U \cdot \alpha \cdot R_{se} + \tau$$

$FS_t$  = fator solar de elementos transparentes ou translúcidos;

$U$  = transmitância térmica do componente;

$\alpha$  = absorção à radiação solar;

$R_{se}$  = resistência superficial externa;

$\tau$  = transmitância à radiação solar.