



Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia
Órgão financiador

LabEEE



Laboratório de Eficiência Energética – UFSC

*PROPOSTA DE INCLUSÃO DE
PARÂMETROS DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA NO
CÓDIGO DE OBRAS DE SALVADOR*

**Relatório Final de
Atividades**

Encaminhado à COELBA em Fevereiro de 2003

Equipe:
Roberto Lamberts (Coordenador)
Joyce Correna Carlo (Pesquisadora)

Convênio Coelba – FEESC/UFSC
2002/2003

Florianópolis, fevereiro de 2003

RELATÓRIO FINAL

DESENVOLVIMENTO DE NORMA PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES EM SALVADOR

ÓRGÃO FINANCIADOR: COELBA, COMPANHIA DE ELETRICIDADE DO ESTADO DA BAHIA

ROBERTO LAMBERTS, PHD

MSc JOYCE C. CARLO

lamberts@erc.ufsc.br, joyce@labeee.ufsc.br

Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

(48) 331-5185, (48) 331-5184

Núcleo de Pesquisa em Construção, Centro Tecnológico

Universidade Federal de Santa Catarina

1. INTRODUÇÃO

O racionamento de energia ocorrido em 2001 facilitou a aprovação, e posterior sanção, da Lei no 10295 que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, sendo regulamentada pelo Decreto no 4059 de 19 de dezembro de 2001 que estabelece “níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, bem como as edificações construídas”. O decreto cria um “Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País”, ou seja, um grupo que irá propor uma forma de regulamentar as edificações construídas no Brasil visando o uso racional da energia elétrica. No Brasil ainda não existe legislação com parâmetros de eficiência energética na construção a nível nacional, encontrando-se ao lado de Botsuana, Bangladesh e Índia, dentre outros, como países sem regularização em eficiência energética (JANDA e BUSH, 1994)

De acordo com GELLER (1991), em análise realizada em edifícios comerciais e públicos – com e sem sistemas de ar-condicionado –, 64% do consumo de energia elétrica devem-se aos usos finais de iluminação e de ar-condicionado, chegando a 86% em bancos e escritórios. Levantamentos em Salvador também mostraram que o consumo de energia em salas de edifícios de escritórios poderia chegar a uma proporção de até 70% para ar-condicionado e 15% para iluminação (MASCARENHAS et al., 1988).

Segundo dados do Balanço Energético Nacional- BEN (2001), desenvolvido pelo Ministério das Minas e Energia- MME, nos últimos anos houve um aumento da participação da energia elétrica no consumo total de energia no Brasil, que representa 41% do total no ano de 2000.

Nos setores comercial e público este consumo está quase que exclusivamente relacionado com os aspectos de arquitetura, pois os usos finais mais relevantes (iluminação e ar condicionado) estão diretamente relacionados ao tipo de arquitetura e ocupação dos espaços.

Uma regulação nacional visando o combate ao desperdício de energia em edificações pode apresentar-se como uma norma, padrão ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). A nível municipal, critérios que definem a eficiência de uma edificação sob a ótica do

consumo de energia elétrica podem ser inseridos no Código de Obras do município. Este deve conter requisitos mínimos de eficiência energética especificados de acordo com o clima da cidade.

A simulação termo-energética é uma ferramenta que pode auxiliar na definição destes critérios, identificando as variáveis de maior influência na carga térmica e no consumo de energia elétrica de edificações. A ASHRAE, *American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers*, desenvolveu a norma americana *Standard 90.1* (ASHRAE, 1999) baseada em simulações termo-energéticas para inúmeros modelos.

A *Standard 90.1* (ASHRAE, 1999) estabelece condições limite, bem como aspectos técnicos de instalação, do envelope da edificação, propriedades das janelas e portas, infiltração e estanqueidade. No sistema de condicionamento de ar, estabelece parâmetros de eficiência baseados no desempenho do sistema (COP). Apresenta uma especificação simplificada aplicada a casos específicos que reduz a complexidade em se especificar um sistema completo de ar condicionado, de acordo com a eficiência mínima baseada em equipamentos de ar condicionado existentes nos EUA. Já o sistema de iluminação é definido não somente por sua potência por metro quadrado, mas também pela forma de controle do sistema, exigindo controles adicionais para usos especiais da iluminação, como para iluminação de tarefa.

A *Standard 90.1* (ASHRAE, 1999) apresenta as condições limite da envoltória para diversas cidades, além das americanas, em função de seu clima, incluindo Salvador. Indica as temperaturas de projeto para aplicação das estratégias de resfriamento de 31° C para a temperatura de bulbo seco e 26° C para a temperatura de bulbo úmido, estabelecendo ainda as condições limite de acordo com a faixa de graus dia em que se encontra com a temperatura base de 10° C¹: 5001-6000. Lista assim transmitâncias máximas e isolamentos mínimos de superfícies opacas e transmitâncias máximas e coeficientes de ganhos de calor máximos de sistemas de iluminação natural, como janelas ou domus. Como exemplo, citamos a recomendação de transmitância máxima de telhado de 0,366 W/m².°C o que, de acordo com a biblioteca eletrônica de materiais construtivos do VisualDoe 2.61 adaptada aos componentes construtivos mais comuns no Brasil, corresponde ao uso de telha de barro seguida de câmara de ar para fluxo horizontal de espessura entre 10 mm a 20 mm, feltro de lã de vidro de 75 mm de espessura e concreto de vermiculita com 15 cm de espessura. Já as transmitâncias máximas chegam a 0,513 W/m².°C para paredes leves, como as com madeira, e 3,352 W/m².°C para paredes com alta inércia. Esta última transmitância correspondente a uma parede de tijolos maciços de 10 cm com duas camadas de reboco de 2,5 cm.

No Brasil, SIGNOR (1999) realizou 510 simulações paramétricas por cidade para verificar quais os componentes da edificação mais intervêm no seu consumo de energia elétrica. Baseando-se nos padrões brasileiros da construção civil, identificou serem relevantes os seguintes parâmetros:

- A_{cob}/A_{tot} – relação entre área de cobertura e área construída,
- A_{fac}/A_{tot} – relação entre área de fachada e área total edificada,
- WWW – relação entre área de fachada e área envidraçada,
- PF – fator de projeção horizontal dos brises,
- SC – coeficiente de sombreamento,

¹ Temperatura base comum a todas as localidades registradas na *Standard 90.1*, razão de ser baixa para Salvador.

- U_{cob} – transmitância da cobertura,
- α_{cob} – absorvidade da cobertura,
- α_{par} – absorvidade das paredes externas,
- ILD – densidade de carga interna instalada.

A partir das variáveis selecionadas dentre as estudadas, foi desenvolvida uma equação para estimar o consumo de energia de edificações comerciais por cidade, o que inclui Salvador. A equação foi desenvolvida baseando-se nas simulações de consumo de energia elétrica realizadas no programa DOE 2.1-E e, através desta, constatou-se que, dentre as cidades estudadas, a cidade de Salvador apresentou os maiores consumos devido à combinação de fatores climáticos como umidade relativa, radiação solar e temperaturas.

A equação de consumo de energia para a cidade de Salvador encontrada por SIGNOR (1999) apresenta-se a seguir.

$$C = 0,80417 + 39,28823 \cdot A_{cob}/A_{tot} + 25,75737 \cdot [(A_{cob} \cdot U_{cob} \cdot \alpha_{cob})/A_{tot}] + 28,81267 A_{fac}/A_{tot} + 150,55861 (A_{fac} \cdot WWR \cdot SC)/A_{tot} - 91,21731 \cdot (A_{fac} \cdot WWR \cdot SC \cdot PF)/A_{tot} + 7,41655 \cdot WWR - 5,95851 \cdot WWR \cdot SC - 1,90946 \cdot PF + 3,57086 \cdot ILD \quad (\text{equação 01})$$

Sendo C o consumo anual em kWh/m² e as demais variáveis anteriormente definidas.

1.1. DISCUSSÃO

É possível perceber que as recomendações da Standard 90.1 (ASHRAE, 1999) são baseadas nos graus dia para resfriamento ou graus dia para aquecimento. Não considera, no entanto, a radiação solar ou os graus hora. Desta forma, outros fatores climáticos foram considerados relevantes para o aprimoramento das recomendações da Standard 90.1, adequando-as às necessidades locais. Para tanto, o arquivo climático de Salvador foi recompilado com dados de radiação solar calculados através de equações (PITTA, 2001 e CARLO, 2002) propostas. Estes terão impacto nas simulações, o que também incluem o levantamento das tipologias construtivas mais comuns no local.

A equação desenvolvida por SIGNOR (1999) foi utilizada em planilha eletrônica para obtenção de estimativas instantâneas do consumo de energia elétrica. A equação contém variáveis que apresentam uma relação linear com o consumo de energia, excluindo variáveis como a transmitância térmica das paredes externas. Estas, assim como outras consideradas relevantes pela Standard 90.1 (ASHRAE, 1999), foram avaliadas através de simulação do desempenho térmico das edificações: fator solar dos vidros, sombreamento interno e sombreamento externo das janelas, transmitância visível dos vidros e emitância e resistividade térmica de superfícies opacas.

Além da energia elétrica consumida pelo sistema de iluminação, este também gera uma carga térmica a ser compensada pelo sistema de ar condicionado. O uso de um sistema de iluminação eficiente referiu-se então a não somente sua energia consumida, mas à carga térmica gerada no ambiente interno de uma edificação. O método selecionado para especificar limites para o sistema de ar condicionado baseia-se na densidade da potência instalada do sistema de iluminação, desenvolvida por GHISI & LAMBERTS (1998a,b).

O sistema de condicionamento de ar não foi incluído por se tratar de tema fora do escopo do código de obras, embora este seja relevante no consumo de energia da edificação.

Constatou-se a necessidade de incluir critérios para um fornecimento eficiente de água aquecida, reduzindo ainda as perdas de calor.

Por fim, foram incluídos parâmetros visando o conforto térmico e visual. No entanto, sabe-se que há um conflito entre algumas necessidades da eficiência energética e do conforto visual. A necessidade de bloquear a radiação direta prejudica a entrada da radiação solar indireta, reduzindo a iluminância no ambiente interno, o que acarreta o uso da iluminação artificial. Esta iluminação artificial, se ineficiente, pode aumentar os ganhos térmicos internos. Optou-se então por indicar parâmetros que ofereçam a opção de captar a luz natural protegendo o ambiente interno da radiação solar direta.

2. OBJETIVOS

2.1. Principal

Elaborar propostas de edificações energeticamente eficientes para o Código de Obras de Salvador.

3.1. Secundários

- Recompilar o arquivo climático de Salvador usado em simulações termo-energéticas, incluindo dados calculados de radiação solar.
- Estabelecer critérios construtivos mínimos que caracterizem uma edificação como energeticamente eficiente para o clima de Salvador.
- Estabelecer critérios construtivos mínimos que proporcionem condições de conforto térmico e visual para a cidade de Salvador.

3. METODOLOGIA

3.1. Recompilação do arquivo climático de Salvador

O arquivo climático do ano climático de referência, TRY, de Salvador já existia para uso no programa DOE 2.1-E, com dados de temperatura, ventilação, umidade e nebulosidade, dentre outros. Para realizar as simulações necessárias à definição dos limites dos parâmetros construtivos, foi necessário incluir dados de radiação, calculados a partir da nebulosidade observada.

Através da equação desenvolvida por PITTA (2000) para a cidade de Florianópolis, foi desenvolvido um método de ajuste da equação para demais cidades do país. A equação original de Pitta (2000) estima a radiação global diária dada a nebulosidade média diária. Já tendo confirmado o uso da equação (equação 01) para estimar a radiação global horária (CARLO e LAMBERTS, 2001), a equação foi ajustada adequando o coeficiente “c” da equação 01 a partir da radiação média mensal do Atlas de Irradiação Solar do Brasil (COLLE e PEREIRA, 1998).

$$I/I_0 = a (N_H^2/10) + b (N_H/10) + c$$

(equação 01)

Sendo,

I – radiação global horária

I_0 – radiação global extraterrestre horária

N_H – nebulosidade horária (0 – 10, céu claro a céu nublado)

a, b, c – coeficientes de regressão

Os coeficientes mensais encontrados para estimar a radiação global horária em Salvador são apresentados na tabela 01.

Tabela 01: Coeficientes mensais “a” e “b” estimados por PITTA (2001) e o coeficiente “c” ajustado para a cidade de Salvador.

Coeficiente	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
a	-1.01	-0.85	-0.50	-0.39	-0.26	-0.46	-0.64	-0.66	-0.58	-0.77	-0.60	-0.40
b	0.78	0.62	0.10	-0.04	-0.08	0.03	0.14	0.23	0.15	0.29	0.20	-0.10
c	0.43	0.47	0.60	0.61	0.55	0.51	0.51	0.51	0.57	0.56	0.62	0.69

A radiação direta, outro dado de entrada do arquivo climático do programa DOE 2.1-E, foi estimada através da diferença entre a radiação global e a radiação difusa. A radiação difusa foi estimada utilizando-se o algoritmo de Erbs (DUFFIE e BECKMAN, 1991), apresentado na equação 02, tendo o índice de nebulosidade horária do céu e a radiação global horária .

$$I_d/I = \begin{cases} 1,0 - 0,09 k_t & \text{Se } k_t \leq 0,22 \\ 0,9511 - 0,1604 k_t + 4,388 k_t^2 - 16,638 k_t^3 + 12,336 k_t^4 & \text{Se } 0,22 < k_t < 0,80 \\ 0,165 & \text{Se } k_t > 0,80 \end{cases} \quad (\text{equação 02})$$

Sendo,

I_d = radiação difusa horária,

I = radiação global horária,

$k_t = I/I_0$, índice de nebulosidade horária do céu.

Demais dados do arquivo climático foram revistos, considerando que estes já compunham o TRY de Salvador. Após a compilação do arquivo climático, foi realizada uma simulação teste

construindo um modelo baseado em um levantamento disponibilizado pela IbenBrasil: o edifício Base Empresarial, localizado na avenida ACM, nº 3129, em Salvador. A diferença do consumo de energia elétrica das salas registrado no levantamento e o consumo de energia das salas simuladas no programa foi de 3 %. A proporção de consumo por uso final no levantamento foi de 15 % de consumo de energia pelo sistema de iluminação, 15 % pelos equipamentos elétricos e 70 % pelo ar condicionado. Na simulação, esta proporção alcançou 14,5 %, 14,5 % e 69 % para iluminação, equipamentos e ar condicionado, respectivamente, confirmando a adequação dos novos dados de radiação solar no arquivo climático TRY de Salvador.

3.2. Método para definição dos limites dos elementos opacos e transparentes

MEIER et alli (2002) indicaram três métodos para estabelecer critérios que definam um limite mínimo de eficiência energética em edificações: através de negociação entre grupos interessados, através de corte realizado em determinada porcentagem de modelos existentes e através de análise do custo do ciclo de vida do edifício. Destes, foi adotado o método de corte em determinada porcentagem após identificado o universo de consumo de energia elétrica possível de existir. A equação de SIGNOR (1999) foi processada em planilha eletrônica, sendo encontrados limites de consumo de energia através das combinações das variáveis apresentadas na tabela 02.

Tabela 02: Variáveis utilizadas para definir universo do possível consumo de energia em edificações comerciais.

	A_{cob}/A_{tot}	A_{fac}/A_{planta}	WWR %	PF	SC	U_{cob} W/(m ² K)	α_{cob}	ILD (W/m ²)	Consumo (kWh/m ²)
Mínimo	1	0.7	20	0	1	1,2	0,7	15	62,8
Máximo	0.1	0.14	80	0	1	1,2	0,7	35	334,8

Alguns dados da equação permaneceram constantes por serem considerados secundários nesta etapa de avaliação, não sendo tão impactantes quanto os demais. Outros, foram avaliados em etapa posterior. A A_{cob}/A_{tot} , A_{fac}/A_{planta} e o ILD originaram doze modelos base em que as outras variáveis foram distribuídas. Vale lembrar que não foi realizada pesquisa de campo para verificar qual a tendência de consumo no mercado, mas estabelecido o universo de consumo através das possibilidades de utilizar componentes com tais propriedades, independente da tendência real.

O corte foi realizado em 67%, 50% e 33% deste universo em cada modelo. Após análise, foi adotado o corte de 50%. Este corte foi utilizado para desenvolver os limites das propriedades térmicas das janelas.

3.2.1. Limites das propriedades térmicas de elementos transparentes

As propriedades térmicas das janelas estudadas foram: fator de projeção da janela (FP), percentual de janela na fachada (WWR, ou PJF) e o fator solar (FS). Como a equação de SIGNOR (1999) utiliza o coeficiente de sombreamento, este foi posteriormente convertido em fator solar.

Os consumos limites, definidos em 50% das alternativas existentes, onde as características combinadas das janelas (WWR ou PJF, FS e FP) indicavam quais propriedades térmicas ultrapassavam o consumo limite em cada modelo.

A figura 01 apresenta um exemplo da variação do coeficiente de sombreamento (CS) pela porcentagem de área de janela em relação à área da fachada (WWR, ou PJF) para uma edificação com densidade de carga interna de 35 W/m², dez pavimentos e com dimensões de 30 x 12 m em planta. Gráficos como este foram elaborados para densidades de carga interna de 15, 30 e 35 W/m², 1 e 10 pavimentos e plantas de 194 x 55 m e 30 x 12 m.

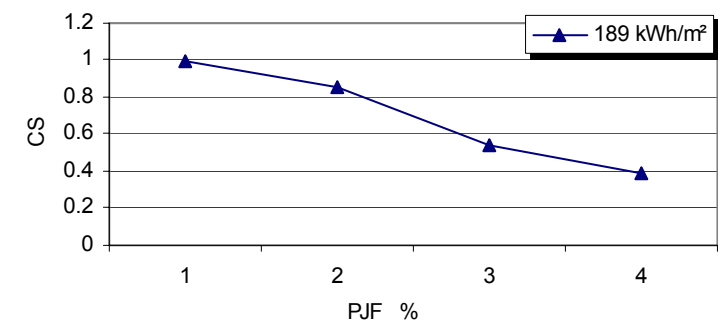


Figura 01: Variação do coeficiente de sombreamento da janela em função do WWR para o limite de 189 kWh/m² de um modelo de ILD= 35 W/m², 10 pavimentos, de 30 x 12 m de planta.

Tendo encontrado os limites do coeficiente de sombreamento para cada PJF, o fator de projeção foi utilizado para proporcionar um aumento no coeficiente de sombreamento.

A figura 02 apresenta as curvas encontradas para os limites do fator de projeção as equações que melhor descrevem estas curvas.

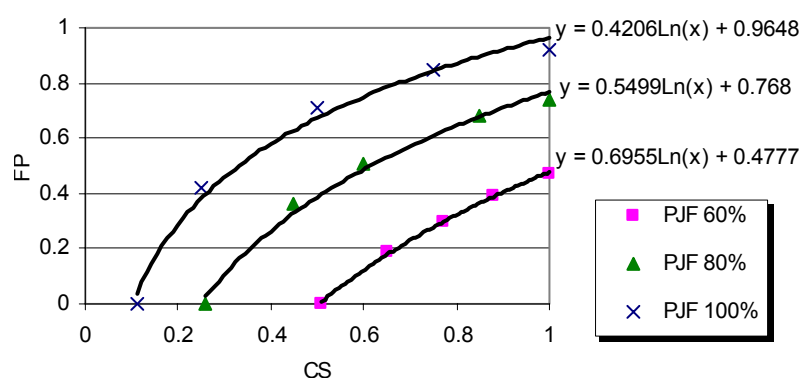


Figura 02: Curvas dos limites do fator de projeção para cada coeficiente de sombreamento e percentual de janela na fachada.

Após encontradas as equações, estas foram aplicadas de forma a estabelecer os limites do fator de projeção para todo coeficiente de sombreamento, que foi, finalmente, convertido em fator solar. A tabela 03 apresenta os limites encontrados do fator solar para as orientações norte, leste e sul. Caso a área de janela seja menor que 40% da área da fachada, é permitido

que seja usado vidro transparente 3 mm, cujo fator solar é 0,86. Caso a área de janela seja maior que 40% da área da fachada, deve-se instalar um vidro com fator solar menor que o fator solar contido na tabela 03.

Tabela 03: Limites do fator solar para as orientações norte, leste e sul.

	PJF			
	0 a 40%	40,01 a 60%	60,01 a 80%	80,01 a 100%
FS	0,86	0,43	0,22	0,09

Os limites da tabela 03 não são válidos para a orientação oeste, onde foi constatado ser esta orientação mais impactante no consumo de energia da edificação. Foram realizadas 134 simulações com o arquivo climático de Salvador, o TRY, e percebeu-se que o consumo de um edifício com janelas na fachada oeste se diferencia significativamente do consumo de energia de edifícios com janelas nas demais fachadas. A figura 03 apresenta a diferença de consumo de energia entre 4 alternativas de um edifício. Baseia-se em um modelo cuja única diferença é a orientação das janelas, presentes em uma única fachada por alternativa: norte, leste, sul e oeste. As diferenças de consumo são então entre as fachadas norte e sul, norte e leste, norte e oeste, sul e leste, sul e oeste e leste e oeste. Na figura 03, em cada alternativa, a área de janelas em relação à de vidro (PJF) variou de 20% a 80%. Percebe-se que as diferenças entre qualquer fachada e a fachada oeste são as mais significativas, independente do PJF.

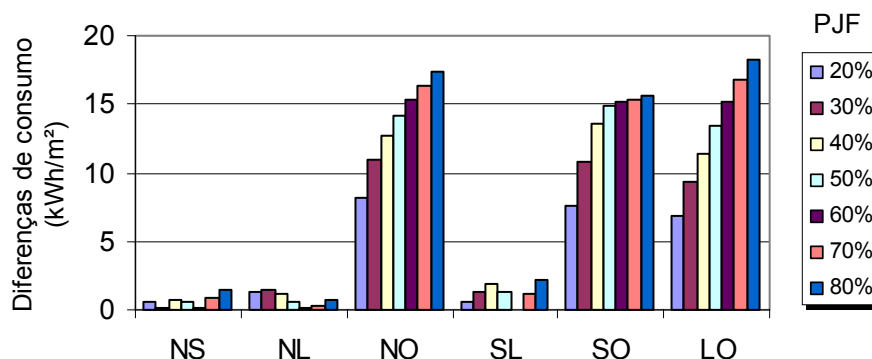


Figura 03: Diferenças de consumo entre as alternativas de janelas por fachada.

Assim, foi estabelecido um limite de fator solar mais rigoroso para os parâmetros que definem o desempenho térmico dos vidros da fachada oeste.

Aproximadamente mais 60 simulações acompanhadas de estimativas através da equação de consumo para Salvador foram realizadas para se estabelecer os limites das propriedades da janela de orientação oeste. Percebeu-se que, em geral, o consumo dos edifícios com janelas na fachada oeste e com janelas na fachada norte se equivalia quando o coeficiente de sombreamento do vidro orientado a oeste fosse 40% menor que do edifício com vidros com CS 1, orientados a norte. Desta forma, o fator de projeção na fachada norte que se referia ao

coeficiente de sombreamento 1 foi deslocado para referir-se ao coeficiente de sombreamento 0,4. Assim, foram estabelecidas novas equações, como apresenta a figura 04.

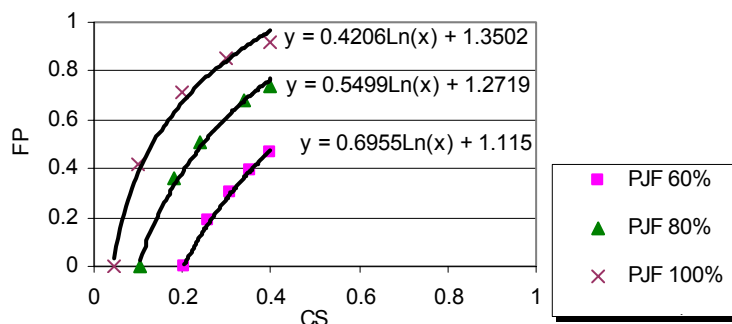


Figura 04: Equações encontradas para definição dos limites na fachada oeste.

Tendo as equações, foram estabelecidos limites de coeficiente de sombreamento mais rigorosos para a fachada oeste e convertidos para fator solar, conforme tabela 04. Segundo a tabela 04, o uso de vidro claro em fachadas com PJF de até 40% permanece igual à demais orientações, mas são estabelecidos limites mais rigorosos em fachadas com PJF acima de 40%.

Tabela 04: Fator solar para janelas orientadas a oeste.

	PJF			
	0 a 40%	40,01 a 60%	60,01 a 80%	80,01 a 100%
FS	0,86	0,17	0,09	-

A tabela 04 também mostra que não são permitidas fachadas oeste com PJF acima de 80% sem proteção solar. Na prática, não é também possível utilizar vidros com fator solar de 0,09 por estes não existirem no mercado. Desta forma, caso seja desejado instalar janelas orientadas a oeste que ocupem mais de 60% da área da fachada, é necessário usar proteções solares.

A tabela 05 apresenta a relação entre o percentual de janela na fachada, o fator solar e o fator de projeção para as orientações norte, leste e sul e a tabela 06 apresenta a mesma relação para a orientação oeste.

Tabela 05: Fator de projeção mínimo de janelas orientadas a norte, leste e sul.

FS	PJF			
	0 a 40%	40,01 a 60%	60,01 a 80%	80,01 a 100%
0.86	0	0.48	0.77	0.96
0.82	0	0.44	0.74	0.94
0.77	0	0.40	0.71	0.92
0.73	0	0.36	0.68	0.90
0.69	0	0.32	0.65	0.87
0.65	0	0.28	0.61	0.84
0.60	0	0.23	0.57	0.81
0.56	0	0.18	0.53	0.78
0.52	0	0.12	0.49	0.75
0.47	0	0.06	0.44	0.71
0.43	0	0	0.39	0.67
0.39	0	0	0.33	0.63
0.34	0	0	0.26	0.58
0.30	0	0	0.19	0.52
0.26	0	0	0.11	0.46
0.22	0	0	0	0.38
0.17	0	0	0	0.29

A tabela 05 mostra que é possível usar qualquer tipo de vidro, até mesmo vidro com fator solar 0,86m caso seja utilizado algum dispositivo de sombreamento horizontal, mesmo que seja necessário que este tenha profundidade igual à altura do vão. A tabela 06 apresenta FPs mais rigorosos e, embora existam relações para todos os casos, alguns podem ser inviabilizados devido à necessidade de utilizar dispositivos de sombreamento com profundidade maior que a altura do vão. Em todos os casos, no entanto, há soluções que podem ser ajustadas à edificação de acordo com as necessidades de projeto.

Tabela 06: Fator de projeção mínimo de janelas orientadas a oeste.

FS	PJF			
	0 a 40%	40,01 a 60%	60,01 a 80%	80,01 a 100%
0.86	0	1.12	1.27	1.35
0.82	0	1.08	1.24	1.33
0.77	0	1.04	1.21	1.31
0.73	0	1.00	1.18	1.28
0.69	0	0.96	1.15	1.26
0.65	0	0.91	1.11	1.23
0.60	0	0.87	1.08	1.20
0.56	0	0.82	1.04	1.17
0.52	0	0.76	0.99	1.14
0.47	0	0.70	0.94	1.10
0.43	0	0.63	0.89	1.06
0.39	0	0.56	0.83	1.01
0.34	0	0.48	0.77	0.96
0.30	0	0.38	0.69	0.91
0.26	0	0.28	0.61	0.84
0.22	0	0.15	0.51	0.77
0.17	0	0	0.39	0.67

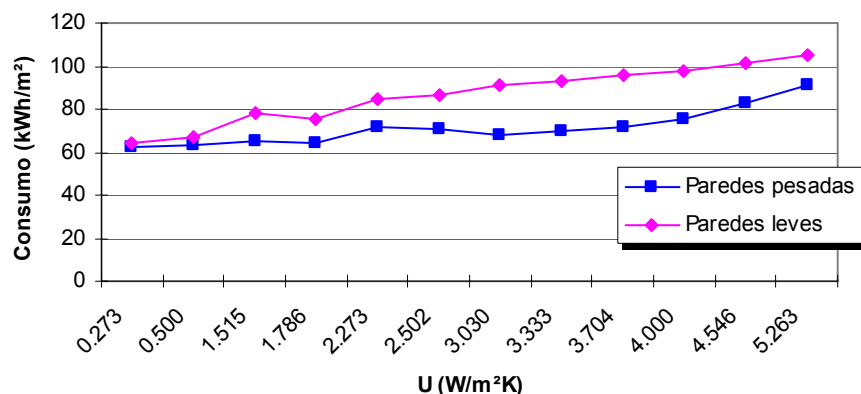
Desta forma, os limites estabelecidos para as janelas procuram flexibilizar o projeto de edificações fornecendo soluções cuja definição ficará a critério do arquiteto ou engenheiro.

3.2.2. Limites das propriedades térmicas de elementos opacos

Paredes

Transmitância

Os limites da transmitância de paredes foram definidos através de simulações no programa VisualDOE. Foram simulados quatro protótipos de edificações em que foi variada a transmitância da parede, sendo possível então verificar a relação entre o consumo e a transmitância, como mostrado na figura 05. Esta mostra o consumo de energia em função da transmitância de dois tipos de paredes: paredes leves e paredes pesadas. Nos dois casos, há uma tendência ao aumento do consumo de energia elétrica com o aumento da transmitância térmica.



Com base nas simulações, foi definido um limite de massa para especificação de dois limites de transmitância térmica: paredes abaixo de 100 kg/m², consideradas leves, deveriam apresentar transmitâncias de no máximo 1,2 W/m²K, enquanto paredes com massa acima de 100 kg/m², consideradas pesadas, deveriam poderiam apresentar transmitâncias térmicas de até 3,7 W/m²K. 3,7 W/m²K é a transmitância de uma parede de tijolos maciços aparente, componente construtivo comumente utilizado em todo território brasileiro. Este limite não impede então que sejam utilizadas as técnicas que fazem parte da cultura construtiva brasileira.

Coberturas:

Seguindo a mesma intenção de incorporar os elementos que caracterizam a cultura construtiva em Salvador, a transmitância térmica máxima para coberturas foi limitada em 1,2 W/m²K, correspondente a uma cobertura de telha de barro com lâmina de alumínio polido e forro de concreto. Apesar da transmitância térmica de uma cobertura de telha de barro sem forro ser de 4,55 W/m²K, esta foi exceção, podendo então ser utilizada, por se tratar de um componente largamente utilizado na região, incorporado à arquitetura vernacular. Procurou-se assim manter a tradição construtiva local.

Foi recomendado o uso de cores claras nas coberturas quando estas não forem de cerâmica não esmaltada. Foi exigido o uso de coberturas brancas quando estas não forem visíveis do solo. Desta forma, não se interferiu na estética, deixando a cargo do arquiteto estabelecer o estilo e aspecto da edificação, mas melhores condições de conforto foram garantidas quando estas não interferem na criatividade do arquiteto.

A tabela 07 apresenta as propriedades térmicas limite definidas para os elementos opacos da envoltória.

Tabela 07: Transmitância térmica máxima e massa mínima das superfícies opacas.

Classe de componente construtivo	U max (W/m ² K)	Massa mín (kg/m ²)
cobertura	1,2	-
parede	3,7	110
externa	1,2	-

3.3. Sistemas de iluminação e aquecimento de água

Outros sistemas especificados no Código de Obras foram os sistemas de iluminação artificial e de aquecimento de água.

Dois focos foram trabalhados no sistema de iluminação artificial: os controles de iluminação e o limite de densidade de potência interna instalada do sistema. Através das especificações exigidas para os controles de iluminação, é possível garantir um uso racional da energia por iniciativa do usuário, ao desligar controles de pontos de luz próximos à janela ou ao programa do sistema para desligar em determinadas horas ou quando o ambiente estiver desocupado.

Com relação aos limites de densidade de potência interna para o sistema de iluminação, estes foram baseados em um estudo realizado em uma dissertação de mestrado (GHISI, 1997) e em dois artigos publicados em congressos no Brasil e na França (GHISI & LAMBERTS, 1998a,b). A definição dos limites foi baseada em uma comparação de potências instaladas obtidas para sistemas energeticamente eficientes e um sistema ineficiente, composto por luminárias com refletor branco, lâmpadas fluorescentes de 40W e reator eletromagnético - semelhante aos sistemas comumente encontrados em edificações comerciais brasileiras. Os limites adotados garantirão uma redução média mínima de 50% na densidade de potência instalada em comparação com sistemas de iluminação energeticamente ineficientes.

Optou-se por não exigir sistema de aquecimento de água alternativo ao chuveiro elétrico, largamente utilizado no Brasil, mas foi exigida a existência de uma estrutura hidráulica que facilitasse a instalação de um sistema de aquecimento solar quando desejado pelo usuário ou proprietário da edificação. A obrigatoriedade de encanamento de água quente devidamente isolado em pontos de água de edificações residenciais com espera para aquecimento solar foi assim incluída no texto do Código de Obras de Salvador.

3.4. Conforto térmico: outros itens

Outros itens foram definidos no Código de Obras de Salvador. Estes se relacionam ao conforto térmico principalmente, sendo que alguns são relacionados ao conforto visual. Estes foram definidos através do conhecimento já adquirido na área, avaliando o que seria mais adequado para o caso de Salvador.

Dentre os itens relacionados ao conforto térmico, destaca-se a necessidade de ventilação constante, que foi incluída no código através da exigência de dispositivos que garantam a ventilação em dormitórios com sombreamento, de poços de iluminação e ventilação com aberturas nas suas extremidades, com especificações de área mínima para ventilação em janelas.

Para proporcionar melhores condições de iluminação com o uso da luz natural, foram exigidas cores claras nos poços de iluminação e ventilação para melhor reflexão da luz natural e penetração desta no ambiente iluminado através do poço. Foi também limitada uma profundidade máxima em ambientes internos de 2,5 vezes a distância do topo da janela até o piso de forma a evitar a existência de ambientes escuros ou com alto contraste visual.

4. REUNIÕES E NEGOCIAÇÕES

A partir do mês de abril foram realizadas reuniões junto à PMS-SEPLAN (Prefeitura Municipal do Salvador, Secretaria de Planejamento) e a outras entidades locais e federais para negociação dos parâmetros definidos no código de obras. As entidades federais, PROCEL e MME acompanharam o processo enquanto entidades como CREA-BA, ADEMI, SINDUSCON, IAB, Sindicato dos Arquitetos e universidades, UFBA e UNIFACS, participaram das negociações com propostas e manifestações dos interesses de suas bases de representação. Este processo promete ter continuidade mesmo após o término do projeto para elaboração do texto do Código de Obras, tanto antes quanto durante a tramitação do texto na Câmara Municipal.

5. RESULTADOS FINAIS

5.1. TEXTO DO CÓDIGO DE OBRAS

O texto final consta de modificações em artigos existentes e inserção de novos artigos que envolvem temas de eficiência energética e conforto térmico e visual. Modificações na apresentação do projeto junto à prefeitura para aprovação também tiveram que ser incluídas, bem como propostas inovadoras para a cidade. O anexo 1 apresenta o texto completo do Código de Obras proposto, sendo que o texto em preto é o texto do código vigente e o texto escrito em azul o novo texto proposto, com observações em vermelho identificando se o texto é uma modificação do código atual ou é uma nova proposta inserida na lei municipal.

5.2. MANUAL DOS NOVOS ITENS DO CO

Junto ao Código de Obras percebeu-se a necessidade de elaborar um manual com esclarecimentos sobre os principais temas do Código e os que mais poderiam apresentar dificuldade em se entendidos. O manual destina-se ao usuário do Código de Obras após aprovado, mas foi também utilizado para esclarecimentos junto ao representantes das entidades envolvidas. Estes também colaboraram no seu desenvolvimento à medida que apresentavam dúvidas que foram anotadas e inseridas *a posteriori* no manual. O manual ilustrado das novas propostas de eficiência energética para o Código de Obras de Salvador encontra-se no anexo 2. É composto de 34 figuras e 4 tabelas que ilustram as exigências dos artigos. Também apresenta uma introdução em que esclarece os objetivos da proposta e um breve resumo sobre as condições climáticas de Salvador de que os arquitetos devem ter conhecimento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. ASHRAE Standard 90.1 –1999. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, 1999.

BRASIL. Regulamenta a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Decreto, n. 4.059, 19 de Dezembro de 2001.

GCE. A Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica - GCE, determina que as concessionárias, permissionárias e autorizadas de serviços públicos de distribuição de energia elétrica, das Regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste adotem a redução de fornecimento de

energia elétrica às Unidades Consumidoras por elas atendidas, iniciando o racionamento de energia elétrica. Resolução, n. 1, 16 de maio de 2001. *Lex*: Diário Oficial da União de 17 de maio de 2001, Seção 1, p. 1, v. 139, n. 95 - E.

CARLO, J. C, LAMBERTS, R. *Urban climate and its influence on energy consumption ; a case study in two brazilian cities*. Seventh International IBPSA Conference, Proceedings... Rio de Janeiro: IBPSA Brazil. 2001. pp 167-180.

DUFFIE, J. A., BECKMAN, W. A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. 2nd edition. New York: John Wiley & Sons, 1991. 919 p.

GHISI, E. (1997). *Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 246p.

GHISI, E.; LAMBERTS, R. (1998a). *Proposta de normalização para limitar o consumo de energia elétrica em sistemas de iluminação*. Anais do VII Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído - ENTAC. Florianópolis, Santa Catarina, 381-390.

GHISI, E.; LAMBERTS, R. (1998b). *Study of the lighting power densities: a proposal of a standard for Brazil*. The 2nd European Conference on Energy Performance and Indoor Climate and 3rd International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings, Lyon, France, 147-152, Vol 1.

MEIER, A., OLOFSSON, T., LAMBERTS R. *What is an Energy-Efficient Building?* IX ENCAC, Anais... Foz do Iguaçu: ANTAC, 2002.

PITTA, T. *Estudo de métodos diretos e indiretos de estimativa de irradiação solar global diária horizontal a partir de observações superficiais de cobertura total de nuvens em Florianópolis*. 2001. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

SIGNOR, R. *Análise de regressão do consumo de energia elétrica frente a variáveis arquitetônicas para edifícios comerciais climatizados em 14 capitais brasileiras*. 1999, 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.