

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Letícia Brayner Ramalho

Proposta de aprimoramento dos quesitos de eficiência energética do sistema de certificação AQUA para habitações.

**São Paulo
2012**

Letícia Brayner Ramalho

Proposta de aprimoramento dos quesitos de eficiência energética do sistema de certificação AQUA para habitações.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Habitação: Planejamento e Tecnologia.

Data da aprovação ____/____/____

Profa. Dra. Maria Akutsu (Orientadora)
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
do Estado de São Paulo

Membros da Banca Examinadora:

Profa. Dra. Maria Akutsu (Orientadora)
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Prof. Dr. Fúlvio Vittorino (Membro)
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Prof. Dr. Arlindo Tribess (Membro)
USP – Universidade de São Paulo

Letícia Brayner Ramalho

Proposta de aprimoramento dos quesitos de eficiência energética do sistema de certificação AQUA para habitações.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Habitação: Planejamento e Tecnologia.

Área de Concentração: Tecnologia e Construção de Edifícios.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Akutsu

São Paulo
Maio/2012

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Departamento de Acervo e Informação Tecnológica – DAIT
do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT

R165p

Ramalho, Leticia Brayner

Proposta de aprimoramento dos quesitos de eficiência energética do sistema de certificação AQUA para habitações. / Leticia Brayner Ramalho. São Paulo, 2012. 125p.

Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Área de concentração: Tecnologia em Construção de Edifícios.

Orientador: Profa. Dra. Maria Akutsu

1. Eficiência energética 2. Edificações 3. Processo AQUA 4. Certificação ambiental 5. Qualidade ambiental 6. Tese I. Akutsu, Maria, orient. II. IPT. Coordenadoria de Ensino Tecnológico III. Título

13-26

CDU 728:620.9(043)

“Dedico este trabalho aos meus pais,
minha irmã e meu irmão. Sem eles,
nenhum esforço faria sentido”.

AGRADECIMENTOS

À Professora Maria Akutsu, em primeiro lugar, pela paciência com a minha inconstância ao longo desses anos. Por ter sido minha orientadora, e ter permitido a realização deste trabalho, pelo apoio e por suas intervenções precisas, que foram essenciais para a realização e conclusão desta dissertação.

Ao Prof. Fúlvio Vittorino um especial agradecimento por todas as contribuições e pela paciência com as minhas dúvidas, que não foram poucas. Muito obrigada por ter despertado o meu interesse por este trabalho.

Ao Prof. Alberto Hernandez Neto pelas contribuições durante a qualificação. Ao Prof. Douglas Barreto, por todas as orientações desde o início do curso, em especial na fase de qualificação, e aos Professores Ércio Thomaz e Cláudio Mitidieri pelos ensinamentos e pela amizade.

À Secretaria do IPT, nas pessoas de Mary Toledo, Bruno e Adilson pelas ajudas todas, pelas informações, por toda a atenção ao longo desses anos.

À Fundação Vanzolini, nas pessoas do Bruno Casagrande e Felipe Coelho por atenderem com tanta presteza às minhas dúvidas.

À Equipe Schahin, na pessoa do Wanderley Renó, e ao Leonardo MacDowell, da CDHU, por todas as informações e materiais cedidos durante a fase de qualificação.

Ao Professor Leonardo Bittencourt e aos amigos Luiz Felipe, Fernando Cavalcanti e Tathiane Martins pelos materiais cedidos, pela tranquilidade das conversas que me ajudaram tanto.

À toda a equipe da PHRO engenharia por ter entendido a necessidade de afastamento, em especial ao eng. Paulo Henrique Procópio por todo incentivo e compreensão.

À Aline, Renata, Roberta e Josi e ao Bam por toda ajuda psicológica e sentimental, pela paciência em me ouvir falar tanto sobre um assunto que tanto desconhecem. E ao Bam também pelas revisões gráficas.

À minha avó, que nos seus quase 94 anos permaneceu nos incentivando a crescer e a enfrentar novos desafios.

E à Manoela, Flávio, Alexandre e Arthur pelo incentivo incondicional, pelo carinho, pelas ajudas, pela companhia, pela amizade que tanto me fortalece para enfrentar os desafios.

E um agradecimento muito especial ao Rodrigo Ramalho por seu essencial apoio, o verdadeiro incentivador deste trabalho, e também pelas longas e acalentadoras conversas. E a Geísa Brayner, que, como se não bastasse o papel de mãe, fez também as vezes de psicóloga, de professora, revisora de textos, e mais do que tudo, foi o meu equilíbrio durante as horas mais difíceis deste trabalho.

RESUMO

A preocupação com o crescente padrão de consumo de energia das sociedades, tendo em vista o seu reflexo negativo no planeta, tem impulsionado diversas políticas mundiais a criar estratégias para reduzir estes impactos. Uma das formas é motivar a reestruturação do padrão de consumo de energia atual, que vem crescendo na última década, especialmente no setor residencial. Neste contexto, os sistemas de certificação ambiental para edificações vêm se destacando como de fundamental importância para estimular as mudanças dos padrões de consumo. No Brasil, o Processo AQUA para habitações, lançado em 2009, apresenta um quesito exclusivo para avaliação da gestão de energia das edificações. Contudo, por se tratar de uma ferramenta recente, ainda não possui comprovação de que seus requisitos contribuem de forma efetiva para estas mudanças. Este trabalho tem o objetivo de propor uma melhoria da estrutura de avaliação da categoria 4, que trata a gestão de energia do Processo AQUA para edificações habitacionais, tendo em vista que foram identificadas falhas em sua estrutura de avaliação, tanto na metodologia, quanto na própria existência de determinados requisitos. Para tanto, o documento Procel Edifica para residências foi utilizado como base para esta proposta, pois este sistema de certificação, restrito a avaliar a eficiência energética das edificações, aborda os mesmos quesitos que a Categoria 4 do AQUA (aquecimentos de água, envoltória, áreas comuns), porém possui uma estrutura de avaliação mais consistente, definida por critérios mensuráveis. Assim, a metodologia aqui lançada respeita os níveis de desempenho da estrutura do AQUA, a qual é composta por Preocupações, mas incorpora a definição de requisitos, critérios e métodos conforme apresentado pelo Procel Edifica para residências.

Palavras Chaves: Eficiência energética, Processo AQUA, Procel Edifica, sistemas de avaliação, edifícios habitacionais.

ABSTRACT

Proposal for improvement of the requirements for energy efficiency of the certification system AQUA for homes

The concern about the increasing consumption pattern of energy companies, in view of its negative effect on the planet, has driven a number of policies worldwide to create strategies to reduce these impacts. One way is to encourage the restructuring of the pattern of current power consumption, which has been growing over the last decade, especially in the residential sector. In this context, environmental certification systems for buildings have stood out as crucial to encourage changes in consumption patterns. In Brazil, the AQUA Process for homes, launched in 2009, presents a unique item for evaluating the energy management of buildings. However, because this is a recent tool, there is not any evidence that its requirements contribute effectively to these changes. This paper aims to propose an improved evaluation framework of category 4, which deals with energy management of AQUA Process for homes, in order that have been identified flaws in its assessment framework, both in methodology and in existence of certain requirements. Therefore, the document Procel Edifica for homes was used as the basis for this proposal because this certification system, restricted to assess the energy efficiency of buildings, addresses the same questions that a Category 4 AQUA (water heaters, envelopment, common areas), but has a more consistent assessment framework, defined by measurable criteria. Thus, the methodology introduced here regarding the performance levels of the structure of AQUA, composed of Concerns, but incorporates the definition of requirements, criteria and methods, as submitted by Procel Edifica for homes.

Keywords: Energy efficiency, AQUA Process, Procel Edifica, certification system, homes.

Lista de ilustrações

Imagem 1 -	Estrutura QAE	29
Imagem 2 -	Perfil de desempenho mínimo do QAE	31
Imagem 3 -	ENCE Projeto do Edifício	40
Imagem 4 -	ENCE Geral de edifícios que possuem somente ventilação natural	40
Imagem 5 -	Bloco de Concreto	62
Imagem 6 -	Bloco Cerâmico	62
Imagem 7 -	Parede de Concreto	63
Imagem 8 -	Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte	67
Quadro 1 -	Classificação da Categoria 4	30
Quadro 2 -	Pontuação das bonificações	45
Quadro 3 -	AQUA – Categoria 4	48
Quadro 4 -	Requisito 3: controle do consumo de energia nas áreas comuns – AQUA Categoria 4	58
Quadro 5 -	Adaptações dos níveis de eficiência	74
Quadro 6 -	Estrutura do AQUA Proposto	75

Lista de Equações

Equação 1 -	Pontuação Total	45
Equação 2 -	Absortância vidro fachada: em contato	78
Equação 3 -	Absortância vidro fachada: câmara de ar	78
Equação 4 -	Equivalentes numéricos da envoltória para resfriamento	81
Equação 5 -	Equivalentes numéricos da envoltória para ZB1	82
Equação 6 -	Equivalentes numéricos da envoltória para ZB2	82
Equação 7 -	Equivalentes numéricos da envoltória para ZB3	82
Equação 8 -	Equivalentes numéricos da envoltória para ZB4	82
Equação 9 -	Equivalentes numéricos da envoltória para ZB5 a 8	82
Equação 10-	Equivalentes numéricos da envoltória para refrigeração	83
Equação 11-	Espessura mínima de isolamento	86

Lista de Tabelas

Tabela 1 -	Equivalente Numérico (EqNum) para cada nível de eficiência	41
Tabela 2 -	Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento	42
Tabela 3 -	Equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento	43
Tabela 4 -	Distribuição de pesos de acordo com a Zona Bioclimática	42
Tabela 5 -	Coeficiente das regiões	45
Tabela 6 -	Classificação do nível de eficiência de acordo com a pontuação obtida	46
Tabela 7 -	Transmitância de Referência – Categoria 4	49
Tabela 8 -	Transmitância vidros e portas de referência – Categoria 4	50
Tabela 9 -	Relação entre exigências e níveis de desempenho – Categoria 4	60
Tabela 10 -	AQUA Proposto – Preocupação 4.1	76
Tabela 11 -	AQUA-Proposto - Classificação Requisito 4.1.1	77
Tabela 12 -	AQUA-Proposto - Classificação Requisito 4.1.2	79
Tabela 13 -	AQUA-Proposto – Classificação Requisito 4.1.4	81
Tabela 14 -	AQUA-Proposto – Classificação Requisito 4.1.5	82
Tabela 15 -	Transmitância vidros e portas de referência – Categoria 4	84
Tabela 16 -	AQUA-Proposto – Classificação Requisito 4.3.2	86
Tabela 17 -	AQUA-Proposto - Classificação da eficiência de sistemas de aquecimento solar (com backup por resistência elétrica)	88
Tabela 18 -	AQUA-Proposto - Classificação de eficiência de bombas de calor	89
Tabela 19 -	AQUA-Proposto - Classificação da eficiência de sistema de aquecimento a gás (classificados no PBE)	90

Tabela 20 -	AQUA-Proposto – Classificação aquecedores a gás PBE	90
Tabela 21 -	AQUA-Proposto – Classificação aquecedores a gás	91
Tabela 22 -	Potência mínima para sistema elétrico	92
Tabela 23 -	AQUA-Proposto – Classificação Requisito 4.3.4	93
Tabela 24 -	AQUA-Proposto – Preocupação 4.3	94
Tabela 25 -	AQUA-Proposto – Classificação Requisito 4.3.2	95
Tabela 26 -	Categoria de uso dos elevadores – VDI 4707	96
Tabela 27 -	AQUA-Proposto – Classificação Requisito 4.3.3	97

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AQUA - Alta Qualidade Ambiental

BREEAM - *Building Research Establishment's Environmental Assessment Method.*

CA - Consumo relativo anual para aquecimento

CASBEE - *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency.*

CEP - Coeficiente de Energia Primário

CEPREF - ,Coeficiente de Energia Primário de Referência

CNUMAD - Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento

CONAMA – Conselho Nacional de meio ambiente

CR - Consumo relativo de refrigeração

CSTB - *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*

ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

EQNUM - Equivalente Numérico

EQNUMENV – Equivalente Numérico da Envoltória

EQNUMENVAMBRESF - Equivalentes Numéricos da Envoltória do Ambiente para Resfriamento

EQNUMENVAMBA - Equivalentes Numéricos da Envoltória do Ambiente para Aquecimento

FCAV – **Fundação Carlos Alberto Vanzolini**

GBTTool - *Green Building Tool*

GRh - Graus-hora para resfriamento

HQE - *Haute Qualité Environnementale*

IEA - Agência Internacional de Energia

iiSBE - *International Initiative for a Sustainable Built Environment*

LABEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design*

MME - Ministério de Minas e Energia

NBR - Normas Brasileiras

PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem

PTAC – Pontuação Total

PROCEL EDIFICA - Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações

QAE - Qualidade Ambiental do Edifício

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

RCCTE - Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios

RTQ - Requisitos Técnicos da Qualidade

RTQ-R - Requisitos Técnicos da Qualidade para Edificações Residenciais

SGE - Sistema de Gestão do Empreendimento

USGBC - *United States Green Building Council*

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	OBJETIVO GERAL.....	18
1.2	JUSTIFICATIVA.....	18
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	20
2	CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS E NORMAS BRASILEIRAS.....	21
2.1	CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS.....	21
2.2	PROCESSO AQUA.....	27
2.3	NORMAS BRASILEIRAS	32
3	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES.....	35
3.1	PROCEL EDIFICA.....	39
3.2	AQUA CATEGORIA 4 - GESTÃO DA ENERGIA.....	47
4	CATEGORIA 4: ANÁLISE CRÍTICA.....	61
4.1	PREOCUPAÇÃO 4.1.....	61
4.2	PREOCUPAÇÃO 4.2.....	66
4.3	PREOCUPAÇÃO 4.3.....	68
4.4	PREOCUPAÇÃO 4.4.....	71
5	PROPOSTA DE APRIMORAMENTO.....	74
5.1	AQUA-PROPOSTO PREOCUPAÇÃO 4.1.....	75
5.2	AQUA-PROPOSTO PREOCUPAÇÃO 4.2.....	83
5.3	AQUA-PROPOSTO PREOCUPAÇÃO 4.3.....	93
6	CONCLUSÃO.....	100
	REFERÊNCIAS	102
	ANEXO A	107
	ANEXO B	125

1 INTRODUÇÃO

Diante da preocupação com o crescente padrão de consumo de energia das sociedades, dado seu reflexo negativo no planeta, diversas políticas mundiais criam estratégias para reduzir estes impactos, principalmente no que se refere à poluição associada ao uso de energias fósseis e o consequente incentivo às bioenergias e energias renováveis.

Neste contexto, autores como Sachs (2007) ressaltam a importância de reestruturar este padrão de consumo de energia das civilizações, por meio de medidas para aumentar a eficiência no uso final das energias produzidas, fornecendo alternativas para substituir o uso de energias fósseis para suprir o constante crescimento da demanda.

“A energia que menos polui e que geralmente menos custa é aquela que deixa de ser produzida graças à adoção de um perfil mais sóbrio da demanda energética e à maior eficiência no uso final das energias produzidas. A substituição das energias fósseis por bioenergias e por todas as demais energias renováveis só vem em terceiro lugar”. (SACHS, 2007, p. 25).

A preocupação com essa questão colocou em foco a busca por eficiência energética, tendo em vista não apenas as questões econômicas, mas também a qualidade do ambiente para o usuário e a redução de impactos ambientais. No âmbito da construção civil, a busca pela eficiência energética traduz-se em erguer edificações que proporcionem as mesmas condições de conforto, porém com menor consumo de energia (LAMBERTS et al., 1997), e representa uma das medidas para alcançar o perfil energético mais sóbrio, idealizado por Sachs (2007).

No Brasil, desde a crise do petróleo nos anos 1970, o Estado tem promovido, sobretudo nos momentos de crise, ações e programas visando reduzir as perdas energéticas (NOGUEIRA, 2007). Um marco importante para a eficiência energética no país surgiu como consequência da crise de energia de 2001, quando foi sancionada a Lei nº 10.295, em outubro de 2001, dispendo sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Essa lei prevê o estabelecimento de níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, que, no caso das edificações construídas, serão estabelecidos com base em indicadores técnicos e regulamentação específica (BRASIL, 2001b).

Essa legislação alavancou uma série de iniciativas, entre elas o Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações - Procel Edifica, que foi lançado em 2003 pela Eletrobrás/Procel. Este programa deu origem aos Regulamentos Técnicos para a qualidade em edificações Comerciais, em 2008, e Residenciais, em 2010, os quais permitem classificar as edificações de acordo com seus níveis de eficiência energética.

Outra iniciativa brasileira importante foi o lançamento do Processo AQUA (Alta Qualidade Ambiental) em 2007, um sistema de certificação ambiental para edifícios baseado no sistema francês HQE (*Haute Qualité Environnementale*). O sistema é fundamentado nos Referenciais Técnicos de Certificação específicos para diferentes tipos de edificações, como de Serviço ou Habitações. A obtenção do desempenho ambiental de uma construção envolve tanto aspectos arquitetônicos e técnicos, como de gestão ambiental, dentre os quais há uma seção dedicada à gestão de energia.

A avaliação quantitativa dos resultados destes programas e das ações de eficiência energética é da maior relevância e tem despertado grande interesse, inclusive comercial, por parte de empreendimentos privados. A principal dificuldade reside em estabelecer requisitos e critérios de forma adequada e, principalmente, que garanta resultados efetivos na redução dos impactos ambientais e do consumo de energia elétrica.

1.1 Objetivo

Este trabalho tem por objetivo propor um aprimoramento à estrutura de avaliação dos quesitos de eficiência energética do Processo AQUA para habitações, que compõem a Categoria 4 do seu referencial técnico.

1.2 Justificativa

Nos últimos 60 anos a população mundial aumentou em mais de 4 bilhões de habitantes. No Brasil, o crescimento populacional ocorreu em proporções semelhantes, na década de 1950 o país contava com uma população de aproximadamente 52 milhões de habitantes, e em 2010 já somava quase 190 milhões (IBGE, 2010). Este crescimento é um dos fatores que vem despertando a preocupação quanto à existência de recursos naturais para atender tamanha

demanda populacional e, por consequência, a adoção de padrões de consumo sustentáveis.

Embora o Brasil apresente um cenário energético mais sustentável que a média mundial, seu índice de desenvolvimento econômico e social tem sido comparado a países desenvolvidos em função do seu consumo de petróleo (HILGENBERG, 2010). Este fato deve servir como alerta para o uso racional de nossos recursos naturais, principalmente priorizando a criação de recursos alternativos.

Para Braga et al (2005), são os países em desenvolvimento, que representam mais de 80% da população mundial, que devem ter maior compromisso com políticas e estratégias que consolidem atitudes favoráveis ao meio ambiente.

A indústria da construção civil tem papel relevante quando se trata de impactos ambientais, não apenas pelo elevado consumo de recursos naturais e geração de resíduos durante a construção, mas principalmente pelo consumo destes recursos durante seu uso e ocupação. Por isso, os edifícios têm um papel vital no desenvolvimento da cultura de uma tecnologia limpa.

Edifícios que visam uma certificação ambiental utilizam estratégias de projeto e construção que apontam maior sustentabilidade, o processo de certificação garante a implantação de metodologias e tecnologias para minimizar desperdícios de recursos naturais.

Por meio do uso dos sistemas de certificação, é possível identificar o surgimento de iniciativas sustentáveis na construção civil. Para FOSSATI (2008), o contato crescente com edificações certificadas sensibiliza o usuário, que passa a valorizar os benefícios deste tipo diferenciado de edifício, fato este que impulsiona uma competição entre as empresas na busca da imagem de edifícios sustentáveis e de melhor qualidade.

Norteados pelas diretrizes do AQUA e do Procel Edifica, este trabalho explora as possibilidades de melhoria para os sistemas de certificação ambientais brasileiros.

1.3 Estrutura do Trabalho

Este trabalho encontra-se organizado em seis capítulos: Introdução; Certificações ambientais e normatização brasileira; Eficiência energética em edificações; AQUA – Categoria 4: análise crítica, Proposta de aprimoramento e Conclusão.

A Introdução apresenta o tema a ser desenvolvido justificando a importância do seu estudo, define o objetivo a ser alcançado e detalha a metodologia seguida.

No segundo Capítulo, faz-se um estudo das Certificações Ambientais consideradas de maior importância para a compreensão do assunto, com especial enfoque no processo AQUA, objeto deste trabalho; e das Normas de Diretrizes e de Desempenho para edificações habitacionais brasileiras, respectivamente, NBR15220 e NBR 15575.

No terceiro Capítulo, elabora-se um estudo mais detalhado do assunto que constitui o pilar deste trabalho: Eficiência Energética em Edificações, por meio das duas ferramentas brasileiras de avaliação, Procel Edifica e a Categoria 4 do AQUA, ambos com enfoque na eficiência energética de edificações habitacionais.

Centra-se o quarto Capítulo na análise crítica das quatro Preocupações - estrutura metodológica de avaliação e critérios - que compõem a Categoria 4 do AQUA, com o intuito de subsidiar as propostas do Capítulo 5, que apresenta as sugestões de aprimoramento.

O trabalho elaborado não pretende por um ponto final na problemática da avaliação/certificação de eficiência energética em edificações habitacionais. Na verdade, apresenta-se como uma contribuição para a revisão dos princípios estabelecidos, na perspectiva da construção de suportes cada vez mais eficazes em prol da sustentabilidade ambiental.

2 CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS E NORMAS BRASILEIRAS

Neste capítulo são abordados instrumentos existentes nos âmbitos internacional e nacional voltados à avaliação do desempenho ambiental de edificações, englobando os sistemas de certificação ambiental internacionais e as ferramentas de avaliação de edificações brasileiras.

2.1 Certificações Ambientais

As discussões relativas à sustentabilidade tomaram grandes proporções nos últimos anos e têm influenciado o comportamento de todas as sociedades globais. O marco desta mudança foi a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), ocorrida em 1992, no Rio de Janeiro, onde foi celebrado o acordo internacional entre os governos de 179 países. Formalizado na *Agenda 21*, esse acordo significou um compromisso dos governos de envidar esforços no sentido de promover políticas favoráveis à sustentabilidade do desenvolvimento dos países e do mundo, a partir da compreensão de que o desenvolvimento não era um assunto de ordem interna de cada país, mas problema de ordem mundial.

A construção da *Agenda 21* de cada país, que estabeleceu metas ambientais em favor do desenvolvimento sustentável, identificou que o ambiente construído e o setor da construção civil são áreas de relevância quando se trata de pensar a sustentabilidade do desenvolvimento das cidades. Isto porque as edificações provocam grandes impactos ambientais, tanto na fase de construção - dado a extração de matéria-prima e a enorme produção de resíduo - quanto na fase de vida útil, devido à manutenção e ao consumo de energia para o seu funcionamento.

Neste sentido, na década de 1990, como parte das estratégias para cumprir suas metas ambientais locais, definidas pelas *Agendas 21*, alguns países da Europa, os Estados Unidos e o Canadá começaram a desenvolver metodologias de avaliação ambiental de edificações (SILVA, 2003).

Os métodos apresentam diferentes abordagens, conforme as diferenças das agendas ambientais de cada país e também do clima, das práticas construtivas e das prioridades locais. Todavia partilham o objetivo de motivar mudanças na indústria da construção e na demanda do mercado por edifícios com melhor qualidade ambiental, os quais, detentores de uma etiqueta de desempenho ambiental, devem aumentar o seu valor real de mercado (COLE, 2005).

Da mesma forma, o conceito de edificação com alto desempenho ambiental, ou de construção sustentável, é comum às diferentes nações: oferecer conforto aos usuários, gerando pouco impacto ao meio ambiente (HÄKKINEN et al., 2002). Assim, as certificações são desenvolvidas em torno de aspectos principais, presentes no contexto de todas as sociedades, que influenciam o desempenho de uma edificação (BRITO et al., 2010):

- Impactos do Empreendimento no Meio Urbano;
- Materiais e Resíduos, que trata não somente a gestão de resíduos, mas a origem dos materiais usados;
- Uso Racional da Água;
- Energia e Emissões Atmosféricas, onde se insere a eficiência energética das edificações;
- Conforto e Salubridade do Ambiente Interno.

A maioria dos métodos tem sua avaliação estruturada em sistemas de pontos ou créditos, atribuídos conforme o atendimento de requisitos (lista de verificações, chamada *checklist*) definidos a partir dos indicadores de desempenho, inseridos nos blocos temáticos descritos. Para Silva (2003), os créditos são concedidos em função da aplicação de determinadas estratégias de projeto ou especificação de materiais e equipamentos, o que constitui uma metodologia prescritiva que presume, mas não garante, a melhoria do desempenho ambiental.

O incentivo à inserção de normas ambientais nas fases de concepção dos projetos, representa aspecto positivo para os sistemas de certificação, pois a adoção dessas medidas vai proporcionar edificações mais eficientes e de melhor desempenho no quesito ambiental.

Dentre os diversos sistemas de certificação existentes no mundo, destacam-se:

- a) BREEAM (*Building Research Establishment's Environmental Assessment Method*).

Lançado em 1990 no Reino Unido, fruto de uma parceria dos pesquisadores da *Building Research Establishment* (BRE), do setor privado e da indústria, BREEAM foi o primeiro sistema de avaliação ambiental para várias tipologias de edifícios a oferecer um processo formal de análise - fundamentado em auditoria externa – visando mensurar seus desempenhos nas categorias:

- gerenciamento
- energia
- saúde e bem estar
- transporte
- materiais
- uso do solo e ecologia
- poluição e resíduos

A avaliação dessas categorias – nem todas obrigatórias - é feita por meio de um sistema de pontuação que resulta em uma classificação, cujos níveis são “passou”, “bom”, “muito bom”, “excelente” e “excepcional”, expressa no certificado emitido ao empreendedor.

O objetivo primordial do sistema é de fornecer orientação sobre a minimização dos efeitos nocivos causados pelos edifícios ao ambiente externo e sobre a maximização da qualidade dos seus ambientes internos.

b) CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*).

O sistema apresentado pelo *Japan Sustainability Building Consortium* começou a ser aplicado em 2005 e tem como estrutura conceitual a definição de limites do edifício analisado e o levantamento e balanceamento entre impactos positivos e negativos gerados ao longo de seu ciclo de vida (SILVA, 2003).

O CASBEE atua por meio de quatro ferramentas de avaliação voltadas aos projetos em desenvolvimento, às construções novas, aos edifícios existentes e às reformas. Seus critérios de avaliação abordam a qualidade ambiental, o desempenho do edifício e a diminuição de cargas ambientais.

Estrutura-se em 3 categorias, sendo que 2 delas desdobram-se em sub-categorias:

1. Considerações do aquecimento global
2. Considerações sobre o ambiente local (poluição do ar/ efeito de ilha de calor/ carga na infraestrutura local)

3. Considerações sobre o entorno (ruídos, vibrações e odores/ obstrução da luz do sol e dos ventos).

c) GBTool (*Green Building Tool*)

Denominado atualmente SBTool, o processo começado em 1996 pelo *Nature Resources Canada* por um consórcio de 12 países da Europa, Ásia e América (*Green Building Challenge*), firmou-se internacionalmente em 2005 sob a responsabilidade da *International Initiative for a Sustainable Built Environment* (iSBE). Por ser uma ferramenta internacional de avaliação ambiental o SBTool é um sistema genérico, que delega às organizações locais a responsabilidade de adaptá-lo segundo as necessidades, permitindo seu desmembramento, inclusive, em mais de um sistema de avaliação (AULICINO, 2010).

Em se tratando de um sistema genérico, portanto abrangente, a avaliação SBTool elege a comparação entre as características do projeto e os valores de referência, como base de avaliação. O processo de avaliação tem início com a pontuação e atribuição de pesos às características do projeto. Os valores de referência, por sua vez, baseiam-se nas condições de cada país, ou até de cada região, e são eles que calibram os pesos da pontuação de cada avaliação.

O SBTool divide-se em sete temáticas:

- Seleção e escolha do terreno, planejamento do empreendimento e desenvolvimento do projeto;
- Consumo de energia e recursos;
- Cargas ambientais;
- Qualidade do ambiente interno;
- Qualidade dos serviços;
- Aspectos sociais e econômicos;
- Aspectos sociais e percepção dos usuários

d) LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)

Em 1996 o *United States Green Building Council* (USGBC) lançou nos EUA um sistema de classificação voluntário e voltado para o mercado,

que tinha o propósito de estimular a criação de novas práticas projetuais e construtivas sustentáveis, a exemplo de programas similares como o britânico BREEAM e o canadense BEPAC.

Uma vez confirmada a eficácia dos métodos tradicionais de regulamentação do desempenho ambiental dos edifícios, a USGBC apostou na adoção de programas voluntários como estímulo ao mercado no alcance de novas metas.

Não passou despercebido aos criadores do LEED, que a utilização de programas voluntários de avaliação de desempenho ambiental de edifícios e a comprovação da sua eficiência, estava relacionada:

1. ao crescimento dos níveis de conscientização e às exigências de escolha dos consumidores pelos denominados “edifícios verdes”;
2. à decisão dos empreendedores em produzi-los, e
3. ao investimento dos setores da indústria da construção nas pesquisas de produtos de comprovada qualidade ambiental.

Foi, pois, com base nessas premissas, que desenvolveram um sistema de certificação que serve, também, como ferramenta do projeto de novas construções e reformas, na medida em que a sua lista de verificação orienta a redução dos impactos ambientais.

O LEED estrutura-se em 6 categorias:

- sítios sustentáveis;
- uso eficiente da água;
- uso eficiente da energia;
- materiais e recursos;
- qualidade do ambiente interno;
- inovação do projeto e tecnologia.

Diante da sua grande aceitação como sistema de avaliação, o LEED criou novas versões visando atender a várias tipologias de edifícios.

e) HQE (*Haute Qualité Environnementale*).

A percepção de que o setor do ambiente construído carecia de inovação, motivou a *Association HQE* – organismo francês voltado à

promoção da sustentabilidade da construção – a iniciar, no princípio dos anos 1990, um processo de aglutinação do setor em torno da ideia. Envolvendo profissionais do setor privado e do setor público, a *Association HQE* conseguiu, aos poucos, somar as experiências dos que compõem o setor na elaboração de dois documentos que foram, em 2002, transformados em certificação pelo *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB) da França.

O primeiro documento criou requisitos e critérios de avaliação, a partir da definição das categorias de preocupações ambientais e de qualidade do ambiente; o segundo, definiu os critérios de gestão que devem ser adotados pelo empreendedor para garantir a qualidade ambiental da construção.

A HQE é uma metodologia voluntária de avaliação que objetiva conter os impactos sobre o meio ambiente e garantir a qualidade dos espaços internos, tanto na construção de edifícios quanto na sua restauração. Para tanto, propõe a integração de todos os participantes do processo projetual e do planejamento, visando a unificação da linguagem.

No propósito de ajustar a construção civil aos princípios de sustentabilidade ambiental, a metodologia HQE tem como diretriz a integração do edifício à paisagem circundante e à estrutura e serviços urbanos já existentes; induz à redução do uso dos recursos naturais e defende a diminuição dos custos da construção.

O sistema de avaliação é estruturado em quatorze objetivos específicos, chamados categorias, as quais abordam aspectos referentes ao controle dos impactos sobre o ambiente externo, e à criação de um ambiente interno saudável e confortável. Esta metodologia de certificação serviu como base para o sistema de certificação brasileiro AQUA, o qual está apresentado detalhadamente no item 2.2.

O campo dos métodos de avaliação ambiental amadureceu com grande rapidez desde a introdução do BREEAM, o que tem provocado um aumento rápido no número de construções certificadas em todo o mundo nos últimos anos (COLE, 2005). Alguns sistemas se desenvolveram ao ponto de especializar certificações

para diferentes tipos de edificação, como para unidades habitacionais isoladas, edifícios comerciais, escolas, complexos hospitalares ou estradas.

Mesmo com a expansão dos sistemas de certificação, o que significa a sua crescente adoção, pode-se afirmar que o resultado positivo da sua aplicação depende da adequação dos critérios de avaliação às características locais de onde o edifício será construído, principalmente no que se refere aos valores de referência definidos para os indicadores de desempenho. Para Hilgenberg (2010), a credibilidade de um sistema aumenta à proporção que ele se atrela às normas e à legislação locais.

No contexto brasileiro, os conceitos de desempenho ambiental são assunto de diversas iniciativas, tanto na criação de ferramentas de avaliação ambiental, quanto no campo das pesquisas científicas, as quais têm tido grande importância no sentido de aprimorar estas ferramentas. Entretanto, a carência de normas e legislações brasileiras dentro deste assunto, dificulta a definição de parâmetros para compor os critérios dos sistemas de certificação. Apesar disso, foram lançados no mercado dois sistemas de certificação nacionais com diferentes abordagens, o Processo AQUA, que avalia o desempenho ambiental do empreendimento, e o Procel Edifica, o qual avalia exclusivamente os aspectos relativos à eficiência energética.

2.2 Processo AQUA

O Processo Alta Qualidade Ambiental (AQUA) foi desenvolvido, a partir de 2007, por meio de convênio de cooperação técnica entre a Fundação Carlos Alberto Vanzolini e os institutos franceses *Certivéa*, subsidiária do CSTB (*Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*), responsável pela certificação de edifícios do setor de serviços; e o *Cerqual*, pertencente ao Grupo QUALITEL, organismo de certificação de empreendimentos habitacionais. A parceria consistiu em adaptar para o Brasil o Referencial Técnico francês - *Démarche Haute Qualité Environnementale* – HQE.

O Alta Qualidade Ambiental - AQUA é definido como um processo que visa avaliar a qualidade dos empreendimentos por meio do controle de seus impactos nos ambientes externo e interno - propiciando conforto e saúde aos usuários - e assegurando, também, os processos operacionais. Nesse sistema, a obtenção do desempenho ambiental de uma edificação envolve aspectos de gestão e de

natureza técnico-arquitetônica. Por esta razão, o processo de certificação se estrutura em dois instrumentos de avaliação (FCAV, 2010):

- a) Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE): avalia o sistema de gestão ambiental implementado pelo empreendedor;
- b) Qualidade Ambiental do Edifício (QAE): avalia o desempenho arquitetônico e técnico da construção.

O Sistema de Gestão do Empreendimento – SGE tem a função de organizar e formalizar as estratégias que serão adotadas para alcançar a certificação ambiental do empreendimento. Nesta fase, onde o empreendedor tem papel central, são organizados os trabalhos dos diferentes agentes para que atuem de forma conjunta. Cabe, pois, a ele, definir a organização, as competências, o método, os meios e a documentação necessários para alcançar os objetivos e atender às exigências das etapas do processo.

A implementação do SGE visa o comprometimento com o perfil de Qualidade Ambiental desejado e seu acompanhamento, análise e avaliação ao longo de todas as fases de certificação, além de oferecer suporte à avaliação da QAE. O SGE é objeto de um Referencial Técnico de requisitos definidos e está estruturado por meio de alguns temas-chave que configuram a espinha dorsal do sistema de análise:

- a) Comprometimento do empreendedor: define o perfil da Qualidade Ambiental do Edifício (QAE) a partir da hierarquia das preocupações ambientais do empreendedor, das estratégias ambientais adotadas, das necessidades e expectativas das partes envolvidas, da análise das características e restrições do local, da análise econômica e de documentos legais. O perfil definido identifica o nível de desempenho visado para os requisitos do QAE.
- b) Implementação e funcionamento: requisito organizacional, no qual o empreendedor faz a descrição detalhada das etapas de cada fase, seus responsáveis, as ações de comunicação e providências, e controle de contratos.
- c) Gestão do empreendimento: trata das exigências em torno do monitoramento e análise das críticas por parte dos envolvidos no processo, aplicação de ações corretivas, se necessárias, e avaliação da QAE, em relação ao perfil, no final de cada fase.

d) Aprendizagem: diz respeito ao conhecimento obtido a partir da experiência, que é mensurado por meio do balanço do empreendimento. O objetivo é aumentar a eficácia das medidas implementadas.

Assim, o SGE acompanha todas as fases do empreendimento.

O Sistema de Qualidade Ambiental do Edifício – QAE, é o processo de avaliação dos desafios ambientais de uma edificação, por meio do qual é averiguada a qualidade do seu desempenho ambiental. O referencial QAE é organizado em quatro temáticas centrais (Sítio e Construção, Gestão, Conforto e Saúde) desdobradas em 14 categorias, conforme Imagem 1, referentes aos desafios ambientais de uma edificação – estrutura esta, que foi herdada do sistema de certificação HQE. As 14 categorias desmembram-se, ainda, em subcategorias denominadas preocupações; cada preocupação ambiental é composta por exigências expressas em critérios e indicadores de desempenho (FCAV, 2010).

SÍTIO E CONSTRUÇÃO	CONFORTO
1. RELAÇÃO DE EDIFÍCIO COM O ENTORNO 2. ESCOLHA INTEGRADA DE PRDUTOS, SISTEMAS E PROCESSOS CONSTRUTIVOS 3. CANTEIRO DE OBRAS COM BAIXO IMPACTO AMBIENTAL	8. CONFORTO HIGROTÉRMICO 9. CONFORTO ACÚSTICO 10. CONFORTO VISUAL 11. CONFORTO OLFATIVO
GESTÃO	SAÚDE
4. GESTÃO DE ENERGIA 5. GESTÃO DA ÁGUA 6. GESTÃO DOS RESÍDUOS DE USO E OPERAÇÃO DO EDIFÍCIO 7. MANUTENÇÃO – PERMANÊNCIA DO DESEMPENHO AMBIENTAL	12. QUALIDADE SANITÁRIA DOS AMBIENTES 13. QUALIDADE SANITÁRIA DO AR 14. QUALIDADE SANITÁRIA DA ÁGUA

Imagem 1 – Estrutura QAE.
 Fonte: FCAV (2010)

A avaliação da QAE permite verificar se as características do empreendimento atendem às exigências do referencial técnico, sendo a partir dela que se atribuem os desempenhos das categorias. Tais desempenhos baseiam-se em elementos objetivos, que são de natureza quantitativa (métodos, programa de computador, memórias de cálculo, planilhas de medições, etc.), ou qualitativa

(descrição das medidas adotadas, como especificações, estudos, elementos gráficos) (FCAV, 2010).

A QAE tem a prerrogativa de ser realizada em fases diferentes do processo de certificação, pois alguns critérios só podem ser analisados em momentos mais avançados, posteriores àquela de concepção, como por exemplo, os que exigem medição no local. Desse modo, fica a critério do empreendedor a definição das etapas de avaliação adequando-a a sua própria organização e ao contexto do empreendimento. Nesses casos, compete ao auditor conferir se as exigências para atender a determinados critérios estão formuladas para as fases posteriores. "As 3 intervenções do auditor não têm como meta avaliar a QAE, mas sim verificar a avaliação da QAE realizada sob a responsabilidade do empreendedor". (FCAV, 2010, p.13).

Para Baratella (2011), avaliação da QAE deixa muito livre a forma de atendimento dos critérios estabelecidos, mesmo que alguns venham acompanhados de sugestões e esclarecimentos, expressos nas notas explicativas.

O desempenho associado às categorias de QAE é classificado segundo seu valor (bom, superior ou excelente) ou condição (atendimento ou não-atendimento do requisito). Cada um dos requisitos que compõe a categoria está relacionado a um nível de desempenho, assinalado com o símbolo ●. Quando o requisito é analisado por condição, o símbolo será marcado para todos os níveis. A classificação final da categoria é alcançada conforme o Quadro 1:

Avaliação da categoria 4	Condição		Nível
	Todos os pontos ● da coluna B são atendidos		B
	Todos os pontos ● da coluna S são atendidos		S
	Todos os pontos ● da coluna E são atendidos		E

Quadro 1 – Classificação da Categoria 4.
Fonte: FCAV (2010)

Quando a preocupação é estimada pela condição, normalmente são apresentadas diretrizes, junto ao critério de avaliação, sob a forma de notas, de modo a sugerir as soluções possíveis (BARATELLA, 2011). Os três níveis possíveis representam:

- BOM: corresponde ao desempenho mínimo aceitável para um empreendimento de Alta Qualidade Ambiental. Significa estar adequado à regulamentação, ou na ausência desta, à prática corrente.
- SUPERIOR: corresponde ao nível das boas práticas.
- EXCELENTE: é concedido em função dos desempenhos máximos constatados em empreendimentos de Alta Qualidade Ambiental.

É importante destacar que esse processo de certificação faz uma ressalva quanto ao atendimento dos níveis Superior e Excelente, denominada “princípio da equivalência”. Tal ressalva consiste no uso de um método alternativo de avaliação do desempenho, cujos critérios são diferentes daqueles definidos no referencial QAE, mas que respondem às mesmas preocupações. O “princípio da equivalência” torna mais complexa a verificação da avaliação por parte do auditor, mas confere flexibilidade ao referencial (FCAV, 2010).

No processo de certificação é exigido que o perfil de desempenho nas 14 categorias seja pelo menos Excelente em 3 categorias, Superior em 4 e Bom em 7. A avaliação do atendimento dos critérios do QAE é feita por meio de auditorias presenciais, seguidas de análise técnica, e os certificados são emitidos pela Fundação Vanzolini ao final de cada fase.

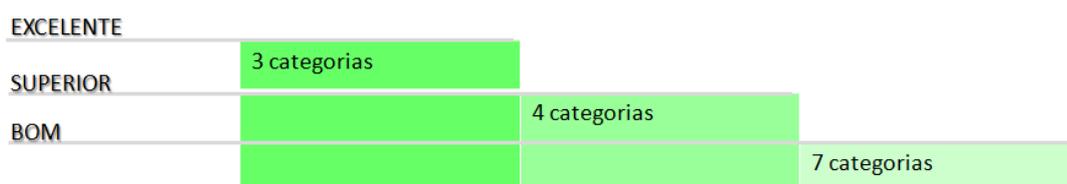


Imagem 2 – Perfil de desempenho mínimo do QAE.
Fonte: FCAV, 2010.

As fases de certificação são divididas em:

- Programa: durante a qual se elabora o programa de necessidades, documento destinado aos projetistas para a concepção arquitetônica e técnica de um empreendimento;
- Concepção: momento em que os projetistas, com base nas informações do programa, elaboram a concepção arquitetônica e técnica de um empreendimento.

- Realização: os projetos são elaborados, tendo como resultado final a construção de um empreendimento. Ao final de cada fase, o empreendedor deve solicitar auditoria de certificação, mediante envio de um dossiê contendo o programa e a avaliação da QAE à Fundação Vanzolini. O empreendimento recebe a certificação por fase e, ao final delas, é concedido o uso da Certificação Processo AQUA.

Desde 2007, quando foi lançado no Brasil, o AQUA divulgou três tipos de referencial técnico: o primeiro, no mesmo ano, para edifícios do setor de serviços - incluindo escritórios e edifícios escolares; em 2008, foi divulgado outro referencial de serviços, desta vez, voltado para o setor hoteleiro, que ainda se encontra em versão preliminar. Somente em 2010, o referencial para habitações, objeto de estudo deste trabalho, foi lançado.

Toda a filosofia de certificação ambiental de edifícios apresentada pelo Processo AQUA foi herdada do sistema francês HQE, inclusive a estrutura do Referencial Técnico. Todavia, o AQUA vem sendo divulgado como uma ferramenta totalmente adaptada à realidade brasileira.

No capítulo seguinte será analisada, detalhadamente, a constituição das preocupações e exigências da Categoria 4, tanto no que se refere à forma de avaliação, quanto na relação com as características do Brasil.

2.3 Normas brasileiras relacionadas ao desempenho térmico de edificações

No Brasil, existe somente duas normas relacionadas ao desempenho térmico de edificações, a norma NBR 15220, intitulada “Desempenho térmico de edificações”, lançada em 2005, e a norma de desempenho NBR 15575 para edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, publicada em 2008. A primeira norma apresenta requisitos e diretrizes referentes ao desempenho térmico, bem como métodos de cálculo e de medição de propriedades térmicas de componentes, enquanto a segunda apresenta requisitos, critérios e métodos para se avaliar o desempenho térmico de edificações, juntamente com outros tópicos como estruturas e sistemas hidrossanitários.

As duas normas são utilizadas pelos sistemas de certificação brasileiros estudados neste trabalho. O AQUA utiliza os requisitos da NBR 15220 e o Procel

Edifica utiliza os requisitos da NBR 15575 como parâmetros para definir o desempenho térmico da envoltória das edificações analisadas.

2.3.1 NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações

A norma NBR 15220, lançada pela ABNT em 2005, é dividida em cinco partes:

Parte 1 - Definições, símbolos e unidades: são definidos os símbolos e as unidades de termos relacionados com o desempenho térmico de edificações;

Parte 2 - Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações: define os procedimentos para o cálculo das propriedades térmicas (resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar), de elementos e componentes de edificações;

Parte 3 - Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social: esta parte da norma 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;

Parte 4 - Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida: nesta parte, a norma estabelece o método absoluto para determinação, em regime permanente, da resistência térmica e da condutividade térmica de materiais sólidos;

Parte 5 - Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico: é definido o método de utilização de técnicas fluximétricas para medir a resistência térmica em regime estacionário através de corpos-de-prova na forma de placas planas, podendo-se deduzir por cálculo a condutividade térmica.

No presente trabalho, concentrou-se na parte 3: “Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse

Social”. Este zoneamento foi elaborado com base em dois métodos internacionalmente consagrados de análise bioclimática, a Carta de Givoni e as Planilhas de Mahoney. A conjugação entre os mesmos, resultou em recomendações construtivas específicas para cada uma das 8 zonas em que o país foi dividido (RORIZ, *et al.*, 2009).

As recomendações e diretrizes construtivas para melhorar o desempenho térmico, aplicáveis na fase de projeto, são baseados em parâmetros e condições de conforto fixados, como valores mínimos para as propriedades térmicas das vedações (paredes e coberturas: transmitância térmica, atraso térmico e absorvância à radiação solar), tamanho de aberturas para ventilação, proteção das aberturas, vedações externas e estratégias de condicionamento térmico passivo. Entretanto, esta Norma não trata dos procedimentos para avaliação do desempenho térmico das edificações, os quais podem ser elaborados por meio de cálculos, de medições *in loco* ou de simulações computacionais (ABNT, 2005).

2.3.2 NBR 15575 – Edifícios habitacionais - Desempenho

A norma NBR 15575 atua no processo de determinação das exigências mínimas, parâmetros e métodos de avaliação de desempenho para edificações habitacionais de até cinco pavimentos. O foco da Norma é atender as exigências dos usuários, quanto ao comportamento das edificações em uso e não na prescrição de como os sistemas são construídos.

O desempenho é estabelecido por meio da definição de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos) e métodos de avaliação, os quais permitem a mensuração do seu cumprimento (ABNT, 2008).

Esta Norma é estruturada em seis partes, as quais abordam uma série de requisitos e critérios destinados à avaliação de desempenho de uma edificação, como: desempenho estrutural, segurança contra incêndio, segurança no uso e na operação, estanqueidade, desempenho térmico, desempenho acústico, desempenho lumínico, durabilidade e manutenibilidade, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico, adequação ambiental.

Parte 1 - Requisitos Gerais: são apresentadas as exigências dos usuários e os requisitos gerais comuns aos diferentes sistemas, estabelecendo as diversas interações e interferências entre estes sistemas.

Parte 2 - Requisitos para os sistemas estruturais: são definidos os requisitos para os sistemas estruturais e os critérios para alcançá-lo, do ponto de vista dos estados limites último e de serviço pelo método semi-probabilístico de projeto estrutural.

Parte 3 - Requisitos para os sistemas de pisos: são definidos os requisitos que tratam do desempenho do sistema de pisos internos, quanto à segurança, desgaste, propagação de ruídos, estanqueidade.

Parte 4 - Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas: são definidos requisitos e critérios para o desempenho das vedações, pois além da volumetria e da compartimentação dos espaços internos das edificações, integram-se de maneira estreita aos demais elementos da construção, recebendo influências e influenciando o desempenho do edifício.

Parte 5 - Requisitos para os sistemas de coberturas: assim como a parte 4, definem-se requisitos e critérios para o desempenho da cobertura, tendo em vista sua interação com os sistemas de instalações hidrossanitárias, sistemas de proteção de descargas atmosféricas, sistemas de isolamento térmica e outros, necessariamente previstos em projeto.

Parte 6 - Requisitos para os sistemas hidrossanitários: a última parte são apresentados requisitos e critérios para garantir o desempenho hidrossanitário, de acordo com a relação deste sistema com os demais da edificação.

Diferente da NBR 15220, esta Norma trata dos procedimentos para a avaliação de desempenho das edificações, e estabelece os procedimentos para avaliação do desempenho térmico de habitações às características de cada zona bioclimática, definidas na NBR 15220-3. Uma edificação que não atender aos requisitos desta Norma quando avaliada pelo método simplificado, pode ser avaliada por um dos outros métodos:

- a) Simulação: verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos pela Norma, por meio de simulação computacional do desempenho térmico do edifício;
- b) Medição: verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos pela Norma, por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos.

Este trabalho focou o quesito Desempenho Térmico, nas partes 1, 4 e 5, que tratam os requisitos e os critérios relacionados ao comportamento térmico das envoltórias da edificação:

Desempenho térmico - Parte 1: Exigências de desempenho no verão e no inverno: apresentar condições térmicas no interior do edifício melhores que o ambiente externo.

Desempenho térmico - Parte 4: Adequação de paredes externas: atender os valores de transmitância térmica, capacidade térmica das paredes externas; Ventilação dos ambientes internos: atender os valores mínimos para as áreas de janelas; Sombreamento das aberturas de paredes externas.

Desempenho térmico: Parte 5: Isolação térmica da cobertura: atender os valores de transmitância e absorvância térmicas.

A valorização da envoltória é claramente observada nas normas brasileiras de desempenho de habitações, as quais especificam procedimentos para cálculo de componentes da envolvente da edificação, como tamanho das aberturas para ventilação, proteção das aberturas, vedações externas (tipo de parede e cobertura, considerando-se a transmitância térmica e absorvância à radiação solar), e estratégias de condicionamento térmico passivo, os quais são base para a definição de recomendações e estratégias construtivas, aplicados na fase de projeto.

Esses mesmos aspectos são exigidos nos processos de avaliação do AQUA e do Procel Edifica e, em alguns casos, são utilizados como únicos indicadores de desempenho das edificações, conforme discutido no capítulo seguinte.

3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

O problema de energia antecede a conscientização ambiental testemunhada nos últimos vinte anos (NOGUEIRA, 2007). A crise do petróleo nos anos 1970 desencadeou a preocupação de governos em vários locais do mundo em relação ao suprimento de recursos energéticos, o que acarretou em diversas iniciativas voltadas à eficiência energética de produtos e edificações.

Ainda nos anos 70, foram criados os primeiros regulamentos relacionados ao desempenho energético de edificações na Europa, os quais definiam parâmetros para a envoltória no sentido de reduzir a transferência de calor através dos componentes construtivos, e controlar a permeabilidade do ar nos ambientes internos (PÉREZ-LOMBARD et al., 2009). Mais recentemente, as certificações ambientais emergiram como importante ferramenta para reduzir o consumo de energia das edificações. Conforme tratado no capítulo anterior, a eficiência energética é um dos temas principais dos sistemas de certificação, chegando a representar mais de 20% da preocupação em alguns métodos de avaliação (SILVA, 2003).

No Brasil, há diversas experiências de estratégias fomentadas à eficiência energética das edificações e dos projetos, os quais são anteriores ao lançamento das ferramentas de certificação brasileiras estudadas neste trabalho: AQUA e Procel Edifica.

O Trabalho de Bittencourt (1995) avalia o desempenho em relação à ventilação natural de elementos vazados – *cobogós* – instalados em cidades com clima quente e úmido, as quais se caracterizam pelo elevado teor de umidade do ar e pequenas oscilações de temperatura ao longo de todo o ano.

A metodologia que testa a permeação da ventilação em função dos tipos de *cobogós* indica que, em construções localizadas em regiões quentes e úmidas, onde a ventilação natural se constitui como estratégia de fundamental importância, os elementos vazados são componentes arquitetônicos de grande potencial plástico e funcional. Além da ventilação, os elementos vazados propiciam ainda proteção solar e podem funcionar como um filtro da intensa iluminação natural proveniente das abóbadas celestes características de regiões de baixa latitude (BITTENCOURT, 1995).

Outra pesquisa no início dos anos 1990 apresentou discussão sobre os efeitos no conforto térmico e nas cargas térmicas de condicionamento, analisados para diferentes inércias térmicas da edificação, variando-se a orientação das janelas, o seu sombreamento e a ventilação do ambiente. Os estudos foram direcionados para o comportamento em três cidades: Salvador, Porto Alegre e São Paulo (AKUTSU et al., 1991).

Dentre os resultados, verificou-se que a aplicação de isolantes nas paredes externas acarreta redução da temperatura tanto no verão, quanto no inverno; já a aplicação dos isolantes na paredes internas, de maneira geral, provoca elevação da temperatura, tanto no verão quanto no inverno, o que pode provocar condições insatisfatórias. Em situações onde o uso de ar condicionado é inevitável, observou-se que a aplicação de isolantes na cobertura resulta sempre em diminuição da carga térmica do condicionando de ar, o que não ocorre quando os isolantes são colocados na paredes (externa ou internamente).

A pesquisa ainda ressalta que os efeitos estão sempre vinculados à combinação de diversos fatores que caracterizam as edificações, os ocupantes e o clima. Os isolantes podem determinar a garantia de conforto térmico, ou apenas a melhoria das condições de conforto que estavam insatisfatórias. Quando se trata de definir os comportamentos de um determinado parâmetro de edificação, com relação as condições de conforto ou das cargas térmicas de condicionamento, a generalização de padrões é impossível, tendo em vista a grande variedade de possibilidades. Portanto, alcançar um bom resultado requer um tratamento mais abrangente do projeto arquitetônico, tendo em vista a compatibilização destes dois elementos: isolantes térmicos e condicionadores de ar (AKUTSU, et al., 1991).

Para Hilgenberg (2010), a importância do projeto arquitetônico no alcance de edificações energeticamente eficientes é assunto que vem sendo bastante discutido por profissionais e grupos de pesquisa em todo o país. A boa adequação do projeto arquitetônico associada à escolha de materiais da envoltória do edifício acarreta em menor necessidade de sistemas de aquecimento, resfriamento ou ventilação e, por consequência, menor consumo de energia.

Os sistemas de vedações que compõem a envoltória dos edifícios integram-se de forma muito estreita aos demais elementos da construção, recebendo influências e influenciando o desempenho do edifício como um todo (ABNT, 2008). A envoltória

da edificação deve proteger o espaço interno do clima a que está exposta e resistir às suas variações (HILGENBERG, 2010).

Estes temas abordam parâmetros e elementos que permanecem eleitos como principais fatores para caracterizar o desempenho energético e ambiental de edificações. Os mesmos são exigidos durante a avaliação das ferramentas AQUA e Procel, detalhadas a seguir.

3.1 Procel Edifica

O Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações – o Procel Edifica foi criado em 2003 pelo Ministério de Minas e Energia (MME), como resposta a Lei n° 10.295, decretada em 2001, que, dentre outros aspectos, define níveis de consumo de energia e aponta a necessidade do desenvolvimento de mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no país.

Neste sentido, foi proposta a Regulamentação para avaliação do Nível e Eficiência Energética de Edifícios, elaborado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) pertencente ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (por meio de convênio com a Eletrobrás) em parceria com o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), criando-se a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para edificações, fazendo parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE).

A regulamentação define que os edifícios submetidos à análise devem atender a todas as normas da ABNT, vigentes e aplicáveis de forma que as diretrizes do Procel Edifica mantenham conformidade com as legislações técnicas, e, a partir daí, o sistema de certificação proponha medidas para melhorar a avaliação e aprimorar seus níveis de eficiência energética (ARAÚJO, 2009).

O processo de etiquetagem de edificações no Brasil diferencia-se de acordo com o setor: para edifícios comerciais, de serviços e públicos; e para edifícios residenciais. A metodologia para a classificação do nível de eficiência energética dos primeiros foi publicada em 2009, por meio da Portaria n.º 53, de 27 de fevereiro de 2009 do Inmetro, e revisada em 2010, ano em que também foi publicada a metodologia para classificação dos edifícios residenciais, revisada em 2012.

A metodologia de classificação está presente no caderno de Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações (RTQ), enquanto que a metodologia para a avaliação da conformidade dos requisitos e solicitação da etiqueta está disposta no caderno de Requisitos de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética (RAC).

As etiquetas são concedidas em dois momentos: na fase de projeto e após a construção do edifício, neste caso, a etiqueta é concedida após expedido o Alvará de Conclusão ou quando é feita a ligação definitiva com a concessionária para fornecimento de energia elétrica e gás. Um projeto pode ser avaliado pelo método prescritivo ou pelo método da simulação, enquanto o edifício construído deve ser avaliado por meio de inspeção *in loco*.

Nos edifícios comerciais, de serviços e públicos, os critérios para a avaliação envolvem três sistemas: envoltória, iluminação e condicionamento de ar. Por tal motivo, a etiqueta pode ser concedida de forma parcial - para cada um dos três sistemas e também para a edificação completa - desde que sempre contemple a avaliação da envoltória, conforme as imagens 3 e 4.

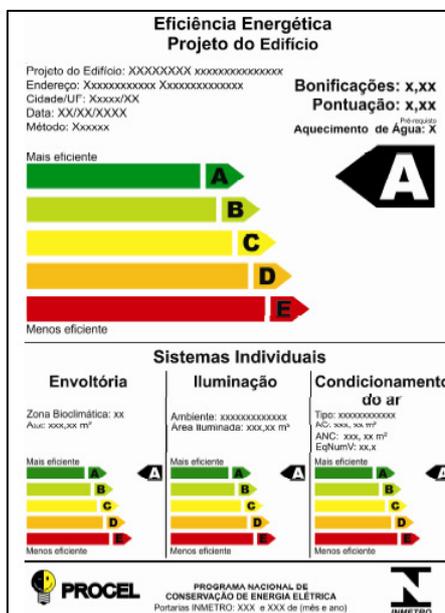


Imagem 3 – ENCE Projeto do Edifício
 Fonte: Centrais Elétricas Brasileiras (2011a)

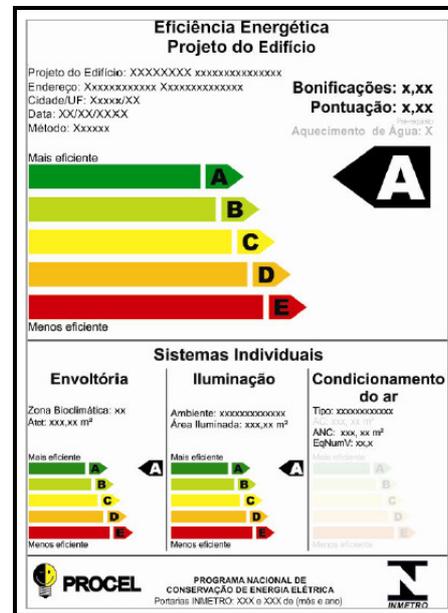


Imagem 4 – ENCE Geral de edifícios que possuem somente ventilação natural.
 Fonte: Centrais Elétricas Brasileiras (2011a)

Nos edifícios residenciais, objeto de estudo deste trabalho, a avaliação das unidades habitacionais compreende dois itens obrigatórios: a envoltória e o sistema

de aquecimento de água. Em edificações multifamiliares, a análise das áreas comuns também é obrigatória. A pontuação final pode, ainda, ser acrescida com as bonificações.

De acordo com a pontuação final obtida em cada sistema é atribuída uma classificação que varia do nível A (mais eficiente) ao E (menos eficiente). O nível de eficiência de cada requisito equivale a um número de pontos correspondente, chamado Equivalente Numérico (EqNum), atribuídos conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Equivalente Numérico (EqNum) para cada nível de eficiência.

Nível de Eficiência	EqNum
A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Fonte: Centrais Elétricas Brasileiras (2012)

Edificações Residenciais

O caderno de Requisitos Técnicos da Qualidade para Edificações Residenciais – RTQ-R apresenta as metodologias de avaliação definidas para os diferentes tipos de moradia: unidades habitacionais autônomas, edificações unifamiliares, edificações multifamiliares, e também para as áreas de uso comum de edificações multifamiliares ou de condomínios de edificações residenciais.

A etiquetagem de eficiência energética para cada um dos itens acima é independente e feita da seguinte forma:

- a) Unidades Habitacionais Autônomas: avaliam-se os requisitos relativos ao desempenho térmico da envoltória, à eficiência de sistema de aquecimento de água e a eventuais bonificações – fases de Projeto e Edificação Construída;
- b) Edificação Unifamiliar: aplica-se o procedimento descrito acima para a unidade habitacional autônoma – fases de Projeto e Edificação Construída;
- c) Edificações Multifamiliares: pondera-se o resultado da avaliação dos requisitos de todas as unidades habitacionais autônomas da edificação – fases de Projeto e Edificação Construída;

- d) Áreas de Uso Comum: avaliam-se os requisitos relativos à eficiência do sistema de iluminação artificial, sistema de aquecimento de água, elevadores, bombas centrífugas, equipamentos e de eventuais bonificações – fases de Projeto e Edificação Construída.

A classificação do nível de eficiência da envoltória pode ser obtida através de simulação computacional ou de método prescritivo, que devem determinar o equivalente numérico da envoltória (EqNumEnv). A avaliação dos sistemas de aquecimento de água é realizada por método prescritivo, com exceção para sistemas de aquecimento solar, os quais podem ser avaliados também por simulação. Áreas de uso comum são avaliadas por método prescritivo.

Para as unidades habitacionais, o método prescritivo contempla o cálculo dos Equivalentes Numéricos da Envoltória do Ambiente para Resfriamento (EqNumEnvAmbResf) e Aquecimento (EqNumEnvAmbA), os quais são representados, respectivamente, pelo indicador de Graus Hora (GHR) e indicador de Consumo relativo para Aquecimento (CA), sendo este restrito às Zonas Bioclimáticas 1 a 4. Durante a avaliação da envoltória, é necessário calcular, ainda, o indicador de Consumo relativo de refrigeração (CR). Porém, seu resultado não influi na classificação da envoltória. O desempenho atribuído à refrigeração serve como pré-requisito para se obter a bonificação relativa ao sistema de ar condicionado.

Os indicadores são obtidos por meio de equações lineares nas quais são inseridos parâmetros relativos às características físicas e às propriedades térmicas da envoltória. Os resultados das equações estão relacionados aos níveis de desempenho, conforme as tabelas 2 e 3 (utilizou-se como exemplo as tabelas da Zona Bioclimática 3):

Tabela 2 - Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento

Eficiência	EqNumEnvAmbResfr	Condição
A	5	$GHR \leq 822$
B	4	$822 < GHR \leq 1.643$
C	3	$1.643 < GHR \leq 2.465$
D	2	$2.465 < GHR \leq 3.286$
E	1	$GHR > 3.286$

Fonte: Centrais Elétricas Brasileiras (2012)

Tabela 3 - Equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento

Eficiência	EqNumEnvAmbA	Condição kWh/(m².ano)
A	5	$CA \leq 6,429$
B	4	$6,429 < CA \leq 12,858$
C	3	$12,858 < CA \leq 19,287$
D	2	$19,287 < CA \leq 25,716$
E	1	$CA > 25,716$

Fonte: Centrais Elétricas Brasileiras (2012)

É necessário calcular, individualmente, o equivalente numérico da envoltória de cada indicador citado, para cada um dos ambientes de permanência prolongada da UH e, ainda, avaliar os pré-requisitos de cada ambiente. Os ambientes de permanência prolongada correspondem aos ambientes de ocupação contínua, incluindo sala de estar, sala de jantar, sala íntima, dormitório, escritório, sala de TV ou de uso similar aos citados.

A avaliação da envoltória possui três pré-requisitos: o primeiro é referente às características térmicas de transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar das superfícies, onde a norma de desempenho NBR 15575 é usada como referência para estes indicadores; os outros abordam características físicas relativas à iluminação natural e ventilação natural. O não atendimento dos pré-requisitos impede que os níveis A e B – dependendo de cada pré-requisito – sejam alcançados.

Importante destacar que o RTQ-R apresenta, em seu anexo, orientações quanto ao dimensionamento dos dispositivos de proteção solares para possibilitar o aumento do valor da variável “somb”, que compõe as equações de GHR e CA. Ou seja, aumentar o desempenho da envoltória em ambientes por meio de sombreamento por varanda, beiral ou *brises* horizontais.

O equivalente numérico da envoltória da UH para resfriamento (EqNumEnvResf) e aquecimento (EqNumEnvA) é obtido por meio da ponderação dos equivalentes numéricos de envoltórias de cada ambiente para resfriamento e aquecimento pelas áreas úteis dos ambientes avaliados (AUAmb). A classificação final da envoltória da UH é atribuída por meio de equações que consideram os EqNumEnv para resfriamento e aquecimento atrelados aos pesos, os quais variam de acordo com a zona bioclimática (Tabela 4).

Tabela 4 – Distribuição de pesos de acordo com a Zona Bioclimática.

Zona Bioclimática	EqNumEnv _{Resf}	EqNumEnv _A
1	0,08	0,92
2	0,44	0,56
3	0,64	0,36
4	0,68	0,32

Fonte: Adaptada pela autora com dados do Centrais Elétricas Brasileiras (2012)

Em se tratando de Aquecimento de Água, o RTQ-R apresenta critérios distintos de acordo com cada sistema, e são avaliados os sistemas que serão instalados e entregues pelo empreendedor. Os que estão em espera para futura instalação, não são considerados. Os sistemas dispostos são: aquecedor solar, aquecimento a gás, bombas de calor, aquecedor elétrico e caldeiras a óleo.

São priorizados os sistemas mais eficientes em relação ao gasto de energia e aos impactos ambientais, como os de aquecimento solar e gás - desde que classificados pelo PBE - e as bombas de calor com alto coeficiente de performance.

O sistema de aquecimento elétrico, no entanto, implica em baixa classificação - D ou E - de acordo com a potência do equipamento. Em caso de uma habitação não possuir outro sistema de aquecimento instalado, os níveis D ou E (de acordo com a região do país) são atribuídos ao quesito aquecimento de água, pois a única alternativa para aquecer a água será a instalação de chuveiro elétrico.

Havendo mais de um sistema instalado, o equivalente numérico final é calculado por meio da ponderação da eficiência obtida para cada sistema pela respectiva demanda de água quente. Os pré-requisitos para a classificação da produção de água quente referem-se à resistência térmica da estrutura do reservatório e ao isolamento térmico e diâmetro da tubulação de água quente.

Após a avaliação da envoltória e do sistema de aquecimento de água, é possível, ainda, aumentar a classificação geral da edificação em até um ponto por meio das Bonificações, que representam iniciativas passíveis de aumentar a eficiência energética da UH. No entanto, as bonificações precisam ser justificadas e comprovadas.

O RTQ-R define os oito tipos de bonificação e seus critérios, quais sejam: ventilação natural, iluminação natural, uso racional da água, condicionamento

artificial de ar, iluminação artificial, ventiladores de teto, refrigeradores e medição individualizada. Os itens de bonificação são de avaliação opcional, o que não significa que não sejam representativos no consumo de energia; esta condição se deve ao fato de se tratarem de requisitos de difícil avaliação em projeto, pois, normalmente, são entregues em fase posterior à obra, definidos pelo usuário (MORISHITA, 2011). O Quadro 2 relaciona a pontuação possível com os tipos de bonificação.

Ventilação Natural	0,40
Iluminação Natural	0,30
Uso racional de Água	0,20
Condicionamento de Ar	0,20
Iluminação Artificial	0,10
Ventiladores de Teto	0,10
Refrigeradores	0,10
Medição Individualizada	0,10

Quadro 2 - Pontuação das bonificações

Fonte: Elaborado pela autora com dados de Centrais Elétricas Brasileiras (2012)

A classificação do nível de eficiência de unidades habitacionais autônomas e das edificações unifamiliares é obtida através de uma equação, na qual os requisitos obrigatórios (EqNumEnv e EqNumAA) têm peso (Tabela 5) de acordo com a região geográfica e na qual podem ser somadas as bonificações. A pontuação total é definida pela equação 1 abaixo:

$$PT = a \times EqNumEnv + (1 - a) \times EqNumAA + \text{bonificações} \quad (\text{eq.1})$$

Tabela 5 - Coeficiente das regiões

Coeficiente	Região Geográfica				
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
a	0,95	0,90	0,65	0,65	0,65

Fonte: Centrais Elétricas Brasileiras (2012)

A classificação do nível de eficiência da ENCE da edificação é o resultado da pontuação total, conforme expresso na Tabela 6.

Tabela 6 - Classificação do nível de eficiência de acordo com a pontuação obtida

Pontuação (PT)	Nível de Eficiência
$PT \geq 4,5$	A
$3,5 \leq PT < 4,5$	B
$2,5 \leq PT < 3,5$	C
$1,5 \leq PT < 2,5$	D
$PT < 1,5$	E

Fonte: Centrais Elétricas Brasileiras (2012)

Deve-se destacar que o equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória (EqNumEnv) utilizado na equação da pontuação total, refere-se exclusivamente à edificações naturalmente ventiladas. O nível de eficiência da envoltória quando condicionada artificialmente - representado pelo EqNumEnv de Refrigeração - é de caráter informativo, pois somente é usado com pré-requisito para se alcançar a bonificação de condicionamento artificial de ar.

A classificação do nível de eficiência de edificações multifamiliares é o resultado da ponderação da classificação de todas as unidades habitacionais autônomas da edificação, pela área útil das UHs, excluindo terraços e varandas.

A classificação do nível de eficiência das áreas de uso comum também é alcançada através da pontuação total (PTAC), definida por equação que engloba todos os quesitos relevantes que influenciam a eficiência energética das áreas comuns. A equação pode ser modificada de acordo com a ausência na edificação de alguns dos quesitos que estão agrupados em áreas comuns de uso frequente e áreas comuns de uso eventual, as quais são definidas pelo RTQ-R. Na primeira, iluminação artificial, bombas centrífugas e elevador são analisados; o segundo agrupa iluminação artificial, os equipamentos (condicionadores de ar e eletrodomésticos), sistemas de aquecimento de água e sauna.

Por meio dos critérios e cálculos definidos pelo RQT-R, cada quesito terá valores específicos de equivalente numérico e potência instalada, os quais compõem a equação que define a pontuação total da área comum.

Desde seu lançamento em 2010 até 2012, o “selo” Procel para edificações residenciais foi concedido a 4 edificações unifamiliares e 5 multifamiliares, com 54

ENCE emitidas, das quais 48 são de unidades habitacionais, 5 de multifamiliares e 1 de áreas de uso comum (CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS, 2011b)

O Procel Edifica foi lançado com caráter voluntário, porém há previsão de que se torne obrigatório nos próximos anos, representando, de forma definitiva, o veículo para se alcançar edifícios energeticamente eficientes. Trata-se de um mecanismo com metodologia de avaliação abrangente, que envolve parâmetros e indicadores de forma agrupada para caracterizar o desempenho de uma edificação de forma mensurável.

Contudo, estudos recentes (QUEIROZ, et al., 2011; MACIEL et al., 2011), já apontam incompatibilidades quanto aos parâmetros e métodos utilizados, o que deve ser entendido como aspecto positivo no sentido de aprimorar a metodologia. Desta forma, os institutos de pesquisas em todo o país têm grande importância no sentido de testar os requisitos técnicos do Procel para impulsionar às revisões dos RTQ antes que o mesmo se torne obrigatório.

3.2 AQUA Categoria 4 - Gestão de Energia: Análise crítica

Neste item, faz-se uma apresentação detalhada da Categoria 4: gestão de energia, integrante da QAE do Referencial Técnico AQUA, por tratar-se da mesma problemática enfocada pelo Procel Edifica – eficiência energética em edificações residenciais – objetivo específico da presente dissertação.

A Categoria 4 estrutura-se em quatro partes denominadas Preocupações e Exigências onde se organizam os requisitos e critérios para avaliação de eficiência energética das edificações. Ao descrevê-la em seus detalhes, reconhece-se a sua importância como elemento da análise crítica elaborada no Capítulo 4 deste trabalho. Estrutura da AQUA Categoria 4:

Preocupação 4.1	Exigências	Nível		
		B	S	E
Redução do consumo de energia por meio da concepção arquitetônica	<ul style="list-style-type: none"> Melhoria da aptidão da envoltória para limitar desperdícios de energia <ul style="list-style-type: none"> Transmitância Térmica ponderada da envoltória $U_{edif} < U_{ref} (1) (W/m^2.K)$ Melhoria da aptidão do edifício para reduzir suas necessidades energéticas (demanda instalada): <ul style="list-style-type: none"> Quando pertinente, definir os equipamentos necessários e explicitar o valor absoluto das necessidades energéticas totais e por uso final para resfriamento, aquecimento de ambientes e iluminação artificial; Otimizar o partido arquitetônico visando à redução do total desses consumos e considerando contexto e objetivos ambientais do empreendedor. 	•	•	•
			•	•
Preocupação 4.2	Exigências	Nível		
		B	S	E
Uso de energias renováveis locais	<ul style="list-style-type: none"> Definição de porcentual de cobertura das necessidades energéticas por meio de energias locais de origem renovável (detalhada por uso final da energia) e justificativa da pertinência da(s) modalidade(s) escolhida(s). 			•
Preocupação 4.3	Exigências	Nível		
		B	S	E
Redução do consumo de energia primária não renováveis Cep	<ul style="list-style-type: none"> Estudo térmico: nível de consumo de energia para controle de temperatura interna Estudo energético: Nível de consumo de energia demais equipamentos Controle da eficiência energética Controle do consumo de energia nas áreas comuns 	•	•	•
		•	•	•
Preocupação 4.4	Exigências	Nível		
		B	S	E
Produção de água quente	<ul style="list-style-type: none"> A produção de água quente respeita os dimensionamentos apresentados no anexo apresentado após as notas desta categoria. Ponto de alimentação Desempenho do sistema para produção de água quente 	•	•	•

Quadro 3 - AQUA - Categoria 4
Fonte: FCAV (2010)

3.2.1 Preocupação 4.1: Redução do consumo de energia por meio da concepção arquitetônica

A primeira preocupação está expressa em duas exigências que abordam a melhoria da envoltória da edificação, para limitar desperdícios de energia, e do próprio edifício, para reduzir sua necessidade energética. Neste trabalho, as exigências são entendidas como requisitos 1 e 2, respectivamente.

No requisito 1, o critério exigido consiste em garantir um valor de transmitância térmica ponderada da envoltória menor que o do edifício de referência ($U_{edif} < U_{ref}$). Para isto, o referencial indica a equação para o cálculo da propriedade

térmica, assim como define os valores de transmitância do edifício de referência para paredes, cobertura e aberturas.

A NBR 15220 foi utilizada como referência para a transmitância das vedações opacas. A tabela 7, contém os valores de referência para paredes e coberturas, os quais devem ser usados de acordo com as recomendações específicas para as Zonas Bioclimáticas.

Tabela 7 - Transmitância de Referência – AQUA Categoria 4.

Vedações externas		Transmitância térmica, (W/m ² .K)	Atraso térmico - ϕ H
Paredes	Leve	$U \leq 3,00$	$\phi \leq 4,3$
	Leve Refletora	$U \leq 3,60$	$\phi \leq 4,3$
	Pesada	$U \leq 2,20$	$\phi \geq 6,5$
Coberturas	Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 3,3$
	Leve refletora	$U \leq 2,30$	$\phi \leq 3,3$
	Pesada	$U \leq 2,00$	$\phi \geq 6,5$

Fonte: FCAV (2010)

Importante destacar que os valores de Atraso Térmico permanecem dispostos nesta tabela, mas este indicador não é utilizado no método para atender o critério em questão. Não se sabe o motivo pelo qual foi mantido, tendo em vista que o Fator Solar, outro indicador que compõe a tabela de origem na NBR 15220, foi retirado. Ressalte-se que na Categoria 8 do AQUA, que aborda o conforto higrotérmico da edificação, o Fator Solar dos elementos opacos deve ser considerado, quando da escolha dos materiais empregados na vedação, para garantir o conforto de verão (FCAV, 2010).

Para os casos de portas e vidros também são definidos valores de referência de transmitância, conforme mostra a Tabela 8, sendo adotado um percentual de área de janela na fachada de 45% para o edifício de referência, valor baseado em pesquisa sobre “Levantamento de dados visando à definição de protótipo de edificações brasileiras – versão fev/2005 – UFSC-CTC/ECV/LABEEE – PROCEL” (FCAV, 2010, p. 55).

Tabela 8 - Transmitância referência para vidros e portas – AQUA Categoria 4

Elemento do edifício	Transmitância térmica, (W/m².K)
Portas, não totalmente de vidro	3,0
Vidros	6,5

Fonte: FCAV (2010)

A análise deste requisito é feita por condição (atendimento ou não-atendimento), ou seja, se a transmitância da edificação for menor que aquela do edifício de referência, os três níveis são alcançados. Conclui-se que o requisito 1 apresenta uma estrutura baseada em critério e método, que permite a verificação objetiva do atendimento ou não do desempenho.

No requisito 2, que trata das melhorias que deve ter o edifício como um todo para reduzir a demanda de energia, duas exigências devem ser atendidas, expressas a seguir:

- Quando pertinente, definir os equipamentos necessários e explicitar o valor absoluto das necessidades energéticas totais e por uso final para resfriamento de ambientes, aquecimento de ambientes e iluminação artificial;
- Otimizar o partido arquitetônico visando à redução do total desses consumos e considerando o contexto e os objetivos ambientais do empreendedor. (FCAV, 2010, p. 52).

Em se tratando da primeira exigência, o cálculo da demanda de energia necessária para resfriar, aquecer e iluminar ambientes requer uso de ferramentas específicas (como programas de simulação) ou de forma prescritiva, usando equações previamente desenvolvidas e com resultado efetivo comprovado. No entanto, o referencial não determina nenhuma destas ferramentas, nem valores de consumo de referência, o que confere liberdade ao empreendedor para atender esta exigência da forma que lhe convier.

A segunda exigência consiste em utilizar elementos arquitetônicos para minimizar o impacto energético causado pelos sistemas de aquecimento, resfriamento e iluminação. Para isto, são apresentadas diretrizes de projetos, definidas no referencial como “exemplos de elementos passivos para limitar as necessidades de resfriamento e iluminação” (FCAV, 2010, p. 55), expressas a seguir:

- forte isolamento térmico das coberturas;
- inércia térmica forte, particularmente no nível das lajes e vedações verticais, evitando camadas adicionais de isolamento, que possam “mascarar” esta inércia (forro falso, por exemplo);
- proteções solares eficazes (exteriores e móveis, eventualmente automatizadas), inclusive nos átrios e nas circulações;
- proteções solares do tipo “beirais ou toldos” na face Norte, fixas ou não;
- evitar paredes envidraçadas nas faces Oeste e Leste, expostas ao ruído;
- escolha de cores claras para as fachadas expostas ao sol e as coberturas;
- ventilação que utiliza o ar fresco de modo passivo, por velocidade de vento, convecção natural ou geotermia;
- localização das tomadas de ar externo nos espaços exteriores mais frescos;
- cobertura ventilada;
- outras soluções passivas de ventilação (passagem do ar entre duas lajes ou no interior de uma laje, superventilação noturna, ventilação cruzada, aproveitamento dos ventos dominantes);
- cobertura vegetalizada, planos vegetais na fachada;
- aproveitamento da inércia térmica do solo, da inclinação do terreno, da vegetação e da água, eventualmente existentes no local do empreendimento.
- iluminação natural abundante nos ambientes de trabalho e de circulação, assegurando uma porcentagem elevada de suprimento da necessidade total de iluminação pela iluminação natural;
- emprego de cores claras para as superfícies internas;
- tratamento específico dos fundos dos ambientes;
- poços de luz, iluminação zenital, evitando a irradiação direta;
- abertura de acesso à luz do dia para os ambientes profundos;
- emprego de “bancadas de luz”, para aumentar a iluminação natural no fundo dos ambientes;
- envidraçamento das partes altas das fachadas;
- proteção contra o ofuscamento exterior ou a irradiação solar direta perturbando o mínimo possível o emprego da iluminação natural (proteções solares modulares, por exemplo).

Desta maneira, observa-se que o requisito 2 é composto por exigências qualitativas, onde, subentende-se, o desempenho ambiental deve ser atribuído por meio da condição - atendimento ou não-atendimento das exigências. Significa dizer

que, se a edificação apresenta soluções arquitetônicas que visam reduzir o consumo de energia gerado por sistemas artificiais de climatização, então a exigência é atendida.

No entanto, a ausência de critérios para definir a eficácia destas soluções arquitetônicas torna a avaliação de atendimento do requisito 2 bastante subjetiva. Como as justificativas são elaboradas pelo empreendedor, e os dossiês apresentados não se encontram publicados, não se pode julgar a pertinência das justificativas, nem avaliar qual o “grau de eficácia” que está sendo aceito pelos auditores, principalmente porque se refere aos níveis mais altos.

É sabido que os elementos arquitetônicos que valorizam o uso de iluminação e ventilação natural são possibilidades favoráveis à redução do consumo de energia. Entretanto, provar a eficácia dessas soluções não é tarefa fácil, principalmente porque a valorização da iluminação natural pode acarretar um menor desempenho térmico da edificação, como será discutido a seguir.

3.2.2 Preocupação 4.2: Uso de energias renováveis

A produção de energia local parece ser considerada uma iniciativa importante para a certificação AQUA, pois o seu único nível de desempenho possível é o excelente. Ou seja, se a edificação analisada dispõe de sistema de produção de energia local que atenda as exigências expressas, logo, será classificada no nível máximo.

As exigências que compõem esta preocupação foram divididas em requisitos, expressos abaixo, para facilitar a análise neste trabalho:

- requisito 1: definir o percentual que o sistema de energia local vai suprir da necessidade energética da edificação e;
- requisito 2: justificar o sistema escolhido.

Diante destes requisitos, o referencial dispõe uma sequência de questões para auxiliar a avaliação desta preocupação. Estas questões devem ser consideradas nas justificativas elaboradas pelo empreendedor para demonstrar o atendimento das exigências, e serão apreciadas pelo auditor através do dossiê. Cabe destacar que estas questões não se configuram como critérios de avaliação.

- a) A porcentagem de cobertura das necessidades energéticas: *abaixo de uma certa porcentagem (5%), convém se questionar se não é melhor investir em outra aplicação ou uma outra modalidade.*
- b) O uso final para o qual a modalidade é utilizada: *há uma pertinência entre a solução implementada e as variáveis ambientais do uso final (em relação à natureza da construção e ao contexto do empreendimento).*
- c) A eficácia dos equipamentos.
Por exemplo, um aquecedor a lenha somente é justificável se apresentar um bom rendimento e se forem mínimas as emissões de CO₂ devidas ao transporte da madeira (fornecimento local).
- d) O impacto ambiental global da solução energética.
Por exemplo, os benefícios ambientais de um aquecedor de ambientes que utilize madeira podem ser limitados se forem considerados os meios locais de obtenção da madeira (veículos poluentes).
- e) O tempo de retorno do investimento.
O empreendedor poderá fixar um tempo máximo aceitável de retorno do investimento (10 ou 15 anos, por exemplo), considerando o custo global do empreendimento (FCAV, 2010, pg. 55).

O tópico 'a' reproduz a exigência do requisito 1, porém, conforme já verificado, não se estabelece critério para definir o percentual exigido. Embora o valor de 5% seja definido como parâmetro mínimo, não se faz menção a nenhuma modalidade específica; além disto, eleger 5% de desempenho, mesmo sendo a exigência mínima, caracteriza uma exigência fraca para um sistema de produção de energia, em se tratando de uma certificação ambiental.

O item 'c' sobre a eficácia dos equipamentos poderia servir como um critério para justificar a escolha do sistema adequado, que é o requisito 2, caso fossem estabelecidos parâmetros de referência sobre o que se entende por desempenho eficiente. Além disso, o referencial trata o uso de equipamentos de alto desempenho como uma possibilidade a ser atrelada ao sistema de produção de energia renovável local, ou seja, o uso de equipamentos eficientes é uma opção do empreendedor, não é uma obrigação.

“Os equipamentos de elevado desempenho que utilizem parcialmente energias não renováveis locais e que permitam diminuir o consumo de energia das fontes tradicionais, podem ser assimilados às modalidades energéticas locais de origem renovável.” (FCAV, 2010, p. 55)

Neste ponto é importante destacar que o mercado brasileiro comercializa coletores solares etiquetados pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Procel, através do Programa Brasileiro de Etiquetagem, no qual são informados o consumo de energia elétrica e a eficiência energética dos equipamentos. No entanto, a etiqueta não foi eleita como critério desta preocupação.

O mesmo acontece com o tópico ‘e’, pois o tempo de retorno de investimento não é entendido como critério porque não há um tempo de retorno indicado como referência; ao contrário, induz o empreendedor a “fixar um tempo máximo aceitável de retorno” (FCAV, 2010, p. 55).

Os impactos ambientais, tratados no tópico ‘d’, representam aspecto relevante e que deve ser considerado no momento da escolha do sistema alternativo de produção de energia num empreendimento e, assim como os demais tópicos, tratam-se de exigências subjetivas, que dependem da vontade do empreendedor e da eficiência de suas justificativas.

Como complemento às questões descritas acima, o referencial ainda elege as principais modalidades de produção de energias locais e sugere as atividades para as quais devem ser destinadas, conforme tópicos a seguir (FCAV, 2010, p. 55).

- Painéis solares térmicos (para o aquecimento de água ou calefação de ambientes);
- Painéis solares fotovoltaicos (para a produção de eletricidade utilizada no empreendimento);
- Madeira, quando este recurso estiver disponível localmente.

Contudo, embora estes tópicos compreendam sugestões – não obrigatórias – é possível observar aspectos que não condizem com as práticas brasileiras, como a “calefação de ambientes”, sistema muito pouco usado no Brasil, e a “madeira”, que em alguns países, vem se tornando importante fonte de energia ambientalmente mais saudável para aquecimento de ambientes (BRITO et al., 2004), porém, nas residências brasileiras somente é usada para cocção.

Diante da análise de estrutura da preocupação 4.2, observa-se a ausência de critérios para condicionar a escolha de sistemas de produção de energia locais mediante sua eficiência energética, pois o simples atendimento das sugestões dispostas no referencial não são garantia de que estes sistemas irão contribuir para a redução do consumo de energia numa edificação.

Além disto, o fato de esta preocupação estar relacionada unicamente ao nível excelente, denota a grande importância de se instalar tais sistemas, tendo em vista que o seu não atendimento impede que a categoria 4, em sua classificação final, alcance o nível excelente. Contudo, diante da composição da matriz energética do Brasil, esta condição é inadequada.

3.2.3 Preocupação 4.3: Redução do consumo de energia primária não renovável (Cep)

Esta preocupação é dividida em quatro grupos de exigências, que serão nomeados como requisitos (de 1 a 4) para facilitar, tanto a apresentação, quanto a análise da preocupação 4.3.

O requisito 1 consiste em fazer um “estudo térmico” para avaliar o nível de consumo de energia gasto para controle da temperatura interna dos ambientes, pelos equipamentos de resfriamento e aquecimento. Para tanto, duas exigências são descritas:

- a) O empreendedor deve escolher produtos (para resfriamento e aquecimento) que possuam ENCE.
- b) Deve-se calcular o valor absoluto do coeficiente Cep (kWh-ep/ano e kWh-ep/(ano.m²)) de forma detalhada e por uso final de resfriamento e aquecimento, com base em simulação computacional do edifício proposto.

O nível de desempenho é atribuído pela relação entre o coeficiente Cep do edifício proposto e o Cep de referência (Cepref), sendo este baseado na categoria C do PBE. Conforme o esquema a seguir:

- Bom: Equipamentos categoria C do Inmetro e $Cep \leq Cepref$
- Superior: Equipamentos categoria B do Inmetro e $Cep \leq 0,90 Cepref$
- Excelente: Equipamentos categoria A do Inmetro e $Cep \leq 0,80 Cepref$

O requisito 2 possui as mesmas exigências que o primeiro, porém, é chamado de “estudo energético” pois considera o nível de consumo de energia gerado pelos demais equipamentos, como iluminação, ventilação, etc.

- a) O empreendedor deve escolher equipamentos (para iluminação, ventilação, aquecimento de água, etc) que possuam ENCE.
- b) Deve-se calcular o valor absoluto do coeficiente Cep (kWh-ep/ano e kWh-ep/(ano.m²)) de forma detalhada e por uso final de iluminação, ventilação, aquecimento de água e equipamentos auxiliares.

A classificação é semelhante ao requisito 1, porém, embora seja exigido o cálculo do coeficiente Cep do edifício proposto, não se faz relação entre este e o Cep de referência.

- Bom: Equipamentos categoria C do Inmetro e calcular o Cep
- Superior: Equipamentos categoria B do Inmetro e calcular o Cep
- Excelente: Equipamentos categoria A do Inmetro e calcular o Cep

O coeficiente para conversão de energia consumida em energia primária é 1,18, valor obtido pela divisão entre a oferta e o consumo total de energia elétrica, baseados nos dados do Balanço Energético Nacional (BEN), referente ao ano de 2006 (FCAV, 2010). A definição dos coeficiente de energia primária é expresso da seguinte forma:

“O consumo de energia de uma construção é expresso em energia primária (Cep). Isto permite exprimir a provisão de recursos energéticos (importante, sobretudo no caso de combustíveis não renováveis), independentemente do suprimento de energia ter origem local ou remota (caso da rede pública de eletricidade)” (FCAV, 2010, p. 56).

Diante destas informações, verifica-se a ausência de método para calcular o consumo de uso final dos equipamentos e sistemas tratados, constatação reforçada pela afirmação descrita no referencial sobre a avaliação do Cep : “esta ação intervém nas fases relativamente avançadas da concepção, pois implica em simulações que requerem dados precisos sobre os componentes previstos no projeto” (FCAV, 2010, p. 56). Ou seja, há determinação para o uso de sistemas computacionais, porém, o mesmo não é definido.

Observa-se também uma incompatibilidade quanto ao Cep de referência, pois, a exigência de simulação do edifício proposto para os usos finais de resfriamento, aquecimento, iluminação e etc pressupõe o objetivo de obter o consumo destes sistemas, e não o consumo dos equipamentos que os compõem. Entretanto, o referencial define a Categoria C do PBE - que define a eficiência de equipamentos - como referência para o Cep.

Além disto, a classificação dos dois requisitos avalia os dois critérios juntos: uso de equipamentos etiquetados e o coeficiente Cep, o que pode provocar outra incompatibilidade. Acredita-se, portanto, seria mais pertinente reorganizar a forma de classificação destes requisitos.

O requisito 3, intitulado “controle de eficiência energética”, exige que se instale medição individualizada dos sistemas de iluminação artificial e de aquecimento de água - em casos de aquecimento central, elétrico ou a gás - das áreas comuns; o atendimento deste critério permite o alcance do nível máximo de desempenho.

Todavia, a instalação de medidores separados para unidades habitacionais e áreas comuns já é uma prática comum nos edifícios brasileiros, assim, a valorização atribuída a este requisito sugere inadequação à realidade local. Em contrapartida, ainda são poucas as edificações que possuem hidrômetros individualizados em cada unidade habitacional, o que implica, nos casos de aquecimento de água central, não haver medição particularizada do consumo de energia destes sistemas.

No requisito 4, o consumo de energia das áreas comuns é avaliado através de exigências prescritivas, que aumentam de acordo com a classificação, quanto mais alto o nível de desempenho, maior quantidade e mais rigorosas as exigências. O quadro 4 apresenta a estrutura deste requisito.

Exigências	Níveis
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Iluminação das áreas comuns <ul style="list-style-type: none"> • As áreas comuns devem possuir iluminação compatível com seus usos (baixo consumo e lâmpadas fluorescentes reservadas à iluminação permanente), os temporizadores devem ser adaptados (2 a 3 minutos após o uso) e o circuito elétrico de iluminação do hall deve ser independente do das outras circulações (escada, corredores). 	B
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Iluminação dos estacionamentos cobertos <ul style="list-style-type: none"> • As áreas de estacionamento devem ser iluminadas de acordo com sua função e uso (tubo fluorescente com reator eletrônico) e a temporização deve ser adaptada (da ordem de 5 minutos); • Presença sistemática de luminárias de alto desempenho (lâmpada fluorescente de alto rendimento (1)) e iluminação permanente limitada a uma luminária a cada três; • No caso da presença de iluminação natural (área de estacionamento semi-enterrada, poço de iluminação) (2), as luminárias situadas próximas às aberturas devem ser comandadas por detectores de presença (3) associados a sensor fotoelétrico dia/noite. ▪ Iluminação de vias e caminhos internos ao empreendimento e de áreas junto a divisas <ul style="list-style-type: none"> • Instalar detectores crepusculares para controlar o acionamento e o desligamento da iluminação; • As luminárias devem conter refletores orientados para o solo; • As luminárias devem ser dispostas de maneira a não serem encobertas pela vegetação; • A iluminação deve ser apropriada ao uso (lâmpada de baixo consumo); não iluminar as fachadas indiretamente. ▪ Elevador <ul style="list-style-type: none"> • O elevador deve ser instalado de forma a limitar o consumo de energia (4). 	S
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Iluminação das áreas comuns <ul style="list-style-type: none"> • Presença sistemática dos comandos de iluminação dotados de detectores de presença (3); • Ou presença sistemática de fontes luminosas de alto desempenho (lâmpada de baixo consumo ou tubo fluorescente de cátodo quente); • Ou presença de iluminação natural nas escadas e nas circulações horizontais. ▪ Iluminação dos estacionamentos cobertos <ul style="list-style-type: none"> • Presença sistemática de fontes luminosas de alto desempenho (reator eletrônico de cátodos quentes), presença sistemática de luminárias de alto desempenho (rendimento superior a 60%) e presença de comando de iluminação por detector de presença (5). ▪ Iluminação de vias e caminhos internos ao empreendimento e de áreas junto a divisas <ul style="list-style-type: none"> • Instalar dispositivos de programação permitindo reduzir o nível de iluminância permanente à noite de 30 a 50% nos pontos de iluminação instalados ou no nível de iluminância total nestes locais, eventualmente complementados por um ou vários detectores de presença para comandar o acionamento dos pontos de iluminação nas zonas envolvidas. ▪ Elevador <ul style="list-style-type: none"> • A iluminação da cabine deve ser intermitente e com o uso de lâmpadas de baixo consumo com reator eletrônico de cátodos quentes. 	E

Quadro 4 – Requisito 3: controle do consumo de energia nas áreas comuns – AQUA Categoria 4

Fonte: FCAV, 2010, p. 53, 54.

Legenda: (1) Tubo fluorescente T8 de alto rendimento ou tubo fluorescente T5; (2) Se o estacionamento for externo, é necessário verificar a iluminação de vias e caminhos internos ao empreendimento e de áreas junto a divisas; (3) Duas zonas de detecção sucessivas devem obrigatoriamente se sobrepor; (4) O elevador não deve ser hidráulico; caso o motor da cabine seja elétrico, ele deve ser de velocidade variável. Além disso, o motor não deve ser de corrente contínua, mas de corrente alternada com variador de frequência; (5) As luminárias de baixo consumo e os tubos fluorescentes não podem ser empregados, salvo os equipados de reator eletrônico de cátodos quentes.

A avaliação das áreas comuns é restrita ao consumo de energia para iluminação e dos elevadores, pois os demais equipamentos e sistemas que compõem as áreas comuns de edificações foram desconsiderados. Dentre eles, destacam-se as bombas centrífugas, que podem acarretar em expressivo aumento de demanda elétrica tanto por conta da eficiência dos equipamentos, quanto pelo seu dimensionamento para vazão e pressão requeridas pelo sistema hidráulico.

O requisito 4 é composto por exigências qualitativas que, decerto, representam medidas favoráveis à redução do gasto de energia. Contudo, somente a aplicação desta exigências poderia proporcionar uma análise quantitativa sobre o real desempenho que estas prescrições proporcionam.

Apesar disso, cabe destacar a existência de expressões subjetivas como “lâmpadas de baixo consumo”, “tubo fluorescente com reator eletrônico”.

3.2.4 Preocupação 4.4: Produção de Água Quente

A última preocupação sobre a gestão de energia apresenta três exigências. A primeira delas serve como pré-requisito para as demais, pois são definidos os dimensionamentos e recomendações mínimos sobre as modalidades de produção de água quente, sendo estas: aquecedor individual a gás, aquecedor de acumulação elétrico e aquecimento solar (individual e coletivo), descritos a seguir.

- Aquecedor individual a gás: a recomendação restringe-se ao dimensionamento da vazão específica de água quente (declarada pelo fabricante), onde são definidos valores mínimos, de acordo com os aparelhos sanitários que compõem as habitações.
- Aquecedor de acumulação elétrico: a avaliação é feita baseada na relação entre a capacidade total de armazenamento da água quente e a quantidade de dormitórios da habitação, sendo também considerado um acréscimo desta capacidade para situações em que a produção de água quente está distante da cozinha ou do chuveiro – embora esta distância não seja mensurada.
- Aquecimento solar: Deve atender a norma NBR 7198. No caso de sistema individual, o projeto e a instalação devem estar em conformidade com a norma NBR 15569. Os coletores e reservatórios devem fazer parte do PBE.

É necessário apresentar um estudo técnico da instalação do sistema coletivo, contendo dimensionamento das instalações, descrição dos equipamentos e das instalações, garantia de desempenho dos equipamentos e instalações. Para o nível excelente, deve haver medidores de energia separados para o sistema solar e o complementar.

O atendimento destas recomendações permite a classificação nos três níveis de desempenho, que irão depender de critérios quanto à distância entre a produção da água quente e seu uso final, e quanto ao seu desempenho. A avaliação, neste caso, é feita por valor, conforme expressos na Tabela 9.

Tabela 9 - Relação entre exigências e níveis de desempenho – AQUA Categoria 4

Exigências	Nível		
	B	S	E
Ponto de alimentação		•	
• A distância entre a produção de água quente e cada equipamento que a utiliza deve ser \leq a 10m (UH térrea) e 13m (apartamento duplex/casa com mais de um nível) (FCAV, 2010)			
• A distância entre a produção de água quente e cada equipamento que a utiliza deve ser \leq a 6m (UH térrea) e 9m (apartamento duplex/casa com mais de um nível) (FCAV, 2010)			•
Desempenho do sistema para produção de água quente	•		
•O empreendedor deve garantir desempenho mínimo do sistema de 40%			
•O empreendedor deve garantir desempenho mínimo do sistema de 60%		•	
•O empreendedor deve garantir desempenho mínimo do sistema de 80%			•

Fonte: FCAV (2010).

4 CATEGORIA 4: ANÁLISE CRÍTICA

Este Capítulo tem o objetivo de analisar a estrutura de avaliação da Categoria 4 do AQUA por meio da comparação entre outras estruturas de avaliação de desempenho de edificações, como as normas NBR 15575 e NBR 15220, estudos científicos sobre este tema e, principalmente, o sistema Procel Edifica, que forma com o AQUA, os dois únicos sistemas de avaliação de desempenho energético de edificações no Brasil.

Tais comparações tiveram como base o entendimento de que o desempenho é universalmente estabelecido por meio da definição de requisitos, critérios e métodos de avaliação, os quais devem sempre permitir a mensuração clara do seu cumprimento (ABNT, 2008).

É, portanto, em razão dessa compreensão, que se estruturou o presente capítulo, onde as quatro Preocupações constituintes da referida Categoria, são analisadas detalhadamente sob a ótica da sua própria estrutura como metodologia de avaliação e critérios estabelecidos, com vistas à identificação das suas fragilidades.

4.1 Preocupação 4.1: Redução do consumo de energia por meio da concepção arquitetônica

Embora a transmitância térmica seja comumente empregada como indicador de eficiência energética em edificações, tendo em vista sua valorização nas normas de desempenho NBR 15220 e 15575, e mais recentemente, no Procel Edifica, convém discutir os valores de referência indicados no Referencial, assim como a eficácia desta propriedade térmica enquanto parâmetro de desempenho.

No primeiro momento, cabe destacar a ausência da Capacidade Térmica, Absortância ou do Fator Solar como indicadores complementares ao desempenho da envoltória. No momento em que a baixa transmitância térmica é utilizada como pré-requisito da Preocupação 4.1, entende-se que este referencial adotou o pressuposto de que envoltórias com alta resistência térmica proporcionam ambientes mais confortáveis.

Paredes de concreto (10 cm), por exemplo, possuem transmitância acima do valor indicado pela norma, porém como sua capacidade térmica também é alta,

trata-se de um sistema com inércia térmica média (Imagem 7). Além disto, como já foi dito, o Fator Solar já é usado como indicador do desempenho térmico na categoria sobre conforto higrotérmico, portanto, é incompatível que aspectos relativos ao mesmo comportamento de um elemento sejam tratados em momentos diferentes.

Este posicionamento é reforçado pelo fato de a NBR 15575 definir valores de Transmitância e Capacidade térmica como requisitos de desempenho mínimo da fachada; e as mesmas propriedades, incluindo a Absortância, serem pré-requisitos para alcançar níveis altos de desempenho da envoltória no processo de avaliação do Procel Edifica, sendo este baseado nos valores de referência da NBR 15575.

Ao relacionar os valores de transmitância térmica expressos na Tabela 7 com as práticas construtivas, considerando apenas o comportamento dos elementos parede e cobertura, é possível fazer uma rápida análise:

- a) Em Paredes leves (ZB 1 e 2) e leves e refletoras (ZB 3, 5, 8) as transmitâncias apontadas são facilmente atendidas com a utilização de bloco cerâmico ou bloco de concreto, que são práticas comuns na maior parte das cidades brasileiras (Imagem 5). A restrição compreende apenas a parede de concreto maciço (Imagem 6), sistema que vem sendo mais usado nos últimos anos – paredes com 10 cm para edificações de alto padrão, e aproximadamente 4 cm para habitações de baixo custo. Ou seja, este critério pode ser entendido como de fácil atendimento.

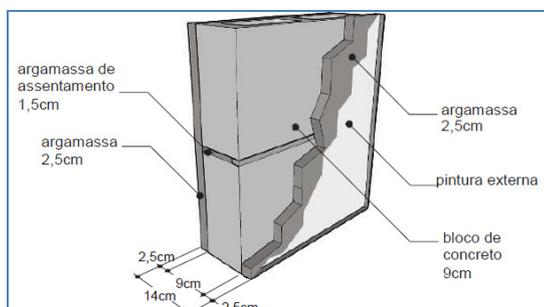


Imagem 5 - Bloco de Concreto:
 $U=2,78$ e $CT=209$
 Fonte: LABEEE (2011)

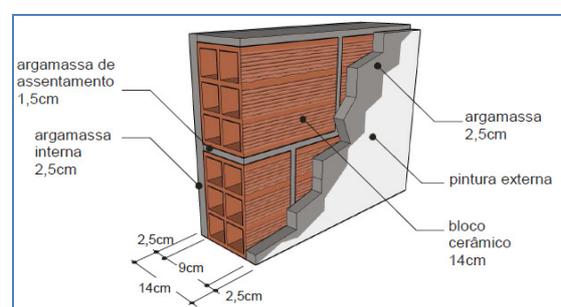


Imagem 6 - Bloco Cerâmico:
 $U=2,43$ e $CT=150$
 Fonte: LABEEE (2011)

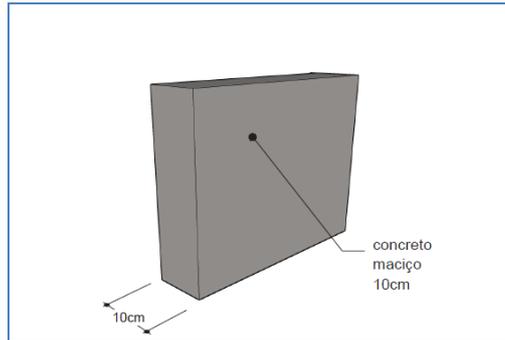


Imagem 7 - Parede de Concreto:
 $U=4,40$ e $CT=240$
 Fonte: LABEEE (2011)

- b) No caso das Paredes pesadas, indicada para as ZB 4, 6 e 7, é exigido fechamento vertical com isolamento mais rigoroso, o qual elimina as práticas citadas. O desempenho é alcançado com paredes de blocos cerâmicos, quando assentados no maior sentido.
- c) A transmitância mínima exigida para cobertura é $2,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, valor também alcançado com o uso de sistema corriqueiro, como telha cerâmica ou de fibrocimento + forros em pvc, gesso ou madeira, ou laje de concreto (10 cm) ou pré-moldada, desde que haja câmara de ar maior que 5 centímetros. Todavia, esta determinação é exclusiva para as casas térreas, ou, no caso de edifícios, para o pavimento mais alto, único que pode receber influência da cobertura. Nos demais pavimentos, o piso (intermediário entre habitações) não deverá ser analisado mediante as definições para a cobertura, pois o mesmo não se põe em contato com o ambiente externo.

Diante destas observações, pode se concluir que as edificações brasileiras, em sua grande maioria, possuem sistema construtivo de paredes e coberturas que atendem os requisitos mínimos de desempenho – indicados pelas NBR 15220 e 15575, portanto oferecem condições razoáveis de conforto aos seus usuários. Todavia, em se tratando de um sistema de certificação que propõe validar uma edificação conforme seu alto desempenho ambiental, a utilização de um parâmetro que já condiz com a prática construtiva comum induz a sua repetição, não garantindo uma melhoria da edificação certificada em relação às demais.

Por outro lado, algumas pesquisas recentes vêm contestando a premissa de que envoltórias com alta resistência térmica contribuem sempre para elevar os níveis de conforto proporcionados pelas edificações. Por meio de simulações do comportamento térmico e energético de diversas tipologias construtivas brasileiras, estas premissas vêm se mostrando inadequadas, pois o aumento da transmitância se mostrou diretamente proporcional ao crescimento do desconforto dos ambientes internos (RORIZ et al., 2009).

Em regiões de clima predominantemente quente, a baixa transmitância da parede reduz o ganho de calor, porém impede a saída do calor gerado pelas fontes internas e, principalmente, pelos ganhos com a radiação solar proveniente das janelas, o que aumenta o uso de condicionadores artificiais e, conseqüentemente, o consumo de energia (MELO et al., 2008). O estudo de Chvatal (2005) demonstra que o isolamento das paredes em regiões com verões intensos deve ser associado à boa proteção das áreas transparentes quanto à incidência dos raios solares.

Neste sentido, as áreas transparentes têm grande representatividade no desempenho energético da envoltória, pois influenciam diretamente na incidência de luz natural e, conseqüentemente, na carga térmica dos ambientes. Todavia, observa-se que os parâmetros de referência usados para vidros ao invés de reduzir a carga térmica interna, podem aumentá-la.

Os vidros normalmente utilizados no mercado para edificações residenciais são os vidros simples incolores de 3 mm, que possuem transmitância térmica de $5,78 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, considerados pouco eficientes energeticamente pois transmite grande carga térmica para o interior das edificações. Contudo, o valor usado como referência no requisito 1 ($U = 6,5 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$) permite o uso de vidros ainda menos eficientes que aqueles tipicamente usados. Vale destacar que este valor de transmitância não corresponde aos vidros normalmente fornecidos no mercado brasileiro, não se sabe qual produto serviu como parâmetro.

Assim como para as vedações opacas, o referencial desconsidera outras propriedades dos vidros importantes ao seu desempenho térmico, como o Fator Solar, sendo este mais abrangente que a transmitância, pois envolve características óticas e radiantes do vidro.

No que se refere ao percentual de abertura das fachadas, algumas pesquisas vem discutindo sua relação com o consumo de energia das edificações. Em um estudo realizado com edificações comerciais na cidade de Salvador apontou-se que edifícios com área de janela superior a 40% da área da fachada apresentaram consumo de energia aproximadamente 50% maior do que aqueles com área de janela inferior a 20%. No setor residencial, uma pesquisa em Hong Kong verificou que a carga de resfriamento devido aos ganhos de calor através das janelas representou 45% da carga térmica total (WESTPHAL et al., 2007).

Contudo, dentre as normas de desempenho de edificações brasileiras, incluindo o Procel Edifica, a área das aberturas não é tratada concomitantemente à resistência térmica da envoltória, mas sim relacionada aos critérios de ventilação e iluminação natural. Nos códigos de obra e edificação brasileiras, como São Paulo, Campo Grande, Florianópolis e Salvador é definido percentual de aproximadamente 15% de área mínima da janela em relação à área de piso do cômodo. Porém, em todos os casos, o tamanho das aberturas visa à iluminação e ventilação naturais.

Neste sentido, cabe destacar que a norma americana ASHRAE 90.1 indica percentuais máximos de área de janela, em relação à fachada, porém os condiciona ao comportamento das aberturas, no que se refere à redução de insolação, sendo permitido usar 40% de área de janela/área de fachada, desde que sejam usados vidros com Fator Solar de 25%; podendo ser aumentado para 50% (área janela/área fachada), somente quando associado ao uso de elementos de proteção que garantam sobreamento nas áreas transparentes (CLARO, 2010).

Estas análises, reforçadas pela pesquisa de Chvatal (2007), apontam a importância da adoção do sobreamento das aberturas como complemento aos parâmetros de desempenho energético da envoltória neste sistema de certificação. Entretanto, os elementos e soluções arquitetônicos relacionados às proteções solares, assim como ao aproveitamento de ventilação e iluminação natural, são tratados no requisito 2 de forma subjetiva, pois não representam efetivamente um critério de avaliação, mas sugestões de projeto possíveis – não obrigatórias.

Por outro lado, no Procel Edifica, os dispositivos de proteção solar para sobreamento das aberturas representam uma das variáveis no cálculo de desempenho energético das envoltórias; e, por esta razão, o processo de avaliação apresenta o método para auxiliar no dimensionamento destes elementos como

venezianas, *brises*, *cobogós* e etc, baseando-se nas características climáticas de cada Zona Bioclimática. Além disso, define os parâmetros para garantir ventilação e iluminação naturais, os quais são baseados na NBR 15575.

Diante destas análises, observa-se, no primeiro momento, a valorização da transmitância térmica em detrimento de outras propriedades térmicas que influenciam o desempenho dos materiais e sistemas construtivos.

No segundo momento, o problema evidente é a falta de critérios para definir o comportamento eficiente das soluções arquitetônicas apresentadas, quando estas tanto podem refletir de forma negativa no conforto das edificações, quanto podem contribuir com uma melhoria pouco significativa, e, portanto, seria inadequado classificar o requisito 2 no nível superior ou excelente.

Acredita-se, portanto, que para garantir a redução do consumo de energia por meio da concepção arquitetônica, é necessário incluir, de forma mensurável, estas soluções arquitetônicas como parâmetros de desempenho na avaliação do comportamento térmico da envoltória.

4.2 Preocupação 4.2: Uso de Energias Renováveis

A produção de energia local parece ser considerada uma iniciativa importante para a certificação AQUA, pois o seu único nível de desempenho possível é o excelente. Ou seja, se a edificação analisada dispõe de sistema de produção de energia local que atenda as exigências expressas, logo, será classificada no nível máximo.

As exigências que compõem esta Preocupação foram divididas em requisitos, expressos abaixo, para facilitar a análise neste trabalho:

- requisito 1: definir o percentual que o sistema de energia local vai suprir da necessidade energética da edificação e;
- requisito 2: justificar o sistema escolhido.

Diante destes requisitos, o referencial dispõe uma sequência de questões para auxiliar a avaliação desta preocupação. Estas questões devem ser consideradas nas justificativas elaboradas pelo empreendedor para demonstrar o atendimento das exigências, e serão apreciadas pelo auditor através do dossiê. Cabe destacar que

estas questões não se configuram como critérios de avaliação, conforme foi explicado no item 3.2.2.

A importância dada a este quesito indica a incorporação de preocupações que não correspondem à realidade brasileira: tanto pela obrigação em atender o nível máximo de desempenho, quanto pela própria existência de um quesito exclusivo para este assunto. A valorização da produção local de energia renovável num país como a França, que tem 77% da sua matriz energética alimentada por usinas nucleares (BEN, 2011) é justificável, mas pode ser discutida quando o cenário é o Brasil, país que apresenta uma matriz de geração elétrica de origem predominantemente renovável, sendo a geração hidráulica responsável por 74,% da oferta de energia elétrica (BEN, 2011).

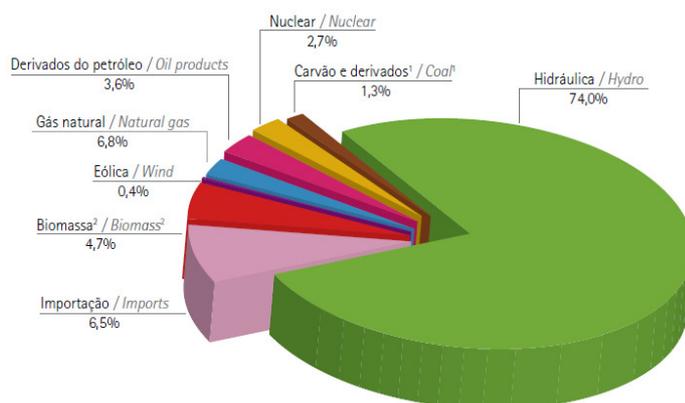


Imagem 8 - Oferta interna de Energia Elétrica por fonte.
Fonte: BEN (2011, p. 16)

Em se tratando do consumo de eletricidade em edificações residenciais brasileiras, o aspecto que possui grande representatividade na demanda de energia elétrica é o sistema de aquecimento de água, onde o chuveiro elétrico representa quase $\frac{1}{4}$ de demanda do sistema elétrico em horário de pico - das 18 às 21 horas (NOGUEIRA, 2010).

De acordo com estudos do Plano nacional de eficiência energética (MME, 2010b) cerca de 80% dos domicílios aquecem a água para banho; dos quais 92% utilizam energia elétrica, 7% utilizam sistemas a gás e 1% utiliza sistema solar.

Para Rüter (2004), o Brasil tem potencial para geração de energia solar superior ao consumo total de energia do país, pois quase todo o território nacional está situado em uma região com disponibilidade de níveis de irradiação solar e

condições climáticas apropriados para o aquecimento de água. Segundo estimativas do Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et al., 2006) a média diária da irradiação solar disponível no Brasil vai de 4,25 kWh/m² em alguns locais da região Sul até 6,5 kWh/m² no interior da região Nordeste.

A potência de aquecimento é representada em termos de GW térmicos (GWt), unidade que se refere à capacidade de geração de energia térmica. De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), cada m² de coletor solar equivale em média a 0,7 kWt (MORISHITA, 2011).

Na cidade de São Paulo a Lei municipal n° 14.459-2007, torna obrigatória a instalação de sistema de aquecimento de água por meio do aproveitamento da energia solar nas novas edificações destinadas às categorias de uso residencial e não-residencial (como escolas, hospitais, hotéis, e outros). Os sistemas de instalações hidráulicas e os equipamentos de aquecimento de água por energia solar de que tratam esta lei deverão ser dimensionados para atender, no mínimo, 40% de toda a demanda anual de energia necessária para o aquecimento de água sanitária e água de piscinas. E os equipamentos utilizados deverão ter sua eficiência comprovada por órgão técnico, credenciado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO.

Desta forma, a valorização de produção de energia renovável local destinada ao aquecimento de água é aspecto relevante em um sistema de certificação ambiental brasileiro. Contudo, é imprescindível que se pondere seu desempenho energético, garantindo sua contribuição na redução da demanda de eletricidade na matriz energética nacional.

A Preocupação 4.4 do AQUA aborda especificamente a produção de água quente, por meio de avaliação de alguns sistemas existentes. Acredita-se, portanto, que é mais relevante incorporar a valorização de sistemas que utilizem energias renováveis à análise dos sistemas de produção de água quente.

4.3 Preocupação 4.3: Redução do consumo de energia primária não renovável (Cep)

A análise sobre a preocupação 4.3 do AQUA parte da premissa de que a energia primária que alimenta as edificações brasileiras é predominantemente

renovável, conforme foi afirmado no item 3.2, portanto, a primeira observação se faz sobre a inadequação do título desta preocupação.

A denominação deste título foi traduzida do referencial técnico francês HQE-Logement, assim como quase toda a estrutura da preocupação 4.3. Provavelmente esta é a razão pela qual o coeficiente de energia primária *Cep* é tratado como o principal objeto. De acordo com um dos auditores da Fundação Vanzolini para a certificação AQUA, adotou-se o *Cep* por este utilizar uma “unidade empregada internacionalmente” para indicar o consumo energético, que é o kWh/m²/ano.

No Brasil, o consumo energético de edificações é, normalmente, projetado por uso-final (kWh/mês ou kWh/ano) através de dados de posses de equipamentos e hábitos de uso, sejam eles de iluminação, conservação de alimentos, aquecimento de água, condicionamento de ar e equipamentos (MORISHITA, 2011). Existe uma base de dados relativa a usos finais de domicílios brasileiros, resultado da Pesquisa de posse e hábitos de consumo de energia (ELETROBRÁS e PROCEL, 2007a) que descreve o uso-final de equipamentos e sistemas, mas não estabelece valores ideais, que possam ser usados como referência.

Por sua vez, países como a França e Portugal oferecem os indicadores de consumo de referência em normas nacionais. Em Portugal, o *Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios (RCCTE) - Decreto Lei 80/2006 de 4 de Abril* apresenta a equação para transformar energia útil em energia primária, bem como valores de referência para os equipamentos e os sistemas usuais (CHVATAL, 2007).

No sistema de certificação francês *HQE-Logement* são especificados o método e a norma - *méthode de calcul Th-C-E - Arrêté du 19 juillet 2006* – que devem ser usados para o cálculo do coeficiente *Cep*, usando como dados de entrada as características da edificação como um todo e dos seus equipamentos. Para o cálculo do *Cep* de referência as características dos edifício referencial e os equipamentos também são definidos em norma - *Titre II de l'arrêté du 24 mai 2006* (HQE, 2007).

O coeficiente *Cep* foi utilizado pelo AQUA como indicador de consumo. Baseado num sistema de certificação estrangeiro, porém, a falta de referências nacionais inviabiliza sua efetiva utilização para análise de desempenho térmico,

exigido na Exigência1, pois, como foi discutido, a categoria C do PBE não pode ser usada como referência, por tratar exclusivamente dos equipamentos.

Entretanto, o Procel Edifica, através do seu referencial técnico para residências apresenta metodologia para calcular os indicadores de Consumo relativo anual para aquecimento (CA) e para refrigeração (CR), expressos em kWh/m².ano, os quais são usados para avaliar o desempenho da envoltória da edificação.

Em se tratando do desempenho dos equipamentos, tratados na Exigência 2, acredita-se na importância de condicionar a escolha de produtos com eficiência energética comprovada – como os etiquetados pelo PBE. Porém, estes equipamentos, se não forem instalados em áreas comuns, dependerão da escolha dos usuários e não do empreendedor.

Ainda sobre a Exigência 2, observa-se a inadequação em usar a “ventilação” como um sistema a ser calculado, na medida em que se fez uma tradução equivocada da palavra *ventilation* utilizada no Sistema HQE, que possui um requisito exclusivo para a ventilação ao tratar do processo de exaustão mecânica em banheiros que não possuem janela, vastamente usado na França, mas incomum ao Brasil. Para nós, é o sistema de refrigeração(já contemplado no Requisito 1) que exige cálculo.

A análise desses dois Requisitos demonstram a ausência de métodos para calcular o coeficiente de consumo de energia *Cep*, embora se indique a necessidade de utilizar ferramentas de simulação. Além disso, a própria adoção do coeficiente *Cep* é inadequada ao sistema de certificação brasileiro, tendo em vista que não há valores de referência para o mesmo.

Tanto a ausência de método quanto a própria adoção de um indicador ainda sem referência que se adeque à realidade brasileira, indicam a adaptação pouco criteriosa do sistema de certificação francês *HQE-Logement*.

A estrutura de avaliação sobre as áreas comuns foi integralmente herdada do *HQE-Logement*, inclusive suas exigências. Sendo esse um sistema de certificação consolidado, presume-se que as exigências prescritivas foram desenvolvidas com base na constatação de resultados eficientes, Ao limitar-se, tão somente, a conferir se o empreendimento analisado contém as determinações de projeto, a avaliação da

Exigência 4 restringe-se a verificar o atendimento de prescrições, e não, o da eficiência energética das mesmas.

Outro aspecto que demonstra a adaptação direta do HQE, fica evidente quando se constata o uso de expressões subjetivas para indicar as luminárias eficientes (ex: “...usar lâmpadas de alto rendimento”), ou quando se verifica a indicação restritiva à “lâmpada fluorescente T8 e T5”, no lugar de especificações atreladas aos produtos etiquetados pelo PBE.

Por último, foi observado que a Exigência 4 aborda, apenas, a iluminação e o elevador em suas determinações, desconsiderando da avaliação os demais equipamentos e sistemas que compõem as áreas de uso comum. Em contrapartida, observou-se que o Procel Edifica insere no processo de avaliação das áreas comuns, as bombas centrífugas, os eventuais sistemas de aquecimento de água (chuveiros, torneiras, piscina), os equipamentos (eletrodomésticos, ar condicionados), a envoltória de áreas comuns. Sua avaliação é estruturada mediante o desempenho energético destes elementos.

4.4 Preocupação 4.4: Produção de Água Quente

A preocupação 4.4 aborda um aspecto bastante relevante no perfil de consumo de energia das residências brasileiras, como já foi afirmado, onde o chuveiro elétrico é alvo de grande atenção. Desta forma, a valorização de outras modalidades de produção de água quente é aspecto relevante em um sistema de certificação ambiental.

Entretanto, o requisito 1 restringe esta possibilidade a apenas três sistemas individuais de produção de energia, e apenas um para o caso dos coletivos. Sistemas coletivos a gás, por exemplo, são desconsiderados desta avaliação, entretanto, representam uma porção significativa de aquecimento de água para edificações de alto padrão em cidades das regiões Sudeste e Sul do país, além de ser uma modalidade que permite utilização de energia renovável, pelo uso do biogás como combustível.

Além disso, a desconsideração de determinadas modalidades de aquecimento de água pode mascarar o uso de sistemas com alto consumo de energia. Ou seja, supondo a utilização de sistema elétrico de passagem, o pré-requisito sobre dimensionamento não seria atendido, nem mesmo na classificação mais baixa.

Portanto, a preocupação 4.4 seria desconsiderada para a composição do nível da Categoria 4, podendo atingir um desempenho alto – em função das outras preocupações desta categoria -, mesmo utilizando um sistema de alto consumo energético.

Os requisitos mínimos estabelecidos para os sistemas a gás e de acumulação elétrico (boilers) são restritivos à vazão e à capacidade de armazenamento de água, fatores que, sozinhos, não garantem um desempenho energético.

Aspectos relativos à potência do equipamento usado, isolamentos das tubulações e dos reservatórios, e o consumo de energia não foram solicitados em nenhuma das três modalidades. Contudo, desde os anos 1980, normas brasileiras vêm tratando o isolamento térmico dos equipamentos que compõem os sistemas de água quente, como a NBR 10185 - Reservatórios para líquidos destinados a sistema de energia solar.

No Procel Edifica, as características térmicas do reservatório e das tubulações são pré-requisitos para a classificação dos sistemas de aquecimento de água. Deve-se comprovar que a estrutura do reservatório possui resistência térmica mínima definida e as tubulações devem atender as recomendações quanto à espessura.

A ausência do isolamento como critério é fato que, presume-se, justifica as pequenas distâncias determinadas no critério 1, pois o limite máximo de 13 metros entre a produção e o uso da água quente impede que os edifícios com mais de quatro pavimentos possam alcançar classificação superior ou excelente nesta categoria.

Embora este trabalho não aborde de maneira detalhada o desempenho dos sistemas de aquecimento de água, as análises baseadas em pesquisas científicas nesta área, permitem concluir que é possível obter sistemas energeticamente eficientes com distâncias superiores às definidas nesta certificação, desde que exista uma análise mais abrangente sobre a perda de calor pela unidade de comprimento entre a produção e o uso da água quente (LOPO, 2010; SPRENGER, 2007).

O critério sobre o desempenho do sistema é informado pelo fabricante e possui valores aceitáveis, quando comparados aos níveis de desempenho. Cabe ressaltar que este desempenho poderia ser atrelado ao PBE, tendo em vista que já se

encontram etiquetados alguns equipamentos e sistemas, todavia, as ENCE foram desconsideradas nesta preocupação.

Outra observação relevante é que as modalidades apresentadas possuem o mesmo peso perante o pré-requisito, pois qualquer um deles permite que os três níveis sejam alcançados. Contudo, há uma enorme discrepância de eficiência energética entre sistemas de aquecimento solar e aquecedor de acumulação elétrico. Assim como o chuveiro elétrico, os boilers possuem alto consumo de eletricidade, e, portanto, não contribuem para reduzir a demanda de energia elétrica na matriz energética nacional – mesmo que esta seja oriunda de fonte renovável. Desta forma, entende-se que há necessidade de estabelecer classificações diferentes para as modalidades de produção de água quente.

5 AQUA - PROPOSTO

A princípio, este trabalho tinha por meta fazer uma análise crítica do Referencial AQUA em seu quesito que trata o desempenho energético. Contudo, ao longo da sua construção constatou-se a necessidade de fazer algumas propostas para a possível melhoria do processo estudado, diante da constatação das falhas que fragilizam a avaliação AQUA e, conseqüentemente, a sua certificação.

Essas constatações tornaram-se claras, à medida que se fez o estudo comparativo com o Procel Edifica, quando foram identificadas similaridades entre os dois sistemas de avaliação. A estruturação em critérios mensuráveis, a maior abrangência e o envolvimento de mais elementos para avaliar o desempenho energético das edificações, concedem maior respaldo técnico ao Procel Edifica. A partir disso, estudou-se a adequação dos requisitos técnicos do Procel à estrutura do AQUA.

A priori definiu-se que os 5 níveis de classificação do Procel fossem adaptados aos 3 níveis do AQUA, respeitando a sua filosofia de avaliação. O Quadro 5 abaixo esclarece a adaptação:

Procel Edifica		AQUA-Proposto
Nível de Eficiência	EqNum	Níveis
A	$\text{EqNum} \geq 4,5$	E
B	$3,5 \leq \text{EqNum} < 4,5$	S
C	$2,5 \leq \text{EqNum} < 3,5$	B
D	$1,5 \leq \text{EqNum} < 2,5$	-
E	$\text{EqNum} < 1,5$	-

Quadro 5 - Adaptação dos níveis de eficiência.

Fonte: Elaborado pela autora com dados de Centrais Elétricas Brasileiras (2012)

Optou-se por não incluir os níveis D e E do Procel na classificação do AQUA, pois entende-se que eles não representam eficiência. Os mesmos só serão considerados quando do cálculo do equivalente numérico da envoltória (EqNumEnv) – utilizado no Requisito 4.1.4.

A lógica de classificação também será mantida, sendo por valor (bom, superior ou excelente) e por condição, onde o atendimento garante o nível bom e permite que os demais níveis sejam alcançados. As sugestões apresentadas são

restritas à avaliação simplificada dos parâmetros de desempenho, chamado de “método prescritivo” no Procel Edifica, que é aplicado sem o auxílio de ferramentas computacionais.

A nova metodologia é apresentada em forma de requisitos (onde se tentou aproveitar o máximo da estrutura das Exigências de cada Preocupação) e os critérios e métodos atrelados a estes. Dentro de cada requisito criado, são explicados o critério para alcançar a classificação - seja a avaliação por condição ou por valor - e o método necessários. Os anexos A e B contém as equações complementares aos métodos.

A estrutura do AQUA-Proposto:

AQUA	AQUA-Proposto
4.1 - Redução do consumo de energia por meio da concepção arquitetônica	4.1 – Redução do consumo de energia por meio da concepção arquitetônica
4.2 – Uso de energias renováveis locais	4.2 – Produção de água quente
4.4 – Produção de água quente	
4.3 - Redução do consumo de energia primária não renovável Cep	4.3 – Controle do consumo de energia nas áreas comuns

Quadro 6 - Estrutura do AQUA Proposto

Fonte: Elaborada pela autora.

5.1 AQUA-Proposto - Preocupação 4.1: Redução do Consumo de energia por meio da concepção arquitetônica

A análise da Preocupação 4.1 do AQUA, evidenciou que as fragilidades observadas se referem à ausência de método para mensurar a eficiência dos elementos arquitetônicos sugeridos na Exigência 2, assim como, a avaliação da envoltória restrita à propriedade Transmitância térmica.

Assim sendo, a proposta para a melhoria desta Preocupação consiste na adoção dos critérios técnicos da avaliação da envoltória definida pelo Procel Edifica, pelo fato deles constituírem uma metodologia que considera tanto os aspectos relacionados às propriedades térmicas (materiais e sistemas construtivos) da envoltória, quanto às soluções arquitetônicas, para a avaliação de desempenho energético da edificação.

- Os Requisitos 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3 correspondem aos pré-requisitos do quesito Envoltória do Procel Edifica, que tratam das propriedades

térmicas (Transmitância e Capacidade térmicas, e Absortância), a ventilação e iluminação naturais, os quais substituem a Exigência 1 do AQUA.

- Os Requisitos 4.1.4 e 4.1.5 avaliam o desempenho da envoltória considerando o comportamento para ventilação natural e para edificações com ambientes condicionados artificialmente. Utilizou-se a metodologia do Procel Edifica para os cálculos do Equivalente numérico da envoltória (que envolve os equivalentes numéricos da envoltória de resfriamento e aquecimento), e do Equivalente numérico da envoltória de refrigeração.

Partindo dessa premissa, a Preocupação 4.1 do AQUA-Proposto é reestruturada em 5 requisitos conforme expressos na tabela 10.

Tabela 10 - AQUA Proposto – Preocupação 4.1

AQUA Real	AQUA Proposto
Exigências	Requisitos
<ul style="list-style-type: none"> Melhoria da aptidão da envoltória para limitar desperdícios de energia 	4.1.1 Garantir desempenho térmico dos sistemas construtivos: Transmitância térmica, Capacidade térmica, Absortância
	4.1.2 Garantir iluminação natural
	4.1.3 Garantir ventilação natural
<ul style="list-style-type: none"> Melhoria da aptidão do edifício para reduzir suas necessidades energéticas (demanda instalada) 	4.1.4 Atender desempenho da envoltória – Naturalmente ventilada
	4.1.5 Atender desempenho da envoltória – ambientes condicionados artificialmente

Fonte: Elaborada pela autora.

Requisito 4.1.1: Garantir desempenho térmico dos sistemas construtivos: Transmitância térmica, Capacidade térmica e Absortância.

- Critério: avaliação por condição.

A escolha dos materiais e dos sistemas construtivos para as envoltórias (paredes externas e coberturas) dos ambientes de permanência prolongada (quartos e salas) deve contemplar os critérios quanto às propriedades térmicas. Os valores de referência usados como critério são definidos na norma de desempenho NBR

15575, os quais variam de acordo com as características climáticas locais - definidas pelas Zonas Bioclimáticas. A Tabela 11 apresenta estes valores.

Tabela 11 – AQUA-Proposto - Classificação Requisito 4.1.1

Zona Bioclimática	Componente	Absortância solar (adimensional)	Transmitância térmica [W/(m ² k)]	Capacidade térmica	AQUA-Proposto Níveis
ZB1 e ZB2	Parede	Sem exigência	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$	B
	Cobertura	Sem exigência	$U \leq 2,30$	Sem exigência	
ZB3 a ZB6	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$	B
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$	
	Cobertura	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 2,30$	Sem exigência	
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 1,50$	Sem exigência	
ZB7	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$	B
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$	
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,30$	Sem exigência	
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,50$	Sem exigência	
ZB8	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	Sem exigência	B
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	Sem exigência	
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,30$	Sem exigência	
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,50$	Sem exigência	

Fonte: Elaborada pela autora com dados de Centrais Elétricas Brasileiras (2012)

As considerações sobre a transmitância e a absortância das superfícies devem ser atendidas:

- Deve-se considerar a transmitância térmica e absortância ponderadas: a média de cada parcela das paredes externas (excluindo aberturas), ou cobertura, pela área que ocupam;
- Os pisos de áreas externas, como pilotis e varandas, localizados sobre ambientes de permanência prolongada devem atender aos pré-requisitos de transmitância e absortância de coberturas;
- Aberturas zenitais com até 2% da área da cobertura devem ser desconsideradas no cálculo da transmitância térmica e absortância;

- Não será avaliada a transmitância de coberturas de garagens, casas de máquinas e reservatórios de água;
- Não será avaliada a absorvância das áreas cobertas por coletores ou painéis solares, ou por vegetação, como teto-jardim; das aberturas; de fachadas construídas na divisa do terreno, quando encostadas em outra edificação; paredes externas ou coberturas permanentemente sombreadas;
- Na Zona Bioclimática 8, não precisam atender os valores estipulados as coberturas:
 - a) com telhas cerâmicas e sem forro, desde que não sejam pintadas ou esmaltadas;
 - b) contenham aberturas para ventilação em, no mínimo, dois beirais opostos, desde que ocupem toda a extensão das fachadas respectivas e possuam altura mínima de 6 centímetros. Nestes casos, em função da altura total para ventilação, os limites aceitáveis da transmitância térmica poderão ser multiplicados pelo fator de correção da transmitância (FT) indicado pela equação: $FT = 1,17 - 1,07 h^{-1,04}$ (ABNT, 2005).
- Fachadas envidraçadas onde exista parede na face interna do vidro deve-se considerar uma das alternativas:
 - a) se o vidro estiver em contato direto com a parede, a absorvância total considera também a absorvância e transmitância do vidro, conforme a equação 2:

$$\alpha = \alpha_{vidro} + \tau_{vidro} \times \alpha_{parede} \quad (\text{eq.2})$$

- b) se houve câmara de ar entre a parede e o vidro, considera-se então o fator solar do vidro, conforme a equação 3:

$$\alpha = FS_{vidro} \times \alpha_{parede} \quad (\text{eq.3})$$

➤ Método:

Para se alcançar os valores de transmitância térmica e Capacidade térmica, assim como do fator solar, devem ser usadas as equações definidas na NBR 15220-

2. Para o caso da absorvância, recomenda-se utilizar os valores tabelados na NBR 15220 ou nas normas da ASTM E1918-06, ASTM E903-96 e ASHRAE 74-1988 (CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS, 2012). As transmitâncias dos vidros também encontram-se tabeladas na NBR 15220.

Requisito 4.1.2: Garantir a Iluminação Natural

- Critério: avaliação por condição.

Este Requisito reproduz os critérios definidos na NBR 15575, para cálculo dos percentuais de área de abertura em relação às áreas dos cômodos de permanência prolongada, considerando as Zonas Bioclimáticas.

Tabela 12 – AQUA-Proposto - Classificação Requisito 4.1.2

Ambiente	Percentual de abertura para ventilação em relação à área de piso (A)			AQUA-Proposto Níveis
	ZB 1 a 6	ZB 7	ZB 8	
Ambientes de permanência prolongada	A ≥ 8%	A ≥ 5%	A ≥ 10%	B

Fonte: Elaborada pela autora com dados de Centrais Elétricas Brasileiras (2012)

As considerações devem ser atendidas:

- As aberturas devem ser passíveis de fechamento durante o período de frio, exceto para a zona bioclimática 8 – desde que estas aberturas não sejam de segurança, como as relativas às instalações de gás;
- A área máxima dos dormitórios considerada para a relação da área da abertura é 15 m², a área excedente é desconsiderada do cálculo da área útil do ambiente;
- As áreas de corredor são desconsideradas, mesmo se o corredor for contíguo a algum ambiente de permanência prolongada;
- Pelo menos 50% dos banheiros, com exceção dos lavabos, deve possuir ventilação natural;

- São aceitas as aberturas de banheiros voltadas para o forro, prismas ou poços de ventilação, mas, neste caso, devem atender os percentuais da Tabela 12.

➤ Método:

O percentual de abertura é resultado da divisão entre a área da abertura efetiva para ventilação, dividida pela área útil do ambiente. Em janelas com folhas fixas, somente o vão aberto é considerado na área para ventilação, assim como, os caixilhos devem ser desconsiderados. A equação é definida na NBR 15575-4.

Requisito 4.1.3: Garantir a ventilação natural

➤ Critério: avaliação por condição.

Em cidades que possuam o percentual de abertura para ventilação definido pelo Código Municipal de Obras e Edificações, deve-se respeitar este valor. Caso não possua, a soma das áreas de aberturas para iluminação natural deve representar um percentual mínimo de 12,5% em relação à área útil do cômodo de permanência prolongada. Os corredores de circulação e áreas excedentes a 15 m² são desconsiderados do cálculo da área útil. O Atendimento garante o nível BOM.

➤ Método:

O percentual de área de iluminação é definido pela área útil de iluminação das aberturas, dividida pela área útil do ambiente, sendo os caixilhos e as partes opacas das janelas desconsiderados.

Requisito 4.1.4: Atender o desempenho da envoltória – naturalmente ventilada

➤ Critério: avaliação por valor.

O desempenho energético da envoltória naturalmente ventilada é determinado pelo seu equivalente numérico (EqNumEnv), estabelecido através de equações que envolvem os indicadores de graus-hora para resfriamento (*GHR*) e de consumo relativo para aquecimento (*CA*) dos ambientes de permanência prolongada, de acordo com a Zona Bioclimática em que a edificação está localizada.

Observação: deve ser aplicado para todas as edificações mesmo que possuam sistema de condicionamento artificial.

A classificação é atribuída conforme a Tabela 13.

Tabela 13 – AQUA-Proposto – Classificação Requisito 4.1.4

Envoltória Naturalmente ventilada	AQUA-Proposto Níveis
$EqNumEnv \geq 4,5$	E
$3,5 \leq EqNumEnv < 4,5$	S
$2,5 \leq EqNumEnv < 3,5$	B

Fonte: Elaborada pela autora com dados de Centrais Elétricas Brasileiras (2012)

➤ Método:

O procedimento para obtenção do EqNumEnv é descrito nos itens a seguir. As equações estão apresentadas no Anexo A.

a) Calcular o indicador de Graus-hora para resfriamento (GRh) e o indicador de Consumo relativo para aquecimento (CA) de cada ambiente de permanência prolongada através das equações específicas para cada zona bioclimática. Para as ZB de 5 a 8 não é necessário calcular o CA.

b) Identificar os equivalentes numéricos da envoltória de cada ambiente para resfriamento (EqNumEnvAmbResf.) e aquecimento (EqNumEnvAmbA) relacionados aos valores de GRH e CA (expressos no Anexo A).

c) Calcular os equivalentes numéricos da envoltória para resfriamento (EqNumEnvResf.) e para aquecimento (EqNumEnvA), através da ponderação dos EqNumEnvAmbResf e EqNumEnvAmbA pelas áreas úteis dos ambientes avaliados,

conforme a

$$EqNumEnv_{Resf. ou A} = \frac{\sum (AU_{amb.} \times EqNumEnv_{AmbResf. ou A})}{\sum AU_{amb.}} \quad \text{equação 4:} \quad (eq.4)$$

d) Calcular o equivalente numérico da envoltória (EqNumEnv) conforme as equações 5, 6, 7, 8 e 9. Para as zonas bioclimáticas 5, 6, 7 e 8 o EqNumEnv é o EqNumEnvResf.

$$\text{Para ZB1: EqNumEnv} = 0,08 \times \text{EqNumEnvResf} + 0,92 \times \text{EqNumEnvA} \quad (\text{eq.5})$$

$$\text{Para ZB2: EqNumEnv} = 0,44 \times \text{EqNumEnvResf} + 0,56 \times \text{EqNumEnvA} \quad (\text{eq.6})$$

$$\text{Para ZB3: EqNumEnv} = 0,64 \times \text{EqNumEnvResf} + 0,36 \times \text{EqNumEnvA} \quad (\text{eq.7})$$

$$\text{Para ZB4: EqNumEnv} = 0,68 \times \text{EqNumEnvResf} + 0,32 \times \text{EqNumEnvA} \quad (\text{eq.8})$$

$$\text{Para ZB5 a ZB8: EqNumEnv} = \text{EqNumEnvResf} \quad (\text{eq.9})$$

Requisito 4.1.5: Atender o desempenho da envoltória – ambientes condicionados artificialmente

- Critério: avaliação por valor.

O desempenho energético da envoltória, quando houver ambientes condicionados artificialmente, é determinado pelo equivalente numérico de refrigeração (EqNumEnvRefrig.), estabelecido através do indicador de consumo relativo de refrigeração (CR) dos ambientes de permanência prolongada, de acordo com a Zona Bioclimática em que a edificação está localizada.

Observação: deve ser aplicado para todas as edificações mesmo que ainda não possuam sistema de condicionamento artificial instalado.

A classificação é atribuída conforme a Tabela 14.

Tabela 14 – AQUA-Proposto – Classificação Requisito 4.1.5

Condicionamento Artificial	AQUA-Proposto Níveis
$\text{EqNumEnvRefrig} \geq 4,5$	E
$3,5 \leq \text{EqNumEnvRefrig} < 4,5$	S
$2,5 \leq \text{EqNumEnvRefrig} < 3,5$	B

Fonte: Elaborada pela autora com dados de Centrais Elétricas Brasileiras (2012)

➤ Método:

O procedimento para obtenção do EqNumEnvRefrig. é descrito nos itens a seguir. As equações estão apresentadas no Anexo B.

a) Calcular o indicador de Consumo relativo para refrigeração (CR) de cada ambiente de permanência prolongada através das equações específicas para cada zona bioclimática.

b) Identificar o equivalente numérico da envoltória de cada ambiente para refrigeração (EqNumEnvAmbRefrig.) relacionado ao valor de CR (expressos no Anexo B).

c) Calcular o equivalente numérico da envoltória para refrigeração (EqNumEnvRefrig.) através da ponderação do EqNumEnvAmbRefrig. pela soma das áreas úteis ambientes avaliados, conforme a equação 10:

$$\text{EqNumEnv Refrig.} = \frac{\sum (\text{AUamb.} \times \text{EqNumEnvAmbRefrig.})}{\sum \text{AUamb.}} \quad (\text{eq.10})$$

5.2 AQUA-Proposto - Preocupação 4.2: Produção de água quente

Diante das análises acerca das Preocupações 4.2 e 4.4 do AQUA, desenvolveu-se uma proposta de melhoria a partir do agrupamento das duas. Tal proposta objetiva incluir critérios que não foram abordados e definir métodos para avaliar o desempenho energético dos sistemas possíveis, no intuito de dar mais consistência às recomendações apresentadas na Exigência 1 da Preocupação 4.4 do AQUA.

Para tanto, propõe-se a absorção da metodologia de avaliação do quesito sobre Sistemas de Aquecimento de Água do Procel Edifica. No entanto, a classificação de desempenho será adaptada, não apenas para ajustar aos níveis de desempenho do AQUA, conforme estabelecido no Quadro 5, mas, principalmente, porque esta proposta sugere também uma nova hierarquia dentre as modalidades de produção de água quente, inclusive, diferentes do Procel Edifica.

Neste aspecto, optou-se por valorizar o sistema de energia solar, tendo em vista que esta é uma opção que gera pouco impacto no meio ambiente e, principalmente, por consistir em mecanismo de produção de energia renovável local, o qual é objetivo da Preocupação 4.2 do AQUA. Além disto, representa uma tendência do mercado, o que deve impulsionar redução dos custos de equipamentos e de instalação, tendo em vista que já é modalidade obrigatória no Código de obras do município de São Paulo.

Diante dessa lógica, a hierarquia se dá de maneira que somente o Sistema Solar e as Bombas de Calor conseguem alcançar o nível Excelente, quando para os sistemas elétricos, o único nível possível é o Bom. Os sistemas a gás, entendido como uma possibilidade energeticamente melhor que este último, permitem o alcance do nível Superior. O sistema de caldeiras à óleo foi desconsiderado desta avaliação.

A opção de incluir os sistemas elétricos de passagem nesta Proposta se deu pelo fato deles ainda possuírem, no Brasil, um custo consideravelmente menor em relação às demais possibilidades de produção de água quente, tanto no que se refere aos equipamentos, quanto às instalações.

As Preocupações 4.2 e 4.4 do AQUA, passam, então, a constituir a Preocupação 4.2 do AQUA-Proposto, que se estrutura conforme 4 Requisitos apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - AQUA-Proposto – Preocupação 4.3

AQUA	AQUA-Proposto
Exigências	Requisitos
<ul style="list-style-type: none"> • A produção de água quente respeita os dimensionamentos apresentados no anexo apresentado após as notas desta categoria. 	4.2.1. Resistência térmica do reservatório
	4.2.2. Isolamento térmico da tubulação
<ul style="list-style-type: none"> • Ponto de alimentação 	4.2.3. Eficiência energética dos sistemas de aquecimento de água
<ul style="list-style-type: none"> • Desempenho do sistema para produção de água quente 	4.2.4. Desempenho dos sistemas de aquecimento de água

Fonte: Elaborada pela autora.

Cabe destacar que a Exigência 2 do AQUA foi desconsiderada na proposta de aprimoramento, pois, entende-se que esteja absorvida pelos três primeiros requisitos do AQUA-Proposto.

- Os Requisitos 4.2.1 e 4.2.2 correspondem aos pré-requisitos do Procel Edifica que abordam a resistência térmica do reservatório e o isolamento térmico das tubulações, assuntos estes, que não são tratados na Preocupação 4.4 do AQUA. A avaliação é por condição, onde o atendimento garante o nível bom e permite a classificação nos outros níveis.
- Requisito 4.2.3 representa a Exigência 1 da Preocupação 4.4 do AQUA e consiste na avaliação de desempenho de cada modalidade de produção de água quente. Foi absorvida a metodologia do Procel, porém com expressivos ajustes na classificação.
- No Requisito 4.2.4 foi mantida a Exigência 3 da Preocupação 4.4 do AQUA, que considera os percentuais de desempenho dos sistemas, contudo o PBE foi inserido como outro critério.

Requisito 4.2.1: Resistência térmica do reservatório

- Critério: avaliação por condição.

Os reservatórios de água quente devem possuir resistência térmica mínima de 2,20 (m².K)/W, comprovada pelo fabricante ou pelo projeto hidráulico.

Requisito 4.2.2: Isolamento térmico da tubulação

- Critério: avaliação por condição.

As tubulações devem atender às espessuras mínimas de isolamento térmico definidas conforme o material, o diâmetro e a condutividade térmica expressos na tabela 16.

Tabela 16 – AQUA-Proposto – Classificação Requisito 4.3.2

Tipo	Temperatura da área (C°)	Condutividade térmica (W/(m.K))	Diâmetro nominal da tubulação (mm)		AQUA-Proposto Nível
			< 40	≥ 40	
Tubulação Metálica	T ≥ 38	0,032 a 0,040	1,0 cm	2,5 cm	B
Tubulação Não-metálica			1,0 cm		

Fonte: Elaborada pela autora com dados de Centrais Elétricas Brasileiras (2012)

➤ Método

Para isolamentos cuja condutividade térmica não esteja na faixa determinada na tabela, a espessura mínima deve ser calculada pela equação 11 abaixo:

$$E = r \left(1 + \frac{e}{r} \frac{\lambda}{\lambda'} - 1 \right) \quad (\text{eq.11})$$

Onde:

E: espessura mínima de isolamento (cm);

r: raio externo da tubulação (cm);

e: espessura de isolamento listada na Tabela 16 para a temperatura da água e tamanho da tubulação em questão (cm);

λ : condutividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura da água (W/(m.K));

λ' : valor superior do intervalo de condutividade listado na Tabela 16 para a temperatura da água (W/(m.K)).

Requisito 4.2.3: Eficiência energética dos sistemas de aquecimento de água

➤ Critério: avaliação por valor.

A classificação da produção de água quente é definida de acordo com os critérios e metodologias específicos para cada sistema, conforme detalhados a seguir.

4.2.3.1 – Sistema de aquecimento solar

Devem ser atendidos os pré-requisitos seguintes:

- Os coletores solares devem ser instalados com orientação e ângulo de inclinação conforme especificações, manual de instalação e projeto;

Observação1: a orientação ideal dos coletores é voltada para o Norte geográfico com desvio máximo de até 30° desta direção, quando no hemisfério sul.

Observação2: a inclinação ideal dos coletores é a da latitude local acrescida de 10°.

- Os reservatórios de água quente devem ter isolamento térmico adequado e capacidade de armazenamento mínimo compatíveis com o dimensionamento definido nesta avaliação (itens a, b, c).
- Os coletores solares e os reservatórios térmicos devem atender aos requisitos das normas brasileiras aplicáveis.
- Para obtenção do nível E, além destes, outros pré-requisitos devem ser atendidos:
- Os coletores solares para aquecimento de água (aplicação: banho) devem possuir ENCE A ou B ou Selo Procel;
- Os reservatórios devem possuir Selo Procel; para o caso de reservatórios com volumes superiores aos etiquetados pelo PBE, deve-se apresentar o projeto do reservatório térmico com desempenho igual ou superior ao reservatório com maior volume etiquetado pelo Inmetro.

Devem ser atendidas as restrições:

- Sistemas que apresentarem o volume de armazenamento real (volume do reservatório do projeto sob análise) inferior a 50 litros/m² de coletor, ou superior a 150 litros/m² de coletor, atingirão no máximo nível B.
- Em edificações multifamiliares onde o sistema de aquecimento solar é individual, a análise deve ser feita individualmente, para cada UH.

A classificação do sistema é atribuída de acordo com a Fração Solar anual obtida, conforme expresso na Tabela 17. Para isto, é necessário atender o dimensionamento definido conforme metodologia apresentada a seguir. No Anexo C são expressas detalhadamente as equações para calcular cada um dos itens de dimensionamento.

Tabela 17 - AQUA-Proposto - Classificação da eficiência de sistemas de aquecimento solar (com backup por resistência elétrica)

Dimensionamento	AQUA-Proposto Níveis
Fração Solar anual mínima de 70% (igual ao dimensionamento)	E
Fração Solar anual entre 50 e 69% (até 20% menor que o dimensionamento)	S
Fração Solar anual menor que 50% (maior que 20% do dimensionamento)	B

Fonte: Elaborada pela autora com dados de Centrais Elétricas Brasileiras (2012)

➤ Método:

O dimensionamento do sistema para se alcançar o valor de Fração Solar é obtido por meio dos resultados dos condicionantes:

- a) Calcular o volume do sistema de armazenamento;
- b) Calcular a demanda de energia útil considerando os valores de radiação solar mês a mês;
- c) Calcular a produção energética da instalação por meio da determinação da fração solar anual (ou porcentagem da demanda energética que é coberta pela instalação solar):
 - c1) Calcular a radiação solar mensal incidente sobre a superfície inclinada dos coletores (Elmês).
 - c2) Calcular o parâmetro D1 (ponderação da energia solar mensal absorvida pelos coletores, pela demanda de energia).
 - c3) Calcular o parâmetro D2 (ponderação da energia solar mensal não aproveitada pelos coletores, pela demanda de energia útil considerando os valores de radiação solar mês a mês).
 - c4) Calcular a fração solar mensal f , a partir dos valores de D1 e D2.
 - c5) Calcular a energia útil mensal coletada (EUmês) pela instalação solar para a produção de água quente.

4.2.3.2 – Bombas de calor

A classificação dos sistemas de aquecimento de água que utilizam bombas de calor PE atribuída pelo coeficiente de performance (COP), medido de acordo com

as normas ASHRAE Standard 146, ASHRAE 13256 ou AHRI 1160 (CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS, 2012), relacionados na Tabela 18.

Tabela 18 - AQUA-Proposto - Classificação de eficiência de bombas de calor

COP (W/W)	AQUA-Proposto Níveis
$COP \geq 3,0$	E
$2,0 \leq COP < 3,0$	S
$COP < 2,0$	B

Fonte: Elaborada pela autora com dados de Centrais Elétricas Brasileiras (2012)

Não devem ser utilizados gases refrigerantes comprovadamente nocivos ao meio ambiente (por exemplo, R22). Recomenda-se equipamentos que utilizem os gases R 134, R 407 ou similares.

4.2.3.3 – Sistema de aquecimento a gás: Aquecedor a gás do tipo instantâneo, Sistema de acumulação individual e Sistema central coletivo.

Devem ser atendidos os pré-requisitos seguintes:

- Os aquecedores a gás e reservatórios térmicos devem atender aos requisitos das normas técnicas brasileiras aplicáveis. Na ausência destas, devem ser atendidas as normas internacionais aplicáveis.
- Os aquecedores devem estar instalados em lugares protegidos permanentemente contra intempéries, com ventilação adequada para não interferir em sua eficiência e instalados conforme a NBR 13103.

Para obtenção do nível S (máximo), além destes, outros pré-requisitos devem ser atendidos:

- Os aquecedores a gás do tipo instantâneo e de acumulação devem possuir ENCE A ou B.
- Os reservatórios de água quente devem ter isolamento térmico e capacidade de armazenamento compatíveis com o dimensionamento definido nesta avaliação.
- Para aquecedores a gás do tipo instantâneo, a potência do sistema de aquecimento informada pelo projetista deve estar dentro de uma variação de 20%, para mais ou para menos, do dimensionamento definido.
- Para sistema de acumulação individual e sistema central coletivo a gás, a potência do sistema de aquecimento e o volume de armazenamento

informados pelo projetista devem estar dentro de uma variação de 20%, para mais ou para menos, conforme o dimensionamento definido.

Aquecedores do tipo instantâneo e de acumulação que possuam ENCE, considerando a última versão publicada na página do Inmetro, e estejam de acordo com normas técnicas brasileiras para aquecedores a gás, a classificação é atribuída conforme a Tabela 19.

Tabela 19 - AQUA-Proposto - Classificação da eficiência de sistema de aquecimento a gás (classificados no PBE).

PBE - ENCE	AQUA-Proposto Níveis
A	S
B	
C	B
D	

Fonte: Elaborada pela autora.

Os aquecedores a gás que não estão enquadrados no PBE, a classificação deve atender os critérios de eficiência para aquecedores a gás definidos na norma ASHRAE 90.1-2007 e ASHRAE 90.1-1999 (RTQ-R, 2012), expressos nas tabelas 20, para o nível superior, e na tabela 21 para o nível bom.

Tabela 20 – AQUA-Proposto – Classificação aquecedores a gás PBE

Tipo de equipamento	Capacidade (KW)	Subcategoria	Eficiência mínima (W)	Procedimento de Teste	AQUA-Proposto Níveis
Aquecedor de acumulação	≤ 22,98	≥ 75,5 (litros)	0,62 – 0,0019.V.E F	DOE 10 CFR Part 430	S
	> 22,98	< 309,75 W/1	0,8.Et $\frac{Q_{800}}{V.SL}$ + 110	ANSI Z21.10.3	
Aquecedor do tipo instantâneo	> 14,66 e < 58,62	≥ 309,75 W1 e < 7,57 (litros)	0,62 – 0,0019.V.E F	DOE 10 CFR Part 430	
	≥ 58,62	≥ 309,75 W1 e < 37,85 l	0,8 0.Et	ANSI Z21.10.3	
	≥ 58,62	≥ 309,75 W1 e ≥ 37,85 L	0,8.Et $\frac{Q_{800}}{V.SL}$ + 110	ANSI Z21.10.3	

Fonte: Centrais Elétricas Brasileiras (2012, p. 96)

Tabela 21 – AQUA-Proposto – Classificação aquecedores a gás

Tipo de equipamento	Capacidade (KW)	Subcategoria	Eficiência mínima (W)	Procedimento de Teste	AQUA-Proposto Níveis
Aquecedor de acumulação	≤ 22,98	≥ 75,7 (litros)	0,62 – 0,0072. V.E F	DOE 10 CFR Part 430	B
	> 22,98 e ≤ 45,43	< 309,75 W/1	0,78.Et 8.29. V + 192.SL	ANSI Z21.10.3	
	> 45,43	< 309,75 W/1	0,78.Et 8.29. V + 160.SL	ANSI Z21.10.3	
Aquecedor do tipo instantâneo	> 14,66 e < 58,62	≥ 309,75 W1 e < 7,57 (litros)	0,62 – 0,0072. V.E F	DOE10 CFR Part 430	
	≥ 58,62	≥ 309,75 W1 e < 37,85 L	0,8. Et	ANSI Z21.10.3	
	> 58,62	≥ 309,75 W1 e ≥ 37,85 (litros)	0,77. Et 14,67 + 113.SL	ANSI Z21.10.3	

Fonte: de Centrais Elétricas Brasileiras (2012, p. 96)

Legenda: V: volume (litros); EF: Fator energético; Et: Eficiência térmica; Q: potência nominal de entrada (W); SL: perdas em standby(W), considerando uma diferença de temperatura de 38,9oC entre a água quente acumulada e as condições térmicas do ambiente interno.

Contudo, para que se alcance a classificação, os sistemas devem atender os dimensionamentos expressos pelos itens a seguir. No Anexo B encontra-se detalhada a metodologia para os cálculos.

Dimensionamento de aquecedor a gás do tipo instantâneo:

- Determinar as vazões instantâneas de água quente.
- Determinar a potência do aquecedor a gás do tipo instantâneo.

Dimensionamento de sistema de acumulação individual:

- Calcular o volume de pico de água quente.
- Calcular o volume mínimo de água quente armazenada.
- Calcular o volume de recuperação.
- Calcular a potência do aquecedor.

Dimensionamento do sistema central coletivo a gás:

- a) Calcular o volume diário de água quente armazenada.
- b) Calcular o volume de pico de água quente.
- c) Calcular o volume mínimo de água quente armazenada.
- d) Calcular o volume de recuperação.
- e) Calcular a potência dos aquecedores.

4.2.3.4 – Sistema de aquecimento elétrico: Aquecedores de passagem, chuveiros elétricos e torneiras elétricas; aquecedores de hidromassagem; aquecedores de acumulação (boilers).

Os sistemas elétricos somente podem ser classificados no nível bom, para tanto devem atender os critérios de acordo com o tipo. O não atendimento de qualquer dos critérios impede sua classificação.

- Aquecedores de passagem, chuveiros e torneiras elétricos, aquecedores de hidromassagem devem fazer parte do PBE.
- Devem possuir potência mínima conforme a tabela 22:

Tabela 22 - Potência mínima para sistema elétrico

Sistemas Elétricos	Potência mínima	AQUA-Proposto Níveis
Aquecedores de passagem Chuveiros e torneiras elétricos	$P \leq 4.600 \text{ W}$	B
Aquecedores hidromassagem	$P \leq 5.000 \text{ W};$	B

Fonte: Adaptada pela autora com dados de Centrais Elétricas Brasileiras (2012)

- Aquecedores elétricos de água por acumulação (boiler) devem possuir ENCE, classificados nos níveis A ou B, e estar de acordo com normas técnicas brasileiras para aquecedores elétricos por acumulação.
- Aquecedores elétricos de água (boiler) devem possuir timer para evitar seu uso no horário de ponta.

4.2.3.5 – Sistemas mistos

No caso dos sistemas mistos, a classificação é definida conforme:

- Combinação do sistema de aquecimento solar com aquecimento elétrico ou a gás: o nível final é do aquecimento solar desde que este possua nível E (fração solar mínima de 70%).
- Combinação de sistema de aquecimento solar com bomba de calor: nível final é o maior dentre eles.
- Qualquer outro sistema combinado com sistema elétrico: nível final é o bom.

Requisito 4.2.4: Desempenho dos sistemas de aquecimento de água

- Critério: avaliação por valor.

Deve-se comprovar o desempenho dos sistemas de aquecimento de água utilizados, os quais serão classificados conforme a tabela 23.

Tabela 23 - AQUA-Proposto – Classificação Requisito 4.3.4

Critérios	AQUA-Proposto Níveis
Desempenho mínimo de 80%	E
Desempenho mínimo de 60%	S
Desempenho mínimo de 40%	B

Fonte: FCAV (2010)

5.3 AQUA-Proposto - Preocupação 4.3: Controle do consumo de energia nas áreas comuns

A proposta de aprimoramento da Preocupação 4.3 do AQUA será restrita às suas Exigências 3 e 4, pois, em virtude da falta de informações acerca da referência para os valores de uso-final de sistemas tratados nas exigências 1 e 2 (refrigeração, aquecimento, iluminação e aquecimento de água), não houve segurança em fazer alterações. Entende-se, porém, que o controle do consumo de energia por aquecimento e refrigeração está sendo contemplado na Preocupação 4.1 do AQUA-Proposto, dentro do Requisito 4.1.4 e 4.1.5. Os sistemas de aquecimento de água e iluminação também são contemplados, respectivamente, nas Preocupações 4.2 e 4.3 desta sugestão de melhoria.

Esta proposta parte da premissa de que a Exigência 3 do AQUA possui uma avaliação restritiva e estruturada sob prescrições de projeto, por meio da qual não se pode medir o desempenho energético. Portanto, decidiu-se adotar a metodologia do quesito “Áreas Comuns” do Procel Edifica, tendo em vista que, além da iluminação e do elevador, outros sistemas (ou elementos) são passíveis de uma avaliação mensurável.

Sugere-se também a incorporação da Exigência 3 do AQUA à avaliação do controle de energia das áreas comuns como um Requisito avaliado por condição, onde o seu atendimento garante o nível bom.

A classificação desta Preocupação deve seguir a adaptação entre os níveis do Procel Edifica e do AQUA, definida na Tabela 24. A Tabela 4.6 apresenta a estrutura sugerida:

Tabela 24 - AQUA-Proposto – Preocupação 4.3

AQUA	AQUA-Proposto
Exigências	Requisitos
● Controle da eficiência energética	4.3.1. Medição individualizada
● Controle do consumo de energia das áreas comuns	4.3.2. Iluminação
	4.2.3. Elevadores
	4.2.4. Bombas de Calor
	4.3.5. Equipamentos
	4.3.6. Aquecimento de água (chuveiros, torneiras, piscinas)
	4.3.7. Sauna

Fonte: Elaborada pela autora.

Requisito 4.3.1: Medição individualizada

- Critério: avaliação condição.

Deve haver medição individualizada dos sistemas de aquecimento de água e de iluminação artificial das áreas comuns. O atendimento garante nível BOM.

Requisito 4.3.2: Iluminação

➤ Critério: avaliação valor.

A classificação do sistema de iluminação artificial deve respeitar a Tabela 25. E devem ser respeitadas as observações:

- Deve-se considerar a última versão das Tabelas do PBE para lâmpadas, publicada na página do Inmetro. Para os tipos de lâmpada que não fazem parte do PBE, a eficiência luminosa deve ser medida ou fornecida pelo fabricante.
- Para sistemas de iluminação intermitente com automação (tais como, sensor de presença ou minuterias) podem ser utilizadas outras fontes que não as descritas acima.
- Lâmpadas incandescentes e halógenas não serão classificadas.
- Para o nível E, a iluminação artificial de áreas comuns externas como jardins, estacionamentos externos, acessos de veículos e pedestres que não for projetada para funcionar durante todo o dia, deve possuir uma programação de controle por horário ou um foto-sensor capaz de desligar automaticamente o sistema de iluminação artificial quando houver luz natural suficiente, ou quando a iluminação externa não for necessária. Exceção é feita à iluminação de entrada ou saída de pessoas e veículos que exijam segurança ou vigilância.

Tabela 25 - AQUA-Proposto – Classificação Requisito 4.3.2

Dispositivo	E	S	B
Fluorescentes Tubulares	$\eta^* \geq 84\text{lm/W}$	$75 \leq \eta < 84\text{lm/W}$	$70 \leq \eta < 75\text{lm/W}$
Reatores para fluorescentes tubulares	Eletrônicos com Selo Procel	—	Fator de potência $\geq 0,95$
Fluorescente Compacta	Selo Procel	ENCE B	ENCE C
LED**	$\eta \geq 75\text{lm/W}$	$50 \leq \eta < 75\text{lm/W}$	$30 \leq \eta < 50\text{lm/W}$
Lâmpadas de vapor de sódio	Selo Procel	ENCE B	ENCE C
Reatores para lâmpadas de vapor de sódio	Eletromagnéticos com Selo Procel	--	Fator de potência $\geq 0,90$
Automação na iluminação intermitente	Sim	--	Não

* η : Eficiência luminosa

** *Light Emitting Diode* (diodo emissor de luz)

Fonte: Centrais Elétricas Brasileiras (2012, p.112)

Requisito 4.3.3: Elevadores

- Critério: avaliação valor.

Os elevadores devem ter eficiência atribuída em função da demanda específica de energia, que é baseada na demanda de energia em *standby* e na demanda em viagem. Para tanto, deve-se definir a categoria de uso do elevador dentre as quatro categorias apresentadas na Tabela 26.

Tabela 26 - Categoria de uso dos elevadores – VDI 4707.

Categoria	1	2	3	4
Intensidade/frequência de uso	muito baixa muito raramente	baixa raramente	média ocasionalmente	alta frequentemente
Tempo médio de viagem (h/dia)*	0,2 (\leq 0,3)	0,5 (de 0,3 a 1)	1,5 (de 1 a 2)	3 (de 2 a 4,5)
Tempo médio em <i>standby</i> (h/dia)	23,8	23,5	22,5	21
Tipos de edificações	Edificações residenciais com até 6 UHs	Edificações residenciais de 7 até 20 UHs	Edificações residenciais de 21 até 50 UHs	Edificações residenciais com mais de 50 UHs

Fonte: Centrais Elétricas Brasileiras (2012, p.113)

Estabelecida a categoria de uso, deve-se calcular a demanda específica de energia do elevador, de acordo com a metodologia estabelecida pela VDI4707-2009. Os limites da demanda específica de energia para cada nível de eficiência energética em função da categoria de uso são apresentados na Tabela 6.3, onde:

QN: carga nominal do elevador (kg);

VN: velocidade nominal do elevador (m/s).

Tabela 27 - AQUA-Proposto – Classificação Requisito 4.3.3

AQUA-Proposto Níveis	Demanda específica de energia do elevador (mWh/(kg.m))			
	Categoria de uso			
	1	2	3	4
E	$0,56 \frac{\text{mWh}}{(\text{kg.m})} + 50\text{W} \cdot 23,8\text{h} \cdot 1000$	$0,56 \frac{\text{mWh}}{(\text{kg.m})} + 50\text{W} \cdot 23,5\text{h} \cdot 1000$	$0,56 \frac{\text{mWh}}{(\text{kg.m})} + 50\text{W} \cdot 22,5\text{h} \cdot 1000$	$0,56 \frac{\text{mWh}}{(\text{kg.m})} + 50\text{W} \cdot 21\text{h} \cdot 1000$
	$\frac{Q_N \cdot v_N \cdot 0,2\text{h}}{3600}$	$\frac{Q_N \cdot v_N \cdot 0,5\text{h}}{3600}$	$\frac{Q_N \cdot v_N \cdot 1,5\text{h}}{3600}$	$\frac{Q_N \cdot v_N \cdot 3\text{h}}{3600}$
S	$0,84 \frac{\text{MWh}}{(\text{kg.m})} + 100\text{W} \cdot 23,8\text{h} \cdot 1000$	$0,84 \frac{\text{MWh}}{(\text{kg.m})} + 100\text{W} \cdot 23,5\text{h} \cdot 1000$	$0,84 \frac{\text{MWh}}{(\text{kg.m})} + 100\text{W} \cdot 22,5\text{h} \cdot 1000$	$0,84 \frac{\text{MWh}}{(\text{kg.m})} + 100\text{W} \cdot 21\text{h} \cdot 1000$
	$\frac{Q_N \cdot v_N \cdot 0,2\text{h}}{3600}$	$\frac{Q_N \cdot v_N \cdot 0,5\text{h}}{3600}$	$\frac{Q_N \cdot v_N \cdot 1,5\text{h}}{3600}$	$\frac{Q_N \cdot v_N \cdot 3\text{h}}{3600}$
B	$1,26 \frac{\text{mWh}}{(\text{kg.m})} + 200\text{W} \cdot 23,8\text{h} \cdot 1000$	$1,26 \frac{\text{mWh}}{(\text{kg.m})} + 200\text{W} \cdot 23,5\text{h} \cdot 1000$	$1,26 \frac{\text{mWh}}{(\text{kg.m})} + 200\text{W} \cdot 22,5\text{h} \cdot 1000$	$1,26 \frac{\text{mWh}}{(\text{kg.m})} + 200\text{W} \cdot 21\text{h} \cdot 1000$
	$\frac{Q_N \cdot v_N \cdot 0,2\text{h}}{3600}$	$\frac{Q_N \cdot v_N \cdot 0,5\text{h}}{3600}$	$\frac{Q_N \cdot v_N \cdot 1,5\text{h}}{3600}$	$\frac{Q_N \cdot v_N \cdot 3\text{h}}{3600}$

Fonte: Elaborada pela autora com dados de Centrais Elétricas Brasileiras (2012)

Requisito 4.3.4: Bombas Centrífugas

- Critério: avaliação valor.

As bombas centrífugas instaladas na edificação devem possuir ENCE. Deve-se adotar a classificação da ENCE obtida nas Tabelas do PBE para bombas centrífugas, considerando a última versão publicada na página do Inmetro, e identificar o nível através do Quadro 5.

Requisito 4.3.4: Equipamentos

- Critério: avaliação valor.

A classificação para os equipamentos é atribuída pela etiquetagem do PBE. Os equipamentos como os condicionadores de ar do tipo janela e do tipo *split*, refrigeradores, frigobares, congeladores, lavadoras de roupa, ventiladores de teto, televisores e outros eletrodomésticos e equipamentos participantes ou que venham a fazer parte do PBE devem possuir ENCE ou Selo Procel. Os níveis são adaptados conforme o Quadro 5.

Requisito 4.3.5: Aquecimento de água

➤ Critério: avaliação valor.

a) Sistema de aquecimento de água de chuveiros, torneiras e hidromassagem: a classificação atribuída conforme o Requisito 4.2.3.

b) Sistema de aquecimento de piscinas

Para obtenção do nível E, o sistema de aquecimento de água de piscinas deve ser feito através de aquecimento solar, a gás ou por bomba de calor. Deve-se atender aos pré-requisitos gerais e aos pré-requisitos para sistema de aquecimento solar ou por bomba de calor, dependendo do sistema utilizado. Caso algum dos pré-requisitos não seja atendido, o sistema de aquecimento de piscinas receberá nível B.

Pré-requisitos gerais:

- o sistema de aquecimento da piscina deve ser instalado conforme especificações do manual de instalação e/ou projeto;
- a piscina deve ser entregue com uma capa térmica que a cubra na sua totalidade, para ser utilizada quando a piscina não estiver em uso.

Pré-requisitos para sistemas de aquecimento solar:

- não devem ser utilizados coletores de cobre, que sofrem a corrosão pelo cloro presente no tratamento de piscinas, no caso de sistemas de aquecimento direto;
- os coletores solares devem ser instalados com orientação conforme especificações, manual de instalação e projeto. Na ausência desses documentos, sugere-se que os coletores sejam instalados voltados para o Norte geográfico com desvio máximo de até 30º desta direção, quando no hemisfério sul;
- os coletores solares devem ser instalados com ângulo de inclinação conforme especificações, manual de instalação e projeto. Na ausência desses documentos, sugere-se que o ângulo de inclinação seja igual ao da latitude do local acrescido de 10º;
- a área dos coletores para aquecimento de piscinas das Zonas Bioclimáticas 1 a 4 deve ser no mínimo igual à área da piscina;
- os coletores solares (aplicação: piscina) devem possuir ENCE A ou B no PBE, considerando a última versão publicada na página do Inmetro, ou Selo Procel;

Pré-requisitos para sistemas de aquecimento por bomba de calor:

- sistemas de aquecimento de piscinas utilizando bombas de calor devem possuir COP maior ou igual a 6W/W, medido de acordo com as normas ASHRAE Standard 146, ASHRAE 13256 ou AHRI 1160;
- nas bombas de calor não devem ser utilizados gases refrigerantes comprovadamente nocivos ao meio ambiente (por exemplo, R22). Deve-se dar preferência a equipamentos que utilizem os gases R 134, R 407 ou similares.

6 CONCLUSÃO

O estudo dos dois sistemas brasileiros permitiu um melhor conhecimento dessas ferramentas que vêm se tornando, a cada dia, de fundamental importância para a sustentabilidade dos ambientes construídos. Centrar o estudo no sistema AQUA e compará-lo ao Procel na perspectiva de sugerir melhorias à sua estrutura, não foi tarefa fácil, diante da importância que credita-se aos dois sistemas e do respeito à atitude de vanguarda pelos organismos que os criaram.

Desse modo, ressalta-se que as propostas aqui lançadas devem ser tomadas como uma contribuição ao aperfeiçoamento do sistema AQUA, e espera-se que elas possam sugerir novas pesquisas, capazes de trazer mais contribuição à inesgotável possibilidade de aprimoramento desses sistemas de avaliação ambiental.

Esta análise detalhada e crítica sobre a estrutura dos quesitos de avaliação de desempenho energético do AQUA só foi possível com o subsídio das pesquisas, dos artigos técnicos, das normas brasileiras relacionadas ao desempenho térmico e, principalmente, da ferramenta de avaliação Procel Edifica para edificações habitacionais. A referida análise crítica permitiu a possibilidade de melhorias desse processo brasileiro de avaliação.

Norteando-se pelo entendimento de que, em se tratando de uma certificação, seu objetivo primordial é o de conferir a alta qualidade ambiental de edificações; de que as certificações ambientais desempenham um papel essencial no sentido de impulsionar a mudança da cultura construtiva em favor da redução dos impactos ambientais provocados pelo setor, e de que uma edificação creditada por uma certificação ambiental é sinônimo de garantia de alto desempenho, é possível afirmar que as metodologias de avaliação destas certificações devem ter critérios e requisitos mensuráveis que, efetivamente, garantam esse desempenho eficiente.

As análises realizadas basearam-se em pesquisas científicas sobre a eficiência energética em edificações, sobre as normas de desempenho brasileiras e, principalmente, na ferramenta de avaliação Procel Edifica, que é voltada, exclusivamente, à eficiência energética de edificações. Seus Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais foram o subsídio base para a elaboração das sugestões de melhoria dos requisitos da Categoria 4 do AQUA .

O Procel Edifica oferece uma metodologia de avaliação ainda recente e pouco testada, portanto, não se sabe, ainda, se sua certificação garante edificações energeticamente eficientes a longo prazo. Contudo, na comparação de sua estrutura de avaliação com aquela oferecida pela categoria 4 do AQUA, identificou-se uma metodologia mais consistente, pois foi desenvolvida a partir de requisitos e critérios mensuráveis. Por esta razão a proposta de melhoria apresentada no Capítulo 5 utilizou o Procel Edifica como base para as sugestões.

Toda a análise realizada neste trabalho foi sustentada por avaliações simplificadas, sem o uso de ferramentas computacionais. Entretanto, o crescente aperfeiçoamento dos programas computacionais para simulação do comportamento térmico e energético de edificações vem contribuindo significativamente para o avanço e a consolidação desta metodologia, a qual pode ser objeto de estudos futuros.

As falhas observadas, muitas vezes reflexo de uma adaptação pouco criteriosa de um sistema de certificação importado, levanta a hipótese de que talvez o organismo que o publicou tenha tido maior interesse em colocar no mercado uma certificação “brasileira”, consciente de que ela precisará ainda de severo aprimoramento, do que estreitar a relação entre o uso de certificações ambientais com o real incentivo a medidas que proporcionem edificações energeticamente eficientes.

Nos últimos anos, o assunto sustentabilidade tem sido usado como forte ferramenta de marketing, os slogans “salve o planeta” e “construções verdes” fazem, agora, parte do programa de empresas em diversos setores. Na construção civil, observa-se um crescimento pela busca de certificações ambientais, contudo, em muitos casos, o interesse é mais uma forma de marketing para o empreendimento, do que o interesse em vender, de fato, habitações mais eficientes.

Por outro lado, contudo, esta atitude de vanguarda abre caminhos para que se instale uma cultura mais sustentável, mais eficiente energeticamente – mesmo que ainda sejam precisos aprimoramentos.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

AULICINO, P. **Análise dos métodos de avaliação de sustentabilidade do ambiente construído: o caso dos conjuntos habitacionais.** 2008. 157 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

AKUTSU, M.; VITTORINO, F. Aplicação de isolante térmico em edificações: efeito no conforto térmico e nas cargas térmicas de condicionamento de ambientes. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO AMBIENTAL, 1, Gramado, RS. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 1990.

ARAÚJO, G.A.M. **Avaliação dos ganhos em eficiência energética em iluminação adotando a regulamentação de etiquetagem em edificações.** 2009. 136 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220:** Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575:** Norma de Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

BARATELLA, P.R.M. **Análise do desenvolvimento de indicadores para a avaliação de sustentabilidade de edifícios brasileiros.** 2011. 218 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. 2011.

BEN – BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. **Relatório final.** Ano base 2009. Rio de Janeiro: EPE. 2010

BITTENCOURT, L. S. Efeito da forma dos elementos vazados na resistência oferecida à passagem da ventilação natural. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1, Gramado, RS, 1995. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 1995. p.377-382.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental.** 2.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318p.

BRASIL. Lei n° 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 18 out. 2001b.

BRITO, A.C. et al. Sustentabilidade e conforto ambiental em edificações. **Techne: Revista de Tecnologia da Construção** (São Paulo), v.162, p.62-65, 2010.

BRITO, O.B.; CINTRA, T.C. Madeira para energia no Brasil: realidade, visão estratégica e demandas de ações. *Biomassa & Energia*, São Paulo, v.1, n.2, p.157-163, 2004.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética edificações residenciais: RTQ-R**. Brasília: Eletrobrás/Procel, 2012. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={89E211C6-61C2-499A-A791-DACD33A348F3}>. Acessado em: abril de 2012.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Requisitos de avaliação da conformidade para o nível de eficiência energética edificações residenciais: RAC-R**. Brasília: Eletrobrás/Procel, 2011a. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={89E211C6-61C2-499A-A791-DACD33A348F3}>. Acessado em: abril de 2012.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Regulamento técnico da qualidade: introdução**. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, 2011b.

Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={89E211C6-61C2-499A-A791-DACD33A348F3}>. Acessado em: maio de 2012.

CHVATAL, K. M. S.; MALDONADO, E. A. B.; CORVACHO, M. H. P. The impact of envelope insulation and ventilation on summer performance. In: INTERNACIONAL CONFERENCE PASSIVE AND LOW ENERGY COOLING FOR THE BUILT ENVIRONMENT, Santorini, Greece, 2005. **Proceedings...** 2005. p.823-828.

CHVATAL, K. M. S. **Relação entre o nível de isolamento térmico da envolvente dos edifícios e o potencial de sobreaquecimento no verão**. 2007. Tese (Doutorado). Universidade do Porto. Portugal, 2007.

CLARO, M. **Análise do efeito do envidraçamento sobre a eficiência energética de fachadas em edifícios de escritórios de grande porte na cidade de São Paulo**. 2010. 194 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, 2010.

COLE, R.J. Building environmental assessment methods: redefining intentions and roles. **Building Research & Information**. v.35, p.455-467, 2005.

FCAV - FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI. **Referencial técnico de certificação "Edifícios habitacionais - Processo AQUA"**. São Paulo: Fundação Vanzolini. Fev. 2010, v.1. 99p.

FOSSATI, M. **Metodologia para avaliação da sustentabilidade de projetos de edifícios**: O caso de escritórios em Florianópolis, 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

HAKKINEN, T.; HUOVILA, P.; BORDEAU, L.; NIBEL, S. Construction and City related Sustainability Indicators: Structuring of Indicators and status of work. In: SUSTAINABLE BUILDING CONFERENCE, 2002, Rotterdam. **Proceedings...** Netherlands, 2002.

HQE – HAUTE QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE. **Référentiel technique de la marque NF Logement**. França: CSTB. Agosto, 2007. v.4, 227p.

HILGENBERG, F. B. **Sistema de Certificação Ambiental para edifícios. Estudo de caso: AQUA**. 2010. 153 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2010.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA . **Pesquisa Anual da Indústria da Construção 2010**. Rio de Janeiro, v.20, p.1-98, 2010.

Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/paic/2010/default.shtm>

Acessado em abril de 2012.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas**. Florianópolis: LabEEE, 2011.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2.ed. São Paulo: PW editores, 2004. v.1, 188p.

LOPO, A.B. **Análise do desempenho térmico de um sistema de aquecimento solar de baixo custo**. 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, 2010

MACIEL, L.; CARLO, J.C. Análises de sensibilidade do indicador de consumo frente às variáveis das equações do RTQ-C. In: ENCONTRO NACIONAL, 11./ ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7, Búzios, RJ, 2011. **Anais...**Porto Alegre: ANTAC, 2011.

MELO, A P.; LAMBERTS, R. Análise da influência do desempenho térmico dos fechamentos opacos através do balanço térmico. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12, Fortaleza, CE, 2008. **Anais...** Porto Alegre : Antac, 2008. p. 1-8.

MORISHITA, C. **Impacto do regulamento para eficiência energética em edificações no consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro**. 2011. 232f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2011.

NOGUEIRA, L.A.H. Uso racional: a fonte energética oculta. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.21, n.59, p.91-105, fev. 2007.

PEREIRA, E.B. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 1.ed. São José dos Campos: INPE, 2006. v.1. 60p

PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J.; GONZÁLEZ, R.; MAESTRE, I. R. A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. **Energy and Buildings**, v.41, p.272-278. 2009.

QUEIROZ, N. et al. Análises paramétricas da equação de graus hora de resfriamento da etiqueta residencial do procel edifica para zonas bioclimáticas 5 e 8. In: ENCONTRO NACIONAL, 11./ ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7, Búzios, RJ, 2011. **Anais...**Porto Alegre: ANTAC, 2011.

RORIZ, M.; CHVATAL, K.M.S.; CAVALCANTI, F. S. Sistemas construtivos de baixa resistência térmica podem proporcionar mais conforto. In: ENCONTRO NACIONAL, 10./ ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6, Natal, RN, 2009. **Anais...**Porto Alegre: ANTAC, 2009. p.700-707.

RUTHER, R. Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e integrada à rede elétrica pública no Brasil. Florianópolis: LABSOLAR, 2004. 114p.

SACHS, I. A revolução energética do século XXI. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.21, n.59, p.21-38, fev. 2007.

SACHS, I. Caminhos para o desenvolvimento sustentável. 2.ed. São Paulo: Garamond, 2002. 95p.

SILVA, V.G. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica**. 2003. 210f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

SPRENGER, R.L. **Aplicação do sistema fechado no aquecedor solar de água de baixo custo para reservatórios residenciais isolados termicamente: concepção e comissionamento de um sistema-piloto de testes**. 2007. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007.

WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. Análise do impacto de variáveis arquitetônicas e cargas internas no consumo de energia em condicionamento de ar de edificações comerciais. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9, Ouro Preto, MG, 2007. **Anais...**Porto Alegre: ANTAC, 2007.