



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GEORGE MARTINS GOMES

**ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO
RESIDENCIAL LOCALIZADA EM ZONAS BIOCLIMÁTICAS DISTINTAS**

Campina Grande – PB
2015

GEORGE MARTINS GOMES

**ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO
RESIDENCIAL LOCALIZADA EM ZONAS BIOCLIMÁTICAS DISTINTAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Engenharia Sanitária e Ambiental da
Universidade Estadual da Paraíba, em
cumprimento às exigências para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia
Sanitária e Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Celeide Maria Belmont Sabino Meira

Campina Grande – PB
2015

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

G633a Gomes, George Martins.

Análise comparativa da eficiência energética de uma edificação residencial localizada em zonas bioclimáticas distintas [manuscrito] / George Martins Gomes. - 2014.

40 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2014.

"Orientação: Profa. Dra. Celeide Maria Belmont Sabino Meira, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental".

1. Eficiência energética. 2. RTQ-E. 3. Arquitetura residencial. I. Título.

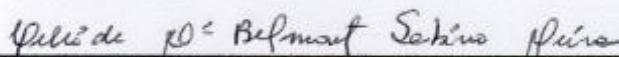
21. ed. CDD 333.79

GEORGE MARTINS GOMES


**ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO
RESIDENCIAL LOCALIZADA EM ZONAS BIOCLIMÁTICAS DISTINTAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Sanitária e Ambiental da Universidade
Estadual da Paraíba, em cumprimento às
exigências para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Sanitária e
Ambiental.

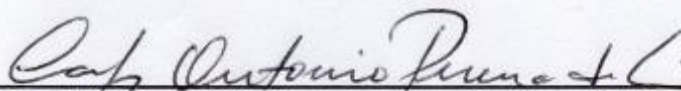
Aprovado em 23 de FEVEREIRO de 2015



Profa. Dra. Celeide Maria Belmont Sabino Meira / UEPB
Orientadora



Prof. Dr. Rui de Oliveira / UEPB
Examinador



Prof. Dr. Carlos Antônio Pereira de Lima / UEPB
Examinador

Campina Grande – PB
2015

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois sem ele eu não teria forças para encarar esta longa jornada acadêmica com muitos obstáculos enfrentados, por ter dado saúde para superá-los nesse percurso.

À minha Orientadora, Profa. Dra. Celeide Maria Belmont Sabino Meira, pela paciência na orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão desta monografia, que é fundamental para minha formação acadêmica.

A todos os professores e professoras do curso, que foram tão importantes na minha vida acadêmica e no desenvolvimento desta monografia, por me proporcionar o conhecimento, não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional. Em especial ao Prof. Dr. Carlos Antônio Pereira de Lima, ao Prof. Dr. Rui de Oliveira e à Profa. Dra. Weruska Brasileiro Ferreira.

À minha mãe, irmã e amigos(as), pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

A todos aqueles que, de alguma forma, estiveram e estão próximos a mim, fazendo esta vida valer cada vez mais a pena.

E por fim, aos colegas de turma, com os quais dividi momentos de alegria e tristeza durante os quatro anos de formação acadêmica. Com certeza levaria um pouco de cada um de vocês em minha vida.

RESUMO

No Brasil, após a crise energética de 2001, surgiu a necessidade de elaboração de projetos arquitetônicos residenciais energeticamente eficientes, mas sem comprometer a qualidade de vida de seus usuários. O presente trabalho tem como proposta avaliar a influência de duas zonas bioclimáticas distintas no desempenho térmico de uma mesma edificação residencial multifamiliar. A coleta de dados foi feita através do levantamento de informações do projeto arquitetônico e do respectivo memorial descritivo. O método de avaliação utilizado para obtenção da classificação do nível de eficiência energética da envoltória foi o prescritivo, apresentado pelo Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R). Nesta pesquisa foi verificado que a edificação atendeu a todos os pré-requisitos da envoltória (Transmitância térmica, Capacidade térmica, Absortância, Ventilação natural e Iluminação natural). Como resultado foi constatado que todas as unidades habitacionais da edificação localizada na Zona Bioclimática 4 atingiram o nível de eficiência energética “**B**” (EqNumEnv de 4,43 a 3,86 para todas as unidades), enquanto para a mesma edificação, localizada na Zona Bioclimática 8, o nível de eficiência energética das unidades habitacionais variou entre “**C**” (EqNumEnv de 3,00 a 2,68) para as unidades do 1º e 6º pavimentos e “**D**” (EqNumEnv de 2,48 a 2,15) para as unidades do 5º pavimento. As etiquetas da envoltória do edifício foram, respectivamente, “**B**” e “**D**” para as Zonas Bioclimáticas 4 e 8, sendo, portanto, a primeira mais favorável a uma melhor eficiência energética.

Palavras-chave: Eficiência energética. RTQ-R. Arquitetura residencial.

ABSTRACT

In Brazil, after the energy crisis of 2001, the need for developing residential architectural projects energetically efficient, but without compromising the quality of life of residents, arose. The proposal of this paper is to evaluate the influence of two distinct bioclimatic zones on the thermal performance of a same multifamily residential building. Data collection was carried out based on architectural design and its specification. The prescriptive method, presented by the Quality Technical Regulation for the Energy Efficiency Level of Residential Buildings (RTQ-R), was used for classifying the energetic efficiency level of the multifamily residential building envelope. In this research, it was found that the building met all prerequisites for the envelope (thermal transmittance, thermal capacity, absorbance, natural ventilation and natural lighting). As a result it was found that all housing units of the building located on Bioclimatic Zone 4 reached the level "B" of energetic efficiency (EqNumEnv 4.43 to 3.86 for all units), while for the same building, located in Bioclimatic Zone 8, the level of energetic efficiency of housing units ranged from "C" (EqNumEnv 3.00 to 2.68), for units at the 1st and 6th floors, to "D" (EqNumEnv 2.48 to 2.15) for the units of the 5th floor. The labels of the envelope building were, respectively, "B" and "D" for Bioclimatic Zones 4 and 8, being the first more favorable for a better energetic efficiency.

Keywords: Energetic efficiency. RTQ-R. Residential architecture.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Oferta interna de energia no Brasil.....	16
Figura 2.2 – Oferta interna de energia elétrica no Brasil.....	17
Figura 2.3 – Uso final de energia elétrica das residências brasileiras.....	18
Figura 2.4 – Histórico das ações para etiquetagem no Brasil.....	20
Figura 2.5 – Zoneamento bioclimático brasileiro.....	21
Figura 2.6 – Modelo da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para edifícios residenciais.....	22
Figura 4.1 – Equivalente numérico da envoltória de resfriamento para ambientes das UH do 1º pavimento (a), 2º ao 5º pavimento (b) e 6º pavimento (c) da edificação localizada na Zona Bioclimática 4.....	33
Figura 4.2 – Equivalente numérico da envoltória de resfriamento para ambientes das UH do 1º pavimento (a), 2º ao 5º pavimento (b) e 6º pavimento (b) da edificação localizada na Zona Bioclimática 8.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Distribuição de pesos de acordo com a zona bioclimática.....	24
Tabela 4.1 – Ventilação natural (percentual de abertura para ventilação) e ventilação cruzada (proporção das aberturas para ventilação natural) das unidades habitacionais do edifício.....	30
Tabela 4.2 – Percentual de iluminação natural em ambientes de permanência prolongada das unidades autônomas.....	30
Tabela 4.3 – Resultado do nível de eficiência das unidades habitacionais (UH) de todos os pavimentos (Pav) da edificação localizada na Zona Bioclimática 4.....	34
Tabela 4.4 – Resultado do nível de eficiência das unidades habitacionais (UH) de todos os pavimentos (Pav) da edificação localizada na Zona Bioclimática 8.....	36

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Equivalente numérico a ser obtido de acordo com a zona bioclimática.....	23
Quadro 3.1 – Pré-requisitos de absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica para diferentes zonas bioclimáticas.....	26
Quadro 3.2 – Percentual de áreas mínimas para ventilação em relação à área útil do ambiente.....	26
Quadro 4.2 – Resumo dos pré-requisitos, para o atendimento dos valores estabelecidos pelo RTQ-R.....	31

SUMÁRIO

1.0	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivos	12
1.1.1	<i>Objetivo geral</i>	12
1.1.2	<i>Objetivos específicos</i>	12
2.0	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	Conforto térmico	13
2.2	Cartas bioclimáticas	13
2.3	Eficiência energética	15
2.4	Oferta de energia	16
2.5	Consumo de energia	17
2.6	Políticas para eficiência energética de edificações	18
2.7	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais	20
3.0	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	25
3.1	Procedimentos para a determinação da eficiência da envoltória	25
3.2	Verificação do atendimento aos pré-requisitos	25
3.2.1	<i>Características absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica das superfícies</i>	25
3.2.2	<i>Características físicas das aberturas relativas à ventilação e iluminação naturais</i>	26
3.3	Determinação do equivalente numérico da envoltória	27
4.0	RESULTADOS E DISCUSÃO	29
4.1	Verificação do atendimento aos pré-requisitos	29
4.2	Determinação da eficiência da envoltória pelo Método Prescritivo para a Zona bioclimática 4	32
4.3	Determinação da eficiência da envoltória pelo Método Prescritivo para a Zona bioclimática 8	34
5.0	CONCLUSÕES	37
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1.0 INTRODUÇÃO

A busca pelo conforto sempre foi uma constante ao longo da história das habitações. Nas mais diferentes culturas e épocas, a arquitetura surge como uma forma de possibilitar ao homem um habitat seguro, através do qual ele pode se defender das hostilidades climáticas e tirar proveito de suas características favoráveis. Assim, o estudo das relações entre as edificações, o homem e o clima determinou a forma e a organização de nossas cidades até bem pouco tempo (MATOS, 2007).

A etiquetagem de equipamentos e de edifícios é um mecanismo utilizado em diversos países do mundo e tem sido responsável por uma grande parcela da conservação de energia conseguida. O Brasil vem conseguindo excelentes resultados no que diz respeito aos equipamentos, cujo regulamento é compulsório e tem contribuído para retirar do mercado produtos ineficientes. No entanto, para as edificações os resultados ainda são pouco expressivos no sentido de modificar práticas construtivas ineficientes consolidadas no mercado, devido ao pouco tempo de existência e ao seu caráter voluntário.

A regulamentação brasileira para etiquetagem de nível de eficiência de edifícios especifica os requisitos técnicos, bem como os métodos para classificação de edificações quanto à eficiência energética, sendo o objetivo da regulamentação criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética das edificações. A aplicação do RTQ-R não garante a eficiência energética de um edifício, pois os maiores níveis de eficiência podem ser alcançados a partir de estratégias definidas em projeto e às iniciativas de membros ligados à execução da edificação, sendo eles: arquitetos, engenheiros e empreendedores. Os usuários da edificação também são determinantes para alcançar altos níveis de eficiência através de seus hábitos e consumo de energia, diminuindo assim o desperdício (INMETRO, 2012).

A classificação das edificações pode ser realizada através de dois métodos: o Prescritivo e o de Simulação. O Método Prescritivo se caracteriza pela adoção de equações, tabelas e parâmetros limites, sendo obtida uma pontuação que indica o nível de eficiência parcial dos sistemas e total do edifício. O Método de Simulação utiliza um programa de simulação computacional, onde o desempenho do edifício é comparado ao desempenho de edifícios referenciais de acordo com o nível de eficiência.

O nível de eficiência da edificação e/ou dos sistemas é indicado na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) e a concessão da etiqueta de eficiência energética é realizada pelo do INMETRO.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é investigar a influência da zona bioclimática no desempenho térmico de uma edificação residencial multifamiliar, com base no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais.

1.1.2 Objetivos específicos

- Calcular o nível de eficiência energética de uma edificação residencial multifamiliar localizada na Zona Bioclimática 4;
- Calcular o nível de eficiência energética de uma edificação residencial multifamiliar localizada na Zona Bioclimática 8;
- Analisar comparativamente o desempenho térmico da edificação residencial multifamiliar construída nas Zonas Bioclimáticas 4 e 8.

2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A definição primária de qualquer edificação comporta o conceito de abrigo, ou seja, a proteção contra o intemperismo do meio circundante. Esta definição pode ser aplicada desde as formas mais rudimentares do habitat humano (cavernas, choupanas, a sombra de uma árvore), até as formas mais evoluídas (espigões, residências subaquáticas). A tecnologia moderna permite controlar, em grande parte, as condições interiores de um edifício. No entanto, a aplicação de elementos com certo grau de sofisticação tecnológica, em especial nos países subdesenvolvidos, implica custos mais elevados, dependência de conhecimentos externos e, quase sempre, num maior consumo energético.

2.1 Conforto térmico

A obtenção de conforto térmico se processa quando o organismo, sem recorrer a nenhum mecanismo de termo regulação, perde, para o ambiente, calor produzido compatível com sua atividade (trabalho e vestimenta).

As condições de conforto térmico se dão em função de uma série de variáveis, ambientais (temperatura do ar, umidade relativa, temperatura média radiante e velocidade do ar) e humanas (vestimenta e atividade), que determinam as trocas térmicas entre o corpo humano e o ambiente e as respostas fisiológicas e psicológicas do ser humano.

As variáveis do conforto térmico são diversas e, variando diferentemente algumas delas ou até todas, as condições finais podem proporcionar sensações ou respostas semelhantes ou até iguais. Isso levou os estudiosos a desenvolverem os índices de conforto térmico, que agrupam as condições que proporcionam as mesmas respostas (FROTA e SCHIFFER, 2001).

2.2 Cartas bioclimáticas

A primeira carta bioclimática foi elaborada por Olgay (1963) e era voltada estritamente para o exterior da edificação. Em 1968, Olgay adaptou sua carta bioclimática, passando a poder analisar tanto climas temperados quanto climas quentes e úmidos, dependendo da zona de conforto a ser adotada.

Em 1969 Givoni concebeu uma carta bioclimática para ambientes internos, que corrigia algumas limitações do diagrama proposto por Olgyay, a qual foi traçada sobre uma carta psicrométrica permitindo a delimitação de zonas de atuação por meio de estratégias visando à obtenção de conforto térmico. Givoni, em 1992 reavaliou o conforto em edifícios sem condicionamento, direcionando seus estudos a países em desenvolvimento, situados em regiões de clima quente úmido e propôs duas cartas bioclimáticas, uma para países desenvolvidos (clima temperado) e outra para países em desenvolvimento (clima quente úmido). A faixa aceitável para temperatura do ar sem movimento, para países desenvolvidos é de 18 a 25°C no inverno e de 20°C a 27°C no verão; para países em desenvolvimento foi sugerida a elevação de 2°C no limite superior de temperatura.

Lamberts et al. (1994) comparou as zonas e índices de conforto e propôs a adoção da Carta Bioclimática de Givoni (GIVONI, 1992), com suas estratégias de projeto, por apresentar melhores condições de aplicação para o Brasil, sendo adaptadas para o desenvolvimento das normas e regulamentos de conforto e eficiência energética no país.

A Norma nº 15575 (ABNT, 2008a) estabelece para um desempenho térmico mínimo, na condição de verão, que o valor máximo diário de temperatura do ar interno seja igual ou menor ao valor máximo de temperatura do ar externo. Para um desempenho superior o valor máximo diário de temperatura interna deve ser igual ou menor a 27°C. Para a condição de inverno, estabelece para um desempenho térmico mínimo o valor mínimo diário de temperatura do ar interno igual ou maior a 12°C e para um desempenho térmico superior igual ou maior a 17°C. Comparando-se os valores limites para o desempenho térmico da norma aos de GIVONI é possível observar a norma mais flexível para o período de inverno aceitando 17°C para um desempenho superior e até 12°C para um desempenho mínimo, enquanto a temperatura mínima de GIVONI é 18°C. Já para o período de verão o desempenho superior da norma estipula temperatura máxima de 27°C, a mesma de GIVONI para países desenvolvidos, ou seja, mais exigente. MORELLO (2005) ressalta que, com relação à temperatura do ar, muitas vezes, somente a quantificação das horas de desconforto não é suficiente para expressar a eficiência da envoltória construtiva frente às adversidades climáticas, pois considerando apenas se os valores estão abaixo ou acima dos limites máximos ou mínimos não se tem distinção do quanto os valores se distanciam ou se aproximam dos limites.

2.3 Eficiência energética

Os maiores gastos de energia numa edificação (condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água) se dão em função de trocas de calor não desejadas com o ambiente, seja ele excessivamente quente ou frio, ou no impedimento dessas trocas quando elas são necessárias levando em consideração ventos, iluminação visando o maior conforto possível do ambiente (PETRAGLIA et al., 2014). Outro gasto expressivo se dá na necessidade do aquecimento de grandes quantidades de água visando o conforto e no consumo excessivo de água em determinados equipamentos.

Deste modo, faz-se necessário minimizar esses gastos através da elaboração de projetos energeticamente eficientes, com uma arquitetura adaptada ao clima, considerando a iluminação natural integrada à artificial, na especificação de acabamentos e materiais adequados ao clima, no uso de ventilação natural, entre outros aspectos e implementação de técnicas ou utilização de certos equipamentos que nos dão suporte a isso.

O avanço tecnológico passou a oferecer equipamentos mais eficientes e o conceito de eficiência energética passou a vigorar no cotidiano das pessoas. De acordo com KAEHLER (1993), o conceito de eficiência energética está estritamente vinculado ao serviço energético disponibilizado e se refere à cadeia energética como um todo, isto é, desde a extração (por exemplo, extração de petróleo) ou transformação (por exemplo, geração hídrica) até o uso final (por exemplo, condicionador de ar).

Em edificações, o consumo de energia elétrica é necessário para atender aos requisitos de conforto dos usuários, tanto térmico quanto luminoso, e também em equipamentos de circulação (por exemplo, em elevadores e escadas rolantes), comunicação, entre outros. Com um bom planejamento, é possível construir um edifício que demande 45% menos energia comparativamente a outro com características equivalentes (MARTINEZ et al., 2009). Para tanto, é necessário adequar os recintos habitáveis às condições climáticas locais, usando materiais e técnicas apropriadas, tendo em vista o uso racional de energia (BRASIL, 1994). Existem também estudos aplicados à demanda final de energia por setor econômico, os quais se baseiam na maior eficiência energética de equipamentos mais modernos para reduzir o consumo de energia elétrica. Para o setor comercial estes estudos

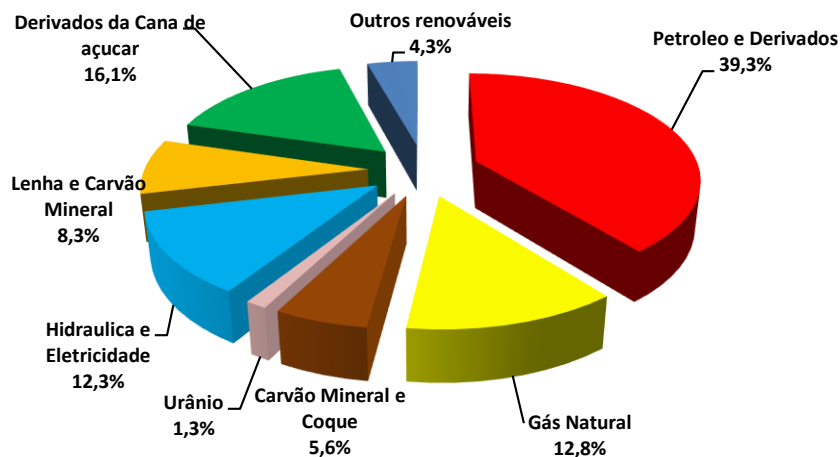
mostram que é possível diminuir a demanda de energia em até 50%, com projetos de edifícios energeticamente mais eficientes (PATUSCO, 2003).

2.4 Oferta de energia

A energia ofertada à sociedade para produzir bens e serviços, é uma das mais limpas do mundo, já que 41,0% da oferta interna de energia têm sua origem em fontes renováveis (EPE, 2014).

Nas fontes renováveis da Oferta Interna de Energia do Brasil em 2013 (Figura 2.1) destacam-se a participação de 12,3% da geração hidráulica e de 28,7% de outras fontes renováveis. Os 59,0% restantes vêm de fontes fósseis e outras não renováveis (petróleo e derivados – 39,3%, carvão mineral – 5,6%, gás natural – 12,8%, e Urânio – 1,3%).

Figura 2.1 – Oferta interna de energia no Brasil.



Fonte: EPE, 2014.

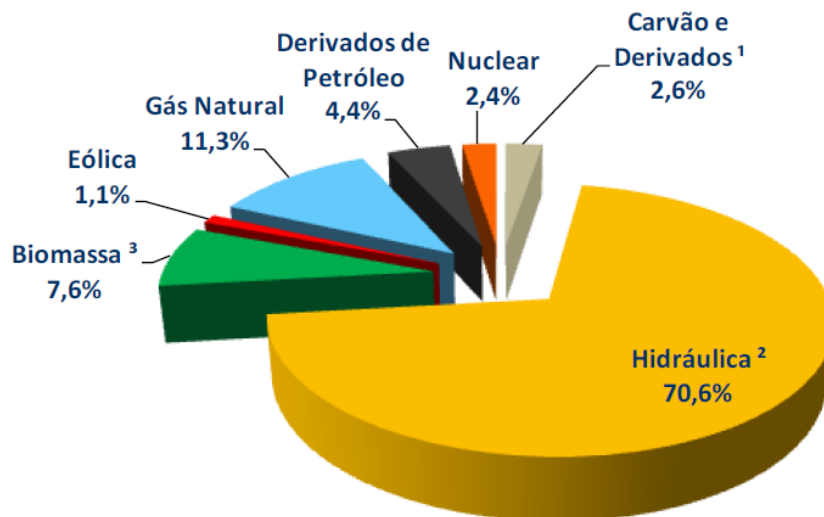
Na Oferta Interna de Energia no mundo as principais fontes de energia são o petróleo e seus derivados (39,3%), o carvão mineral (5,6%) e o gás natural (12,8%).

A geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores foi de 570,0 TWh em 2013, resultado 3,2% superior ao de 2012. Permanece como principal a contribuição de centrais de serviço público, com 84,9%

da geração total. Nestas, a principal fonte é a energia hidráulica, que apresentou uma redução de 5,9% na comparação com o ano anterior (EPE, 2014). Deste modo, ao somar as importações líquidas de 39,9 TWh à geração interna ocorreu uma oferta interna de energia elétrica de 609,9 TWh, valor este 2,9% superior a 2012.

O Brasil apresenta uma matriz de geração elétrica de origem predominantemente renovável, com oferta interna de energia elétrica de origem hidráulica de 64,9% (Figura 2.2). No entanto, vale ressaltar o crescente aumento da produção de eletricidade a partir da fonte eólica, que em 2013 alcançou 6.579 KW, o que representou um aumento de 30,3% em relação ao ano anterior, quando alcançou 5.050 KW (EPE, 2014).

Figura 2.2 – Oferta interna de energia elétrica no Brasil.



Fonte: EPE, 2014.

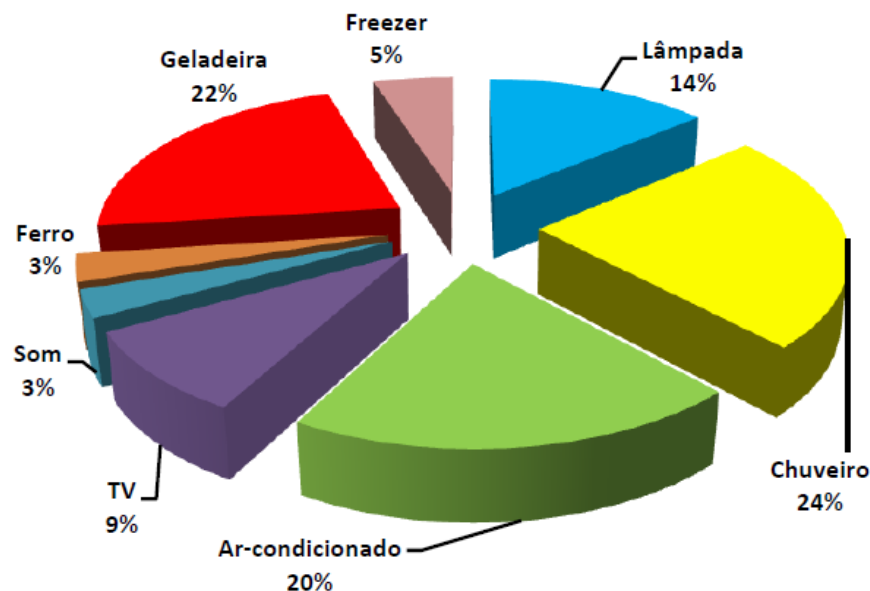
2.5 Consumo de energia

O consumo de energia elétrica no setor residencial em 2013 ultrapassou 117,5 TWh, consumidos em 61,7 milhões de residências. Em relação a 2012, o setor residencial apresentou crescimento de 2,1%, o setor industrial registrou uma ligeira alta de 0,3% no consumo elétrico em relação ao ano anterior e os demais setores

(público, agropecuário, comercial e transportes) quando analisados em bloco apresentaram variação positiva de 6,9% em relação ao ano anterior.

Os grandes responsáveis pelo consumo de energia no setor residencial (Figura 2.3) são o chuveiro elétrico com 24%, a geladeira com 22%, o ar condicionado com 20% e a iluminação artificial com 14% (LAMBERTS e CARLO, 2010).

Figura 2.3 – Uso final de energia elétrica das residências brasileiras.



Fonte: LAMBERTS, 2007a.

2.6 Políticas para eficiência energética de edificações

O Brasil possui, desde 1985, programas de eficiência energética, reconhecidos internacionalmente, como o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o Programa Nacional de Racionalização de uso dos Derivados de Petróleo e Gás Natural (CONPET) e o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE).

O PROCEL foi criado pela Portaria interministerial nº 1.877, de 1985, tendo o objetivo de “racionalizar o uso de energia elétrica e, como decorrência da maior eficiência, propiciar o mesmo produto ou serviço com menor consumo, eliminando desperdícios e assegurando redução global de custos e de investimentos em novas instalações no sistema elétrico”.

Em 1993, o PROCEL foi uma das linhas mestras da Campanha Nacional Contra o Desperdício de Energia lançada pelo Ministério das Minas e Energia, sendo um dos seus projetos de maior êxito a concessão anual do Selo PROCEL de Economia de Energia. A ideia era estimular a fabricação de equipamentos e eletrodomésticos mais eficientes e competitivos.

Em consequência da crise de energia de 2001, para promover a eficiência energética no país, em 17 de outubro de 2001, foi sancionada a Lei nº 10.295, que “dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia” (BRASIL, 2001a). Em dezembro daquele mesmo ano o Decreto nº 4.059 (BRASIL, 2001b) regulamentou a Lei criando o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE) e, especificamente para edificações, o Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País (GT- MME), para regulamentar e elaborar procedimentos para avaliação da eficiência energética das edificações construídas no Brasil visando ao uso racional da energia elétrica (BRASIL, 2001b).

Em 2003 foi lançado o Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações (PROCEL Edifica) que desenvolve e apoia projetos na área de conservação de energia em edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas, sendo estabelecidas seis vertentes de ação: arquitetura bioclimática, indicadores referenciais para edificações, certificação de materiais e equipamentos, regulamentação e legislação, remoção de barreiras à conservação da energia e, por fim, educação (BRASIL, 2011).

Em junho de 2004 foi assinado o Convênio entre a Eletrobrás e a Universidade Federal de Santa Catarina, convênio ECV 007/2004 PROCEL / UFSC, 46 para desenvolvimento da base técnica para esta regulamentação.

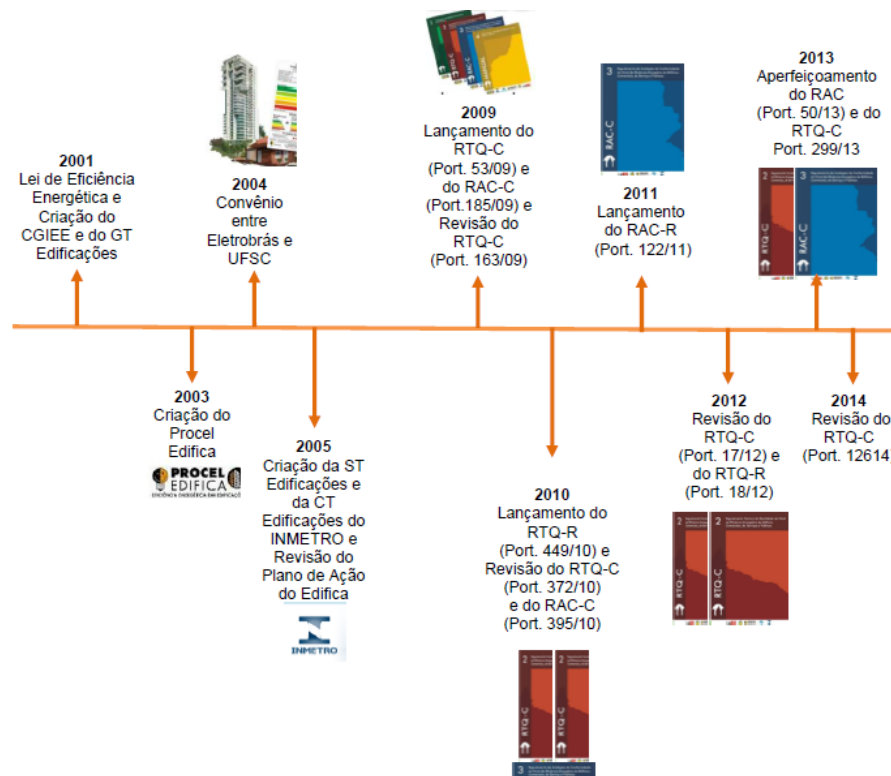
No final de 2005 foi criada a Secretaria Técnica de Edificações (ST Edificações), responsável pelas questões técnicas que envolvem os indicadores de eficiência energética, sendo coordenada pelo Programa PROCEL e contando com a participação de IMAM, IAB, CBIC, Caixa Econômica e várias Universidades (UFSC, UnB, UFMG, UFRJ, etc.).

Em 2006, o INMETRO foi incluído no processo através da criação da Comissão Técnica de Edificações, onde é discutido e definido o processo de obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) e, em setembro do mesmo ano, na quarta reunião do GT-MME, a versão experimental do texto da

regulamentação de etiquetagem de nível de eficiência de edifícios foi aprovada pelo CGIEE.

A Figura 2.4 ilustra a cronologia das ações que culminaram na legislação brasileira de etiquetagem.

Figura 2.4 – Histórico das ações para etiquetagem no Brasil.



Fonte: MEIRA, 2014

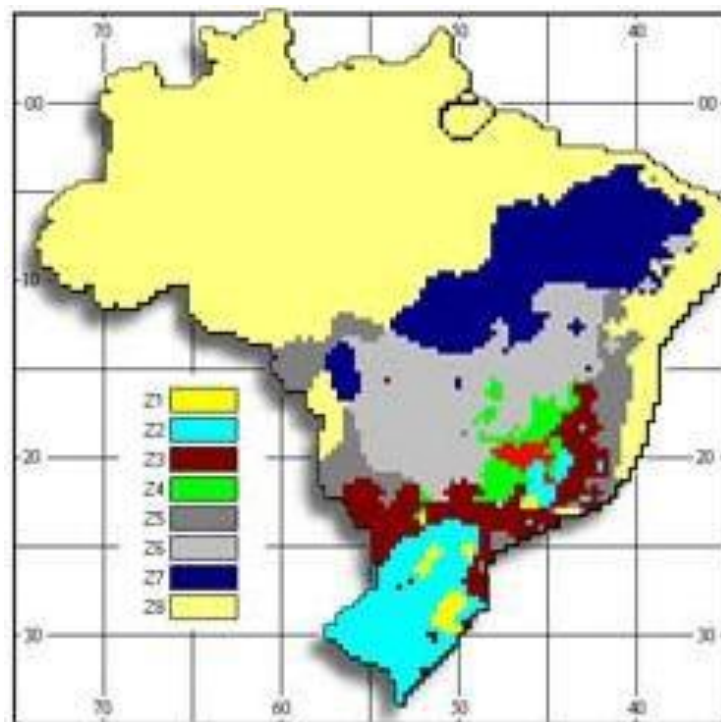
2.7 Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais

O Regulamento Técnico da Qualidade para do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R) foi lançado através da Portaria N° 449 de 25 de novembro de 2010 (BRASIL, 2010c) e revisado pelas Portarias N° 18, de 16 de janeiro (BRASIL, 2012b) e N° 126, de 19 de março de 2014 (BRASIL, 2014). Por outro lado, os Requisitos de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RAC-R) foi aprovado pela Portaria N° 122, de 15 de março de 2011 (BRASIL, 2011) e, recentemente, em fevereiro de 2013, foi revisado pela

Portaria Nº 50, que estabeleceu os critérios para o Programa de Avaliação da Conformidade de Eficiência Energética de Edificações, tanto para Edificações Residenciais quanto para Comerciais, de Serviços e Públicas.

A classificação das edificações pode ser realizada através de dois métodos: o Prescritivo e o de Simulação. O Método Prescritivo se caracteriza pela adoção de equações, tabelas e parâmetros limites, sendo o desempenho térmico da unidade habitacional (UH) determinado pelo seu equivalente numérico (EqNum), de acordo com a Zona Bioclimática em que a edificação está localizada (Figura 2.5).

Figura 2.5 – Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: ABNT, 2005b

O Método de Simulação utiliza um programa de simulação computacional, sendo o desempenho do edifício comparado ao desempenho de edifícios referenciais de acordo com o nível de eficiência.

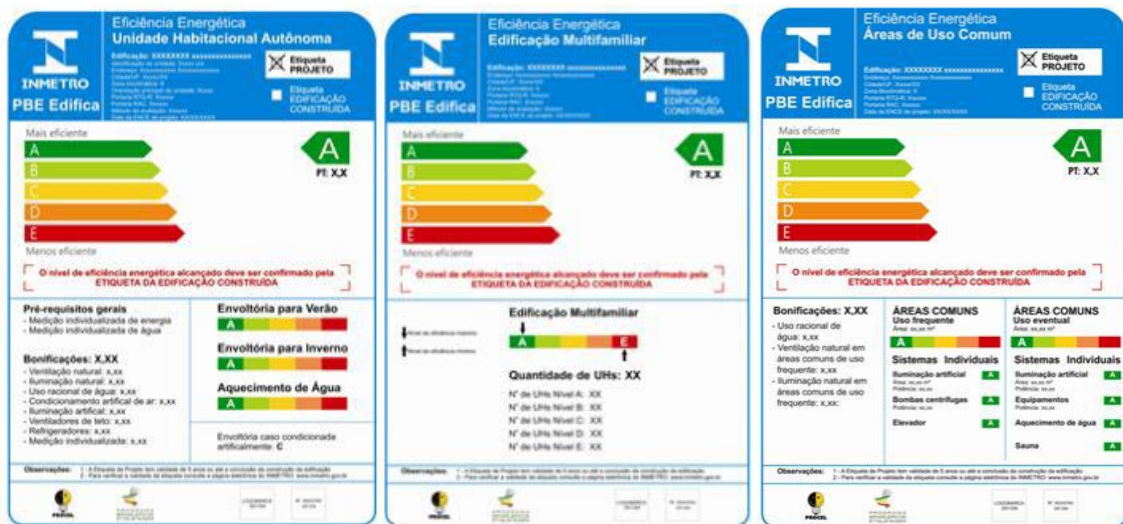
O nível de eficiência da edificação, e/ou dos sistemas, é indicado na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) e a concessão da etiqueta de eficiência energética é realizada pelo INMETRO.

Para obter a classificação geral do edifício, as classificações por requisitos devem ser avaliadas, sendo atribuídos pesos para cada requisito e, de acordo com a pontuação final, é obtida uma classificação geral que varia de “A” (mais eficiente) a

“E” (menos eficiente). Os pesos ficaram distribuídos da seguinte forma: 30% para o sistema de iluminação, 40% para o sistema de condicionamento de ar e 30% para a envoltória.

A estrutura do regulamento é dividida em três grupos para avaliação (Figura 2.6): Unidades habitacionais autônomas (edificações unifamiliares e unidades autônomas de edificações multifamiliares); Edificações multifamiliares (edifícios de apartamentos e condomínios horizontais) e Áreas de uso comum de condomínios residenciais.

Figura 2.6 – Modelo da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para edifícios residenciais.



No que se refere às unidades habitacionais autônomas e às edificações unifamiliares, a classificação se baseia na avaliação do desempenho térmico da envoltória e na eficiência do sistema de aquecimento de água, podendo a pontuação final ser acrescida de bonificações, iniciativas que aumentam a eficiência da unidade habitacional de até um ponto na classificação geral da unidade habitacional.

As edificações multifamiliares, por sua vez, são classificadas a partir da ponderação da avaliação de suas unidades habitacionais autônomas constituintes.

As áreas de uso comum são classificadas a partir da avaliação da eficiência do sistema de iluminação artificial, do sistema de aquecimento de água, dos elevadores, das bombas, dos equipamentos e das bonificações.

O RTQ-R estabelece, para edificações multifamiliares, como pré-requisito geral para os níveis A ou B, a medição individualizada de eletricidade e da água das

unidades habitacionais autônomas, exceto em edificações construídas antes da publicação do regulamento.

O texto do regulamento é estruturado em seis partes. A primeira traz as definições, símbolos e unidades. A segunda trata dos objetivos do regulamento; dos pré-requisitos gerais e dos procedimentos para a determinação da eficiência. A terceira aborda as Unidades Habitacionais Autônomas, estabelecendo os critérios para avaliação da Envoltória, do Sistema de aquecimento de água e das bonificações. Enfoca a Envoltória levando em consideração os pré-requisitos (transmitância térmica, ventilação natural e iluminação natural) e os procedimentos para determinação da eficiência da envoltória (opção do método prescritivo e de simulação).

A quarta e quinta partes tratam de edificações unifamiliares e multifamiliares, respectivamente, abordando os procedimentos para determinação da eficiência. A sexta parte aborda as Áreas de Uso Comum, dispõem sobre os pré-requisitos, procedimentos e bonificações das áreas comuns de uso frequente e de uso eventual.

O método prescritivo também estipula pré-requisitos que devem ser atendidos por ambiente e seu não atendimento implica na classificação máxima “C” ($EqNum = 3$) da unidade habitacional autônoma.

O equivalente numérico da envoltória deve ser obtido para aquecimento ($EqNumEnv_{AmbA}$) para as zonas bioclimáticas de 1 a 4 e para resfriamento ($EqNumEnv_{Amb_{Resfr}}$) para as zonas 1 a 8, conforme a Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Equivalente numérico a ser obtido de acordo com a zona bioclimática.

EqNumEnv	Zona bioclimática							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>EqNumEnv_{Resfr}</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>EqNumEnv_A</i>	X	X	X	X				

O equivalente numérico deve ser calculado para os ambientes de permanência prolongada, que correspondem aos ambientes de ocupação contínua incluindo salas, dormitório, escritório ou de uso similar aos citados. Ponderando-se os equivalentes numéricos pela área útil dos ambientes avaliados obtém-se o equivalente numérico da unidade habitacional para aquecimento ou resfriamento.

Para obtenção do $EqNumEnv_{Resfr}$ é calculado o indicador de graus hora para resfriamento GHR (em °C.h) e para o $EqNumEnv_A$ é calculado o indicador de consumo

relativo para aquecimento CA (em kWh/m². ano), de acordo com a zona bioclimática (BRASIL, 2010).

Para cada zona bioclimática há uma tabela com faixas de valores para estes indicadores, que correspondem a um equivalente numérico variando de 1 a 5, que corresponde a um nível de eficiência que varia de “A” a “E (mais eficiente ao menos eficiente).

Nas zonas bioclimáticas de 5 a 8, o equivalente numérico da unidade habitacional é obtido diretamente através do cálculo do equivalente numérico para resfriamento. Nas zonas 1 a 4, em que são calculados os equivalentes numéricos para aquecimento e resfriamento, o equivalente numérico da unidade habitacional é obtido através de distribuição de pesos de acordo com a zona bioclimática, conforme a Tabela 2.1. Para a zona 4, por exemplo, multiplica-se o EqNumEnv_{Resfr} por 0,68 e o EqNumEnv_A por 0,36. A soma dos valores obtidos resultará no equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional.

Tabela 2.1 – Distribuição de pesos de acordo com a zona bioclimática.

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

Para os sistemas de aquecimento de água são avaliados os sistemas elétrico, a gás, solar e bomba de calor. Havendo mais de um sistema instalado, o equivalente numérico final é obtido através da ponderação da eficiência obtida para cada sistema pela respectiva demanda de água quente.

O nível de eficiência de sistemas de aquecimento solar pode ser obtido através de simulação ou de método prescritivo, sendo este último baseado no método de cálculo proposto pela norma brasileira *Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto* - NBR 15.569 (ABNT, 2008b).

Os itens de bonificação são relativos à iluminação e ventilação natural, ao uso racional de água, ao condicionamento artificial de ar, à iluminação artificial, ao uso de eletrodomésticos eficientes (ventilador de teto e refrigerador) e à medição individualizada de água.

3.0 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A coleta de dados foi feita através do levantamento de informações do projeto e do memorial descritivo. O método de avaliação utilizado para obtenção da classificação do nível de eficiência energética da envoltória foi o prescritivo, apresentado pelo RTQ-R (BRASIL, 2012).

3.1 Procedimento para determinação da eficiência *da envoltória*

O RTQ-R especifica a classificação do nível de eficiência da envoltória para edificações multifamiliares, como sendo o resultado da ponderação da classificação de todas as unidades habitacionais autônomas da edificação pela área útil das unidades habitacionais.

De acordo com a pontuação final, obtida 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 atribuídos conforme o Quadro 3.1.

3.2 Verificação do atendimento aos pré-requisitos

3.2.1 Características absorptância solar, transmitância térmica e capacidade térmica das superfícies.

Os pré-requisitos de transmitância, capacidade térmica e absorptância solar das paredes externas e coberturas de ambientes de permanência prolongada devem ser atendidos de acordo com a zona bioclimática em que a edificação se localiza, conforme a Tabela 3.1. O não atendimento a este pré-requisito implica no máximo nível **C** ($EqNum = 3$), para aquecimento ($EqNumEnvAmb_A$) e para refrigeração ($EqNumEnvAmb_{Refrig}$).

Inicialmente, foram levantadas as tipologias dos materiais constituintes de cobertura, forro, paredes e fechamentos externos e suas composições. Em seguida, com base na NBR 15220-2 (ABNT, 2005a), foram determinadas a absorptância solar, a transmitância térmica e a capacidade térmica.

Quadro 3.1 – Pré-requisitos de absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica para diferentes zonas bioclimáticas.

Zona Bioclimática	Componente	Absorvância solar Adimensional	Transmitância térmica W/(m ² K)	Capacidade térmica kJ/(m ² K)
ZB1 e ZB2	Parede	Sem exigência	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	Sem exigência	$U \leq 2,30$	Sem exigência
ZB3 a ZB6	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 2,50$	Sem exigência
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 1,50$	Sem exigência
ZB7	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	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
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	Sem exigência
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,50$	Sem exigência

Fonte: BRASIL, 2012

3.2.2 Características físicas das aberturas relativas à ventilação e iluminação naturais

Ambientes de permanência prolongada devem possuir percentual de áreas mínimas de aberturas para ventilação (Quadro 3.2). O não atendimento a este pré-requisito implica em, no máximo, nível **C** (EqNum = 3), no equivalente numérico da envoltória para resfriamento (EqNumEnvAmb_{Refrig}).

Quadro 3.2 – Percentual de áreas mínimas para ventilação em relação à área útil do ambiente.

Ambiente	Percentual de abertura para ventilação em relação à área de piso (A)		
	ZB1 a ZB6	ZB7	ZB8
Permanência prolongada	$A \geq 8\%$	$A \geq 5\%$	$A \geq 10\%$

Fonte: BRASIL, 2012

O cálculo do percentual de áreas de abertura para ventilação natural é feito de acordo com a Equação 3.1.

$$A = 100 \left(\frac{A_V}{AU_{amb}} \right) \quad (\text{Equação 3.1})$$

Onde:

A: percentual de abertura para ventilação em relação à área útil do ambiente (%);

A_V: área de abertura para ventilação (m²);

AU_{amb}: área útil do ambiente (m²).

Nas Zonas Bioclimáticas 2 a 8, a unidade habitacional deve possuir ventilação cruzada por escoamento do ar entre as aberturas localizadas em pelo menos duas diferentes fachadas. Para verificar o atendimento quanto à ventilação cruzada deve-se calcular a proporção indicada na Equação 3.2.

$$\frac{A_2}{A_1} \geq 0,25 \quad (\text{Equação 3.2})$$

Onde:

A₁: somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas da orientação com maior área de abertura para ventilação (m²);

A₂: somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas das demais orientações (m²);

Em ambientes de permanência prolongada o acesso à iluminação natural deve ser garantido por uma ou mais aberturas para o exterior, tal que a soma destas áreas corresponda a, no mínimo, 12,5% da área útil do ambiente. O não atendimento a este pré-requisito implica em no máximo Nível **C** nos equivalentes numéricos da envoltória do ambiente para resfriamento (EqNumAmb_{Resfr}) e para aquecimento (EqNumAmb_A).

3.3 Determinação do equivalente numérico da envoltória

O desempenho térmico da envoltória da edificação ventilada naturalmente foi determinado pelo Método Prescritivo, sendo o desempenho térmico da envoltória da

unidade habitacional determinado pelo seu equivalente numérico (EqNumEnv), estabelecido através das equações de regressão múltipla para unidades habitacionais autônomas, de acordo com a Zona Bioclimática em que a edificação está localizada.

O procedimento para a obtenção do nível de eficiência da envoltória da unidade habitacional, quando naturalmente ventilada, segue os seguintes passos:

1. Cálculo do indicador de graus-hora para resfriamento;
2. Cálculo do consumo relativo para aquecimento (calculado apenas para as Zonas Bioclimáticas 1 a 4);
3. Determinação dos equivalentes numéricos da envoltória dos ambientes para resfriamento e aquecimento;
4. Determinação do equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma para resfriamento;
5. Determinação do equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma para aquecimento;
6. Determinação do equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma.

O RTQ-R fornece, para cada Zona Bioclimática específica, equações, para o cálculo do indicador de graus-hora para resfriamento, para o consumo relativo para aquecimento e determinação do equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma. Esse regulamento também estabelece tabelas para a determinação dos equivalentes numéricos da envoltória dos ambientes para resfriamento e aquecimento. Já o equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma para resfriamento e aquecimento é obtido através da ponderação dos respectivos equivalentes numéricos pelas áreas úteis dos ambientes avaliados (AUamb).

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O edifício estudado possui um total de 8 (oito) pavimentos, sendo 1 (um) subsolo, 1 (um) térreo e 6 (seis) pavimentos tipo, perfazendo um total de 48 (quarenta e oito) unidades habitacionais.

No subsolo estão elevadores, escadas, garagens e depósitos. No pavimento térreo se localizam os elevadores, escadas, guarita, WC, recepção e pilotis aberto. No pavimento tipo estão 4 (quatro) unidades habitacionais, elevadores, escadas, halls, depósitos e lixeiras.

A fachada leste, fachada principal, é composta por janelas de vidro (50% de abertura para ventilação) sem proteção solar. A fachada oeste possui, além das janelas de vidro, elementos vazados de bloco cerâmico que estão instalados à frente das janelas. As fachadas norte e sul não possuem aberturas para o exterior (Figura 4.2).

Cada unidade habitacional é composta por 1 (uma) sala, 1 (um) hall, 1 (um) WC social, 2 (dois) quartos, 1 (uma) suíte, 1 (um) closet, 1 (um) WC suíte, 1 (uma) copa/cozinha, 1 (um) quarto empregada, 1 (um) WC serviço e 1 (uma) área de serviço, totalizando uma área de 102,96 m².

Em todas as unidades habitacionais, de todos os pavimentos, as paredes externas da sala e do quarto 2 estão voltadas para a orientação leste. Nas unidades habitacionais 01, as paredes externas do quarto 1 estão orientadas para o leste e sul e as da suíte para oeste e sul. Já na unidade habitacional 08 as paredes externas do quarto 1 estão orientadas para o leste e norte e as da suíte para o oeste e norte.

4.1 Verificação do atendimento aos pré-requisitos

A cobertura da edificação em estudo é composta por telha de fibrocimento, espessura de 0,7 cm, com laje de concreto de 20 cm, sendo a transmitância da cobertura de $U = 1,99 [W/(m^2K)]$, a capacidade térmica de 451 [kJ/m²K] e a absorvância de 0,40.

As paredes dessa edificação são compostas por tijolos cerâmicos (10 cm x 20 cm x 20 cm), de oito furos redondos assentados na menor dimensão, com espessura total de 15 cm, sendo 10 cm do tijolo, 2,5 cm de reboco interno, 2,5 cm de reboco externo e argamassa de assentamento de 1,0 cm de espessura. Deste modo, a

transmitância (U) da parede é de 2,24 W/(m²K), a capacidade térmica (CT) é de 167 kJ/m²K e a absorvância (α) é de 0,73 (Tabela 4.1).

A Tabela 4.1 apresenta as áreas levantadas para a determinação do percentual de áreas mínimas de abertura para ventilação e a proporção das aberturas para ventilação cruzada.

Tabela 4.1 – Ventilação natural (percentual de abertura para ventilação) e ventilação cruzada (proporção das aberturas para ventilação natural) das unidades habitacionais do edifício.

AMBIENTES DE PERMANENCIA PROLONGADA	VENTILAÇÃO NATURAL			VENTILAÇÃO CRUZADA		
	AU _{amb} (m ²)	A _v (m ²)	A (%)	A ₁ (m ²)	A ₂ (m ²)	A ₂ /A ₁
Quarto 1	12,75	2,16	16,94			
Quarto 2	12,75	2,16	16,94	7,60	4,68	0,62
Suíte	10,66	2,16	20,26			
Sala	24,70	3,28	13,28			

Nota: AU_{amb} = área útil do ambiente, A_v = área de abertura para ventilação, A = % de áreas de abertura para ventilação, A₁ = somatório das áreas de aberturas para ventilação nas fachadas com maior área de abertura para ventilação e A₂ = somatório das áreas de aberturas para ventilação nas fachadas das demais orientações.

As características físicas relativas à iluminação natural em ambientes de permanência prolongada foram obtidas através do levantamento de dados das áreas de aberturas para iluminação natural e área útil do piso (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Percentual de iluminação natural em ambientes de permanência prolongada das unidades autônomas.

AMBIENTES DE PERMANENCIA PROLONGADA	ÁREA ÚTIL DO AMBIENTE	ÁREA DE ILUMINAÇÃO	PERCENTUAL DE ÁREA DE ILUMINAÇÃO EM RELAÇÃO À ÁREA ÚTIL DO AMBIENTE
	AU _{amb} (m ²)	AI (m ²)	
Quarto 1	12,75	4,32	33,9%
Quarto 2	12,75	4,32	33,9%
Suíte	10,66	4,32	40,5%
Sala	24,70	6,56	26,6%

Nota: AU_{amb} = área útil do ambiente, AI = área de abertura para iluminação natural.

O Quadro 4.1 resume a avaliação dos pré-requisitos para a envoltória, quanto ao atendimento dos valores estabelecidos pelo RTQ-R, para as Zonas Bioclimáticas 4 e 8.

Quadro 4.2 – Resumo dos pré-requisitos, quanto ao atendimento dos valores estabelecidos pelo RTQ-R.

1. Pré-requisitos: Transmitância térmica (U); em [W/(m²K)], Capacidade térmica (CT); em [Kj/(m²K)] e absorvância solar (α); adimensional							
Zona Bioclimática 4							
	Calculado	Limite para ZB4	Atende ?		Calculado	Limite para ZB4	Atende ?
Paredes	$\alpha = 0,73$ U = 2,24 CT = 167	Para $\alpha > 0,60$ U $\leq 2,50$ CT ≥ 130	Sim Sim	Cobertura	$\alpha = 0,40$ U = 1,99 CT = 451	Para $\alpha \leq 0,60$ U $\leq 2,30$ CT = Sem exigência	Sim Sim
Zona Bioclimática 8							
	Calculado	Limite para ZB4	Atende ?		Calculado	Limite para ZB4	Atende ?
Paredes	$\alpha = 0,73$ U = 2,24 CT = 167	Para $\alpha > 0,60$ U $\leq 2,50$ CT = Sem exigência	Sim Sim	Cobertura	$\alpha = 0,40$ U = 1,99 CT = 451	Para $\alpha \leq 0,40$ U $\leq 2,30$ CT = Sem exigência	Sim Sim
2. Pré-requisito: Ventilação natural - % área mínima de abertura para ventilação							
Zona Bioclimática 4							
% área mínima de abertura para ventilação (A)				Ventilação cruzada			
	Calculado (%)	Limite para ZB4 (%)	Atende ?		Calculado (%)	Limite para ZB4	Atende ?
Quarto 1 Quarto 2 Suíte Sala	A = 16,94 A = 16,94 A = 20,26 A = 13,28	A $\geq 8,00$	Sim Sim Sim Sim	Proporção das aberturas	A1/A2 = 0,62	A1/A2 $\geq 0,25$	Sim Sim
Zona Bioclimática 8							
% área mínima de abertura para ventilação (A)				Ventilação cruzada			
	Calculado (%)	Limite para ZB4 (%)	Atende ?		Calculado (%)	Limite para ZB4	Atende ?
Quarto 1 Quarto 2 Suíte Sala	A = 16,94 A = 16,94 A = 20,26 A = 13,28	A $\geq 10,00$	Sim Sim Sim Sim	Proporção das aberturas	A1/A2 = 0,62	A1/A2 $\geq 0,25$	Sim Sim
3. Pré-requisito: Iluminação natural							
Zona Bioclimática 4 e 8							
	Calculado (m ²)		Limite para ZB4 12,5% AU _{amb}		Atende?		
Quarto 1	AI = 4,32		1,59		Sim		
Quarto 2	AI = 4,43		1,59		Sim		
Suíte	AI = 4,32		1,33		Sim		
Sala	AI = 6,56		3,09		Sim		

Deste modo, foi verificado que todos os pré-requisitos (Transmitância térmica, Capacidade térmica, Absortância, Ventilação natural e Iluminação natural) foram atendidos para este edifício, não sendo, portanto, empecilho à obtenção da eficiência energética máxima.

4.2 Determinação da eficiência da envoltória pelo Método Prescritivo para a Zona bioclimática 4

O equivalente numérico da envoltória (EqNumEnv) está relacionado à avaliação do projeto arquitetônico e seu rebatimento no desempenho térmico da edificação. Para obter o EqNumEnv foi necessário calcular, primeiramente, o equivalente numérico da envoltória de cada ambiente de permanência prolongada (EqNumEnvAmb).

No 1º pavimento o EqNumEnvAmb_{Resfr} calculado foi “5” nas suítes das unidades habitacionais de 01 a 03 e “4” nos demais ambientes (Figura 4.1a).

Do 2º ao 5º pavimento (Figura 4.1b), o EqNumEnvAmb_{Resfr} no quarto 1 da UH 04 foi “3”, nas suítes das UH 01, 02 e 03 foi “5” e nos demais ambientes “4”.

No 6º pavimento (Figura 4.1c), as salas de todas as UH e os quartos 1 das UH 01 e 04 obtiveram o EqNumEnvAmb_{Resfr} “3” e nos demais ambientes foi “4”.

Em todos os ambientes, de todos os pavimentos, o EqNumEnvAmb_A foi “5”. Logo, após a ponderação dos EqNumEnvAmb_{Resfr} e EqNumEnvAmb_A pela área de cada UH foram calculados os EqNumEnv_{Resf} e os EqNumEnv_A para cada UH. Posteriormente, foi determinado o equivalente numérico da envoltória para a UH (EqNumEnv) através da equação específica para a Zona Bioclimática 4 (Equação 4.1).

$$\text{EqNumEnv} = 0,68 \times \text{EqNumEnv}_{\text{Resfr}} + 0,32 \times \text{EqNumEnv}_{\text{A}} \quad (\text{Equação 4.1})$$

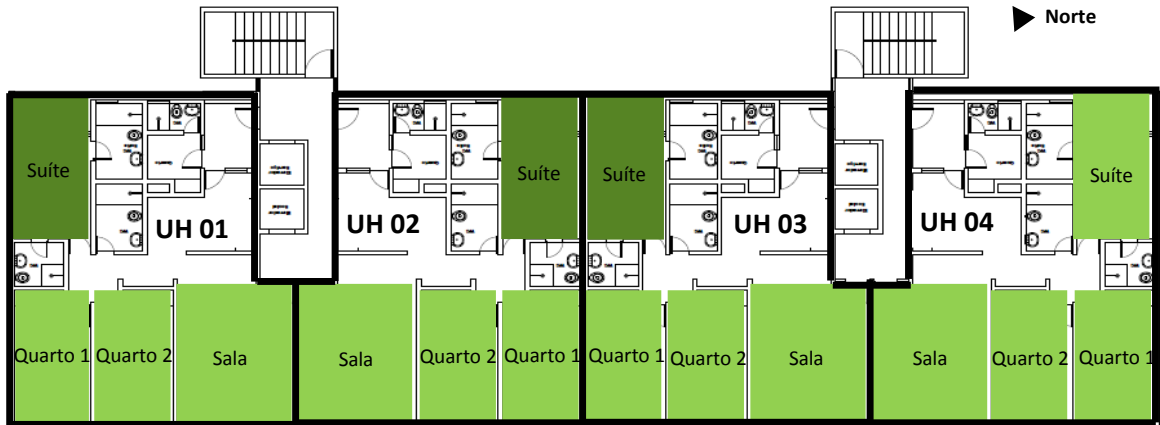
Onde:

EqNumEnv: equivalente numérico da envoltória;

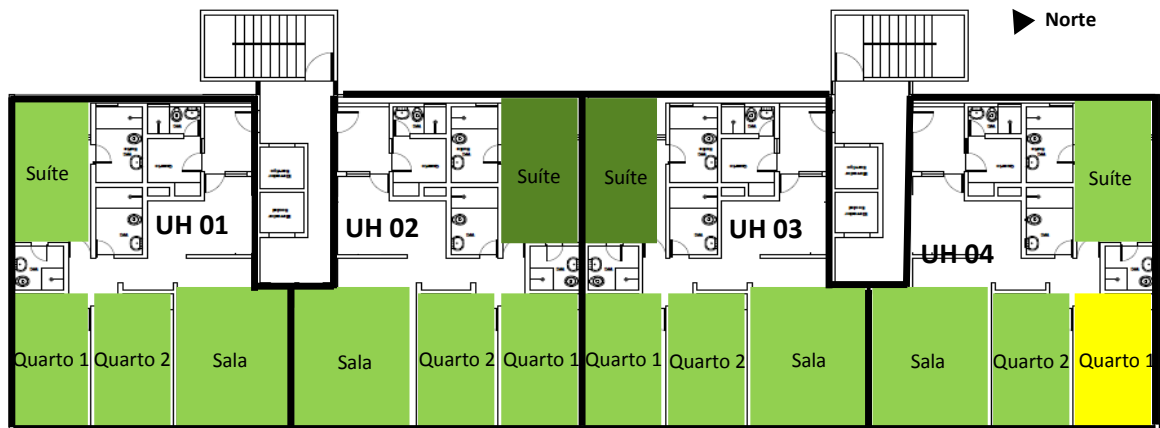
EqNumEnv_{Resfr}: equivalente numérico da envoltória de cada unidade autônoma para resfriamento;

EqNumEnv_A: equivalente numérico da envoltória de cada unidade autônoma para aquecimento;

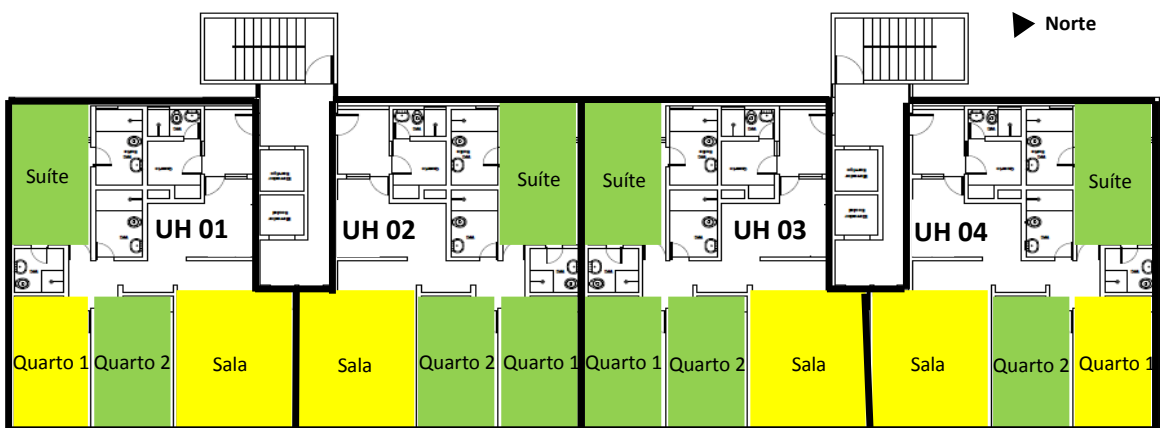
Figura 4.1 – Equivalente numérico da envoltória de resfriamento para os ambientes das unidades habitacionais do 1º pavimento (a), do 2º ao 5º pavimento (b) e do 6º pavimento (c) da edificação na Zona Bioclimática 4.



(a)



(b)



(c)

Nota: Ambientes na cor verde escura o $EqNumEnvAmb_{Resfr} = 5$, na cor verde claro o $EqNumEnvAmb_{Resfr} = 4$ e na cor amarela o $EqNumEnvAmb_{Resfr} = 3$.

Analisando a Tabela 4.3 observa-se que, em todos os pavimentos, o nível de eficiência energética foi “B” para todas as unidades habitacionais, ou seja, o EqNumEnv de todas as UH foi de aproximadamente 4 (variou de 3,86 a 4,43).

Tabela 4.3– Resultado do nível de eficiência das unidades habitacionais (UH) de todos os pavimentos (Pav) da edificação na Zona Bioclimática 4.

Pav	UH	$0,68 \times \text{EqNumEnv}_{\text{Resfr}} + 0,32 \times \text{EqNumEnv}_A$	EqNumEnv	Nível de eficiência
1º	01	$0,68 \times 4,17 + 0,32 \times 5,00$	4,43	B
	02 a 03	$0,68 \times 4,17 + 0,32 \times 5,00$	4,43	B
	04	$0,68 \times 4,00 + 0,32 \times 5,00$	4,32	B
2º ao 5º	01	$0,68 \times 4,00 + 0,32 \times 5,00$	4,32	B
	02 a 03	$0,68 \times 4,17 + 0,32 \times 5,00$	4,43	B
	04	$0,68 \times 3,85 + 0,32 \times 5,00$	4,22	B
6º	01	$0,68 \times 3,32 + 0,32 \times 5,00$	3,86	B
	02 a 03	$0,68 \times 3,48 + 0,32 \times 5,00$	3,97	B
	04	$0,68 \times 3,32 + 0,32 \times 5,00$	3,86	B

A classificação do nível de eficiência desta edificação multifamiliar é o resultado da ponderação da classificação de todas as unidades habitacionais autônomas da edificação pela área útil das UHs. Deste modo, a edificação quando localizada na Zona Bioclimática 4 obteve o nível de eficiência “B”.

Finalmente, como todos os pré-requisitos da envoltória avaliados foram atendidos, a edificação permanece como nível de eficiência “B”.

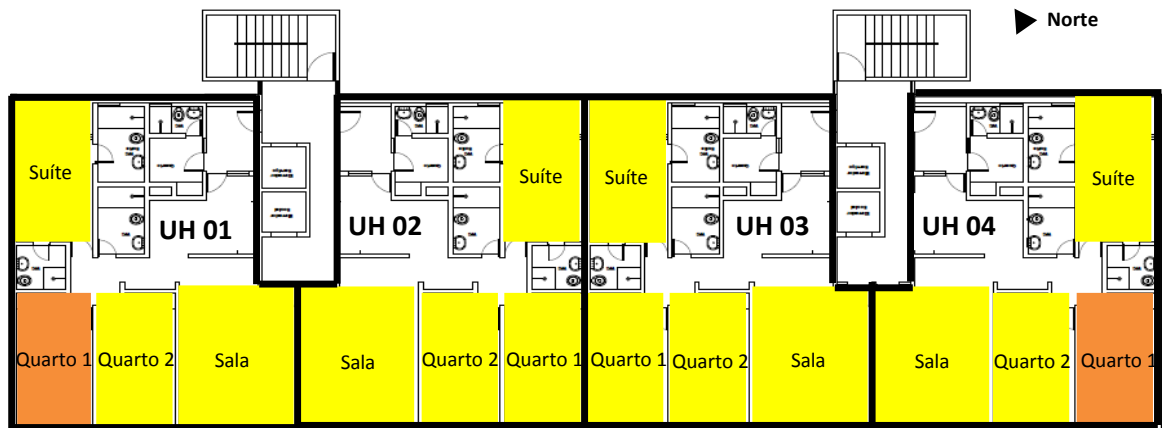
4.3 Determinação da eficiência da envoltória pelo Método Prescritivo para a Zona bioclimática 8

No 1º pavimento o EqNumEnvAmb_{Resfr} calculado foi “3”, com exceção do quarto 1 das unidades habitacionais 01 e 04 (Figura 4.2a).

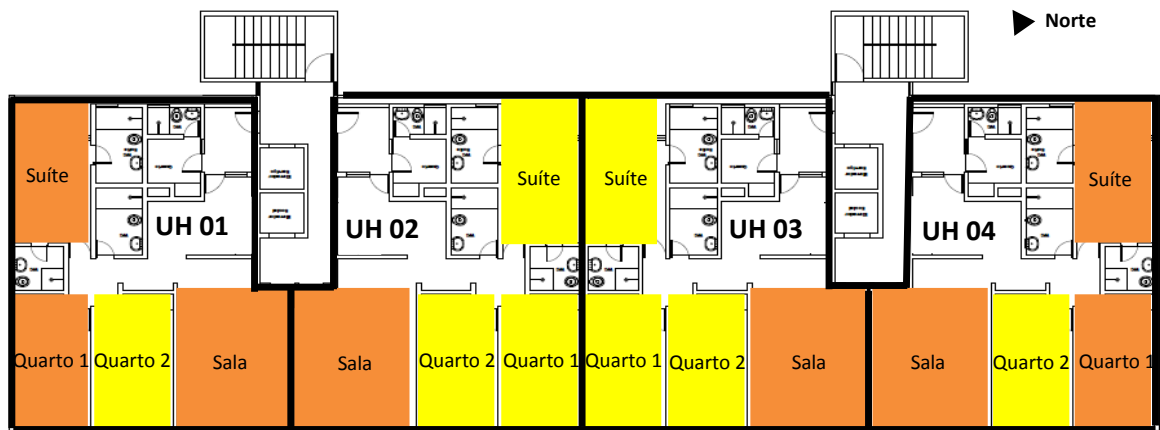
Do 2º ao 5º pavimento (Figura 4.2b), na suíte e no quarto 1 das UHs 02 e 03 e no quarto 2 de todas as UHs o EqNumEnvAmb_{Resfr} foi “3” e nos demais ambientes foi “2”.

No 6º pavimento o EqNumEnvAmb_{Resfr} calculado foi “3”, com exceção do quarto 1 e da suíte das unidades habitacionais 01 e 04 (Figura 4.2c).

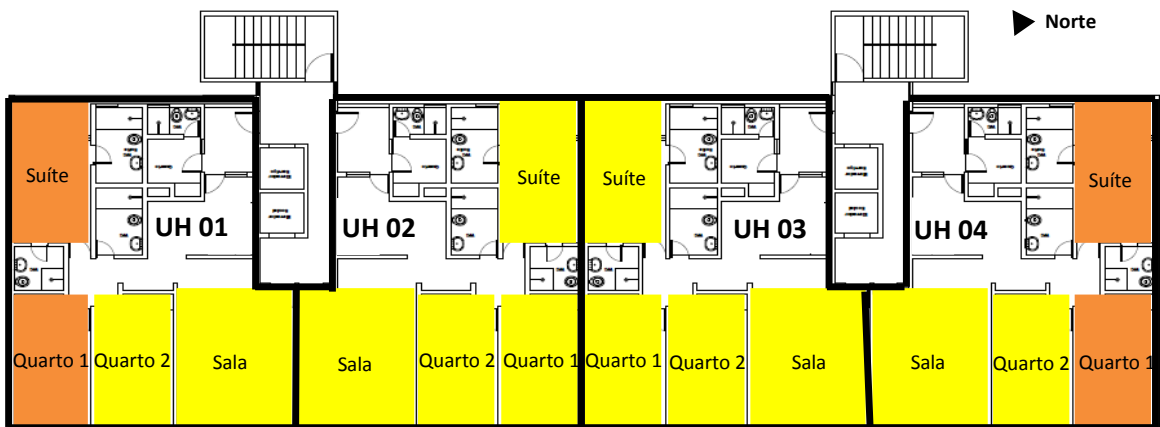
Figura 4.2 – Equivalente numérico da envoltória de resfriamento para os ambientes das unidades habitacionais do 1º pavimento (a), 2º ao 5º pavimento (b) e do 6º pavimento (c) da edificação na Zona Bioclimática 8.



(a)



(b)



(c)

Nota: Ambientes na cor amarela o $\text{EqNumEnvAmb}_{\text{Resfr}} = 3$ e na cor marrom claro o $\text{EqNumEnvAmb}_{\text{Resfr}} = 2$.

Após a ponderação do $EqNumEnv_{Resfr}$ pela área de cada UH foi calculado o $EqNumEnv_{Resf}$ para cada UH. Posteriormente, foi determinado o equivalente numérico da envoltória para a UH ($EqNumEnv$) através da equação específica para a Zona Bioclimática 8 (Equação 4.2).

$$EqNumEnv = EqNumEnv_{Resfr} \quad (\text{Equação 4.2})$$

Onde:

$EqNumEnv$: equivalente numérico da envoltória;

$EqNumEnv_{Resfr}$: equivalente numérico da envoltória de cada unidade autônoma para resfriamento;

Analisando a Tabela 4.4 observa-se que no 1º e no 6º pavimento o nível de eficiência energética foi “C” para todas as unidades habitacionais, ou seja, o $EqNumEnv$ das UH desses pavimentos foi de aproximadamente 3,00 (variou de 2,68 a 3,00), enquanto que, do 2º ao 5º pavimento o nível de eficiência energética foi “D” para todas as unidades habitacionais, ou seja, o $EqNumEnv$ das UH desses pavimentos foi de aproximadamente 2,00 (variou de 2,15 a 2,48),

Tabela 4.4 – Resultado do nível de eficiência das unidades habitacionais (UH) de todos os pavimentos (Pav) da edificação na Zona Bioclimática 8.

Pav	UH	$EqNumEnv_{Resfr}$	$EqNumEnv$	Nível de eficiência
1º	01	2,85	2,85	C
	02 a 03	3,00	3,00	C
	04	2,85	2,85	C
2º ao 5º	01	2,15	2,15	D
	02 a 03	2,48	2,48	D
	04	2,15	2,15	D
6º	01	2,68	2,68	C
	02 a 03	3,00	3,00	C
	04	2,68	2,68	C

A edificação, quando localizada na Zona Bioclimática 8, atinge o nível de eficiência “D”. Finalmente, como todos os pré-requisitos da envoltória avaliados foram atendidos, a edificação permanece como nível de eficiência “D”.

5.0 CONCLUSÕES

Nas duas Zonas Bioclimáticas o 1º pavimento apresentou os melhores $EqNumEnv_{Amb_{Resfr}}$ devido, provavelmente, à influência da circulação de ar no pilotis amenizando a carga térmica dos ambientes, avaliada no RTQ-R pelo parâmetro binário Situação do Piso (pil).

Todas as unidades habitacionais da edificação, quando localizada na Zona Bioclimática 4, atingiram o nível de eficiência energética “**B**” ($EqNumEnv$ de 4,43 a 3,86), enquanto que, as mesmas unidades habitacionais da edificação, quando localizada na Zona Bioclimática 8 o nível de eficiência energética variou entre “**C**” ($EqNumEnv$ de 3,00 a 2,68) para as UH do 1º e 6º pavimentos e “**D**” ($EqNumEnv$ de 2,48 a 2,15) para as UH do 5º pavimento.

Em relação ao nível de eficiência da edificação como um todo, foi constatado que a edificação, quando localizada na Zona Bioclimática 4 obteve o nível de eficiência “**B**”, enquanto que a mesma edificação, quando localizada na Zona Bioclimática 8, nível de eficiência obtido foi “**D**”. Sendo, portanto a edificação estudada mais eficiente quando localizada na Zona Bioclimática 4.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho Térmico para Edificações de Interesse Social**. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho Térmico para Edificações**. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15569 - Sistemas de aquecimento solar de água em circuito direto: Projeto e Instalação**. Rio de Janeiro, 2008b.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Eletrobrás. Procel Edifica. **Manual de Conservação de Energia Elétrica – Edifícios Públicos e Comerciais**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 1994.

BRASIL. Presidência da República. **Lei n. 10.295, de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Brasília, DF, 2001a.

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

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comercio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº 449, de 25 de novembro de 2010**. Aprova o Regulamento Técnico da Qualidade - RTQ para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Rio de Janeiro, 2010c.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comercio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº 122, de 15 de março de 2011**. Aprova os Requisitos de Avaliação da Conformidade do nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Rio de Janeiro, 2011.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comercio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012**. Aprova revisão do Regulamento Técnico da Qualidade - RTQ para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Rio de Janeiro, 2012.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº 126, de 19 de março de 2014**. Inclusão do Anexo IV ao Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Rio de Janeiro, 2014.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2014: Ano base 2013**. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GIVONI, B. **Comfort, climate analysis and building design guidelines**. Energy and Building, vol.18, 1992.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. PBE - **Programa Brasileiro de Etiquetagem**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe.asp>. Acesso em: 25 ago. 2012.

KAEHLER, J. W. M. **Un outil d'Aide à la Décision et de Gestion des Actions pour la Maîtrise de la Demande d'Énergie** - de la Conception au Développement. 1993. 257 f. Tese (Doutorado) - Ecole Nationale Superieure des Mines, Paris, 1993.

LAMBERTS, R.; BOGO, A.; PIETROBON, C.; BARBOSA, M.; GOULART, S.; PITTA, T. Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico. **Relatório Interno, 02/94**. UFSC, 1994.

LAMBERTS, R; CARLO, J. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem de eficiência energética de edifícios – parte 1: método presuntivo. **Ambiente construído**. Porto Alegre, v.10, n.2, p.7-26, 2010.

MATOS, M. **Simulação computacional do desempenho térmico de residências em Florianópolis utilizando a ventilação natural**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis.

MARTINEZ, M. F.; ALVES, M. B.; PEREIRA, L. A.; BAYER, P. O. Redução de consumo de energia elétrica através de conceitos Green Building. **Eletrônica de Potência**, vol. 14, no. 2, 2009.

MEIRA, A. C. B. S. **Eficiência energética de edificações residenciais no plano piloto de Brasília: uma análise comparativa com utilização do RTQ-R**. 2014. 169 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília/DF, 2014.

MORELLO, A. **Avaliação do comportamento térmico do protótipo habitacional Alvorada**. 2005.

PATUSCO, J. A. M. **Balanco Energético Nacional**. Brasília: Ministério das Minas e Energia, 2003.

PETRAGLIA, G.; JÚNIOR, C.; COELHO, F. **Eficiência energética na arquitetura.** 2010. Disponível em: <http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2014-1/tecnologia_sustentavel/tecnologia_sustentavel_2010-1.pdf> Acesso em: 20 nov. 2014.