



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL  
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO AMBIENTAL**

**LACYANE KRYSNA DOS SANTOS OLIVEIRA**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ESPAÇO EDUCACIONAL: recomendações para  
redução do consumo em *Campus* do IFPE.**

**Recife, 2016**

**LACYANE KRYSNA DOS SANTOS OLIVEIRA**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ESPAÇO EDUCACIONAL: recomendações para  
redução do consumo em *Campus* do IFPE.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco.

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Rejane de Moraes Rêgo  
Orientadora

**Recife, 2016**

**LACYANE KRYSNA DOS SANTOS OLIVEIRA**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ESPAÇO EDUCACIONAL: RECOMENDAÇÕES  
PARA REDUÇÃO DO CONSUMO EM *CAMPUS* DO IFPE.**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco como parte integrante dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental.

Data da aprovação: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Rejane de Moraes Rêgo  
Orientadora - IFPE

---

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Sofia Suely Ferreira Brandão Rodrigues  
Examinador Interno - MPGA

---

Prof. Dr. Marco Antônio de Oliveira Domingues  
Examinador Interno - MPGA

---

Prof. Dr. Ruskin Marinho de Freitas  
Examinador Externo – UFPE

À Ana Luíza.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que tem o perfeito controle de tudo.

A meus pais pela criação com amor e pelo estímulo aos estudos.

A meu esposo Renato pelo companheirismo e por ser o melhor pai que Ana Luíza poderia ter.

A minha filha Ana Luíza por conviver com minha presença ausente.

A minha mãe Nilda e minha sogra Leyla por serem avós para todas as horas.

As minha irmãs pelos encorajamentos

A minha orientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rejane de Moraes Rêgo pela compreensão e tranquilidade diante dos meus momentos de mudança de vida, acreditando na concretização deste trabalho.

A todos os docentes do Mestrado Profissional em Gestão Ambiental pelos ensinamentos.

Aos colegas de turma pela torcida e disponibilidade de se ajudar.

Ao Departamento de Obras e Projetos do Instituto Federal de Pernambuco, na pessoa de Virgínia Gouveia pelo incentivo ao mestrado e pela disponibilização das informações.

Ao Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado/UFAL pelo acolhimento como aluna especial.

## RESUMO

Com a temática central da eficiência energética para a sustentabilidade, esta dissertação tem o objetivo de realizar avaliações da eficiência energética do projeto arquitetônico padrão para *campi* do Instituto Federal de Pernambuco em diferentes municípios que representam as zonas bioclimáticas de Pernambuco por meio do método Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C e de simulações computacionais, identificando procedimentos projetuais que contribuam para um bom desempenho e redução do consumo energético. Inicialmente, traz um referencial teórico sobre eficiência energética, com uma abordagem sobre as origens da eficiência energética das edificações na arquitetura bioclimática e sustentável, sobre os aspectos climáticos e arquitetônicos que influenciam na eficiência energética, métodos, programas e certificações, além de simulações computacionais como ferramentas para projeto de edificações eficientes. Realizaram-se simulações computacionais da eficiência energética com o *software* Domus para quatro orientações geográficas e quatro localidades distintas. Os resultados apresentaram etiquetagem nível “A” para as envoltórias. Estudou-se as estratégias eficientes, as diferenças de consumo energético entre as localidades, além de considerações sobre o conforto ambiental e uso da ventilação natural para redução do consumo energético. Conclui-se que o projeto estudado conseguiu minimizar a influência das variáveis climáticas através de materiais com bons índices de isolamento térmico e sombreamento das fachadas. Ressaltou-se a importância da eficiência energética como um instrumento de gestão ambiental para evitar novas crises energéticas no Brasil e no mundo. Espera-se que este estudo da eficiência energética em edificações de um *campus* padrão do IFPE, contribua para melhoria da qualidade ambiental e minimização de custos com operação e manutenção, permitindo melhor utilização dos recursos disponíveis.

**Palavras-chave:** Eficiência energética, arquitetura bioclimática, simulação computacional.

## ABSTRACT

With the central theme of energy efficiency for sustainability, this dissertation aims to perform energy efficiency assessments of the standard architectural design for campuses of the Federal Institute of Pernambuco in different municipalities that represent the bioclimatic zones of Pernambuco through the Technical Regulation Quality for the Energy Efficiency Level in Commercial, Services and Public Buildings - RTQ-C and computational simulations, identifying design procedures that contribute to a good performance and reduction of energy consumption. Initially, it brings a theoretical reference on energy efficiency, with an approach on the origins of the energy efficiency of the buildings in the bioclimatic and sustainable architecture, on the climatic and architectural aspects that influence in the energy efficiency, methods, programs and certifications, besides computational simulations like Tools for efficient building design. Computational simulations of energy efficiency were performed with the Domus software for four geographic orientations and four different locations. The results were labeled "A" for the wrappings. It was studied efficient strategies, differences in energy consumption among localities, as well as considerations on environmental comfort and use of natural ventilation to reduce energy consumption. It was concluded that the studied project managed to minimize the influence of climatic variables through materials with good thermal insulation indexes and shading of the façades. It was emphasized the importance of energy efficiency as an instrument of environmental management to avoid new energy crises in Brazil and in the world. It is expected that this study of energy efficiency in buildings of a standard IFPE campus will contribute to improved environmental quality and minimized operation and maintenance costs, allowing better use of available resources.

**Keywords:** Energy efficiency, bioclimatic architecture, computational simulation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Carta Solar para a cidade de Recife.....	25
Figura 2 - Rosa dos ventos para a cidade de Recife.....	25
Figura 3 - Zoneamento bioclimático brasileiro.....	26
Figura 4 - Proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro.....	29
Figura 5 - Edificações com forma de cubo - Multifunctional Center na Itália.....	30
Figura 6 - Edificação com forma cilíndrica - Guggenheim Museu em Nova York.....	31
Figura 7 - Edificação com forma sinuosa - Edf. Copan em São Paulo.....	31
Figura 8 - Corte do edifício CENPES 2 (RJ) com estudo de proteção da radiação direta e ventilação natural.....	32
Figura 9 - Modelo 3d do bloco administrativo.....	47
Figura 10 - Planta de cobertura do bloco administrativo.....	48
Figura 11 - Planta baixa do pavimento térreo do bloco administrativo.....	48
Figura 12 - Planta baixa do pavimento superior do bloco administrativo.....	49
Figura 13 - Fachada 01 - Bloco administrativo.....	49
Figura 14 - Fachada 02 - Bloco administrativo.....	50
Figura 15 - Fachada 03 - Bloco administrativo.....	50
Figura 16 - Fachada 04 - Bloco administrativo.....	50
Figura 17 - Modelo 3d do bloco salas de aula.....	51
Figura 18 - Planta de cobertura do bloco salas de aula.....	51
Figura 19 - Planta baixa pavimento térreo do bloco salas de aula.....	51
Figura 20 - Planta baixa pavimento superior do bloco salas de aula.....	52
Figura 21 - Fachada 01 - Bloco salas de aula.....	52
Figura 22 - Fachada 02 - Bloco salas de aula.....	52
Figura 23 - Fachada 03 - Bloco salas de aula.....	53
Figura 24 - Fachada 04 - Bloco salas de aula.....	53
Figura 25 - Zoneamento Bioclimático de Pernambuco.....	55
Figura 26 - Modelagem do bloco administrativo no <i>software</i> Domus.....	64
Figura 27 - Modelagem do bloco salas de aulas no <i>software</i> Domus.....	65
Figura 28 - Etiquetagem da eficiência energética pelo <i>software</i> Domus.....	65
Figura 29 - Esquema de ventilação natural no interior do bloco administrativo.....	94
Figura 30 - Esquema de ventilação natural no interior do bloco salas de aula.....	94

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Temas-chave para construção sustentável.....	21
Quadro 2 - Benefícios do ambientalismo na indústria da construção.....	22
Quadro 3 - Resumo das diretrizes construtivas para as zonas bioclimáticas brasileiras.....	27
Quadro 4 - Estratégias bioclimáticas para as cidades estudadas.....	63
Quadro 5 - Padrão de orientações geográficas adotado para a simulação do bloco administrativo.....	67
Quadro 6 - Padrão de orientações geográficas adotado para a simulação do bloco salas de aulas.....	68
Quadro 7 - Resumo simulação de eficiência energética - bloco administrativo - Garanhuns.....	83
Quadro 8 - Resumo simulação de eficiência energética - bloco salas de aula - Garanhuns.....	84
Quadro 9 - Resumo simulação de eficiência energética - bloco administrativo - Serra Talhada.....	85
Quadro 10 - Resumo simulação de eficiência energética - bloco salas de aula - Serra Talhada.....	86
Quadro 11 - Resumo simulação de eficiência energética - bloco administrativo - Arcoverde.....	87
Quadro 12 - Resumo simulação de eficiência energética - bloco salas de aula - Arcoverde.....	88
Quadro 13 - Resumo simulação de eficiência energética - bloco administrativo - Recife.....	89
Quadro 14 - Resumo simulação de eficiência energética - bloco salas de aula - Recife.....	90
Quadro 15 - Orientação geográfica indicada para Garanhuns.....	91
Quadro 16 - Orientação geográfica indicada para Serra Talhada.....	92
Quadro 17 - Orientação geográfica indicada para Arcoverde.....	92
Quadro 18 - Orientação geográfica indicada para Recife.....	93

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Temperaturas médias de Garanhuns.....	57
Gráfico 2 - Temperaturas médias de Serra Talhada.....	57
Gráfico 3 - Temperaturas médias de Arcoverde.....	58
Gráfico 4 - Temperaturas médias de Recife.....	58
Gráfico 5 - Umidade relativa de Garanhuns.....	59
Gráfico 6 - Rosa dos ventos de Garanhuns.....	59
Gráfico 7 - Umidade relativa de Serra Talhada.....	60
Gráfico 8 - Rosa dos ventos de Serra Talhada .....	60
Gráfico 9 - Umidade relativa de Arcoverde.....	61
Gráfico 10 -. Rosa dos ventos de Arcoverde.....	61
Gráfico 11 -. Umidade relativa de Recife.....	62
Gráfico 12 - Rosa dos ventos de Recife.....	62
Gráfico 13 - Consumo energético anual - bloco administrativo.....	76
Gráfico 14 - Consumo energético anual - bloco salas de aula.....	77
Gráfico 15 - Consumo energético mensal - bloco administrativo - Garanhuns.....	79
Gráfico 16 - Consumo energético mensal - bloco administrativo - Serra Talhada.....	79
Gráfico 17 - Consumo energético mensal - bloco administrativo - Arcoverde.....	80
Gráfico 18 - Consumo energético mensal - bloco administrativo - Recife.....	80
Gráfico 19 - Consumo energético mensal - bloco salas de aula - Garanhuns.....	81
Gráfico 20 - Consumo energético mensal - bloco salas de aula - Serra Talhada.....	81
Gráfico 21 - Consumo energético mensal - bloco salas de aula - Arcoverde.....	82
Gráfico 22 - Consumo energético mensal - bloco salas de aula - Recife.....	82

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Transmitância térmica (U) de alguns materiais construtivos.....	33
Tabela 2 - Absortância ( $\alpha$ ) de alguns acabamentos construtivos.....	34
Tabela 3 - Índice de resistência térmica Iclo para algumas vestimentas..	37
Tabela 4 - Valores de metabolismo para algumas atividades.....	37
Tabela 5 - Cidades pernambucanas com dados climáticos disponíveis e respectivas zonas bioclimáticas.....	54
Tabela 6 - Percentual de horas em conforto e desconforto nas cidades.....	63
Tabela 7 - Dados do projeto de climatização.....	69
Tabela 8 - Dados do projeto de iluminação artificial.....	69
Tabela 9 - Potência de referência para os níveis de eficiência do sistema de iluminação - bloco administrativo.....	71
Tabela 10 - Indicador de consumo para os níveis de eficiência da envoltória - bloco administrativo.....	73
Tabela 11 - Indicador de consumo para os níveis de eficiência da envoltória - bloco salas de aula.....	74
Tabela 12 - Potência de referência para os níveis de eficiência do sistema de iluminação - bloco salas de aula.....	75
Tabela 13 - Custo energético por orientação geográfica - bloco administrativo.....	78
Tabela 14 - Custo energético por orientação geográfica - bloco salas de aula.....	78
Tabela 15 - Comparativo de consumo energético - bloco sala de aula.....	95

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DOPE	Departamento de Obras e Projetos de Engenharia
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFPE	Instituto Federal de Pernambuco
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
LABEEE	Laboratório de Eficiência Energética nas Edificações
MPOG	Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão
PBE Edifica	Programa Brasileiro de Edificações – PBE Edifica
PROCEL	Programa nacional de Conservação de Energia Elétrica
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
TIC	Tecnologia de Informação e Comunicação
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

## SUMÁRIO

	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	13
1	<b>EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ARQUITETURA: ABORDAGENS CONCEITUAIS E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO.....</b>	17
1.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E A ARQUITETURA SUSTENTÁVEL.....	17
1.2	FATORES QUE INFLUENCIAM NO DESEMPENHO ENERGÉTICO.....	22
1.2.1	Fatores climáticos.....	23
1.2.2	Fatores antrópicos.....	29
1.3	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E O CONFORTO TÉRMICO.....	34
1.4	MÉTODOS, PROGRAMAS E CERTIFICAÇÕES.....	38
1.4.1	Procel Edifica.....	38
1.4.2	BREEAM.....	39
1.4.3	HQE.....	39
1.4.4	LEED.....	40
1.5	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL APLICADA.....	41
2	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	45
2.1	MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	46
2.2	CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO.....	47
2.3	CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DAS CIDADES.....	54
2.4	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	64
3	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	71
3.2	RECOMENDAÇÕES PARA CONFORTO AMBIENTAL COM AUMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	91
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	97
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	100

## INTRODUÇÃO

A temática deste trabalho é a **eficiência energética na arquitetura e seus benefícios para a sustentabilidade do planeta nos aspectos ambientais, sociais e econômicos**. A eficiência energética é parte da ideia de uma arquitetura sustentável que tem sido desenvolvida com base em princípios bioclimáticos em prol do conforto do usuário, adequação ao contexto local e uso consciente de recursos naturais.

Intitulada de “Eficiência energética em espaço educacional: recomendações para redução do consumo em *Campus* do IFPE” esta pesquisa abordou a eficiência energética em edificação para fim educacional, delimitada a um projeto arquitetônico padrão de um *campus* do Instituto Federal de Pernambuco (IFPE), onde os conceitos e parâmetros foram estudados de forma aplicada a este projeto.

Nas últimas décadas, discussões trouxeram ao cenário mundial as questões ambientais difundindo para a população que o planeta Terra não consegue se regenerar na mesma velocidade que os recursos naturais são consumidos, passando a crise ambiental e a sustentabilidade do planeta a ser um tema recorrente nas leis e normas dos países.

De acordo com Braga (2005, p. 52), "a crise ambiental pode ser descrita considerando-se três aspectos básicos: crescimento populacional, demanda de energia e de materiais e geração de resíduos, ou seja, poluição”.

Com o desenvolvimento da tecnologia da informação e comunicação (TIC), e dos equipamentos eletroeletrônicos, o homem utiliza cada vez mais energia. Ao mesmo tempo, enfrentamos problemas quanto à disponibilidade pelo uso majoritário de fontes de energia não renováveis, e também porque a maioria da energia elétrica utilizada nas edificações advém das hidrelétricas, e a escassez de água tem atingido níveis alarmantes atualmente. A disponibilidade de água e energia é um dos grandes problemas da crise ambiental.

Braga aponta como possível solução desta crise a conservação da energia e o seu uso racional:

Uma saída para a crise de energia é a conservação. Isso significa desenvolver meios de utilizar mais eficientemente as fontes hoje disponíveis. Os benefícios da conservação são enormes, prolongam o uso das fontes finitas e, principalmente, minimizam os impactos ambientais decorrentes da geração de energia. Paralelamente ao desenvolvimento de novas formas de aproveitamento energético, a conservação é um dos principais meios de gerenciar a crise atual. (BRAGA, 2005, p. 56-57).

Nesse contexto, estima-se que os edifícios são responsáveis por grande parte da energia utilizada na maioria dos países. Segundo Yeang (1995) este consumo é entre 30% e 40%, segundo Edwards (2008) o consumo dos edifícios é de 50% e um dado mais recente do Relatório Síntese do programa Eficiência Energética em Edifícios - EEE (BCSD, 2013) é que este consumo é de pelo menos 40%.

Este auto índice de consumo é reflexo não apenas da utilização de equipamentos pouco eficientes unidos à falta de consciência no uso e operação das edificações, mas também do baixo desempenho energético das edificações. Portanto, entende-se que pode haver estratégias de projeto arquitetônico que contribuam para edificações mais eficientes energeticamente.

A preocupação com o consumo energético de um edifício, em sua maioria, existe na etapa de operação. Mas há como avaliar o futuro desempenho de uma edificação e propor melhorias ainda na etapa de projeto? E em casos de edificações existentes, é possível implementar modificações na estrutura física visando maior eficiência energética?

Questionamentos como esses embasam o interesse pela pesquisa sobre como as decisões projetuais do arquiteto influenciam no desempenho energético da edificação e da contribuição que as mesmas podem oferecer à sustentabilidade do cenário energético atual.

Por meio da prática profissional pode-se observar que os arquitetos, de uma forma geral, não atentam para a eficiência energética da edificação na etapa de concepção dos projetos em seu cotidiano. A reflexão deste aspecto durante a projeção é importante, pois as ideias podem ser repensadas e as modificações podem ser feitas de forma mais efetiva e menos onerosa.

Nesse contexto, a pesquisa buscou identificar procedimentos projetuais que possam contribuir como referência para projetos arquitetônicos de edificações eficientes energeticamente, o que se faz urgente diante da demanda cada vez maior de energia e das dificuldades de geração de energia limpa e sustentável.

Para que a pesquisa fosse de possível execução, recortou-se o universo para edificações públicas federais, por conta da publicação da Instrução Normativa Nº 02 do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG), em junho de 2014. Essa instrução tornou obrigatório que os novos edifícios públicos federais brasileiros, com mais de 500m<sup>2</sup>, sejam construídos com nível "A" de eficiência energética (BRASIL, 2014). Nível este definido a partir da metodologia de avaliação da conformidade que está descrita no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios

Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) do Programa Brasileiro de Edificações – PBE Edifica.

A partir desta delimitação, optou-se por selecionar como objeto de pesquisa um projeto de espaço educacional do Instituto Federal de Pernambuco, instituição de ensino, pesquisa e extensão, que integra a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica Brasileira. A escolha foi feita pela existência de relação profissional da autora com o Departamento de Obras e Projetos de Engenharia (DOPE) desta instituição, possibilitando maior facilidade de acesso a projetos e dados da obra, assim como contribuir diretamente para a racionalização dos recursos de uma instituição de grande relevância no estado de Pernambuco.

O IFPE possui, atualmente, um *campus* virtual de Educação a Distância e 16 (dezesseis) *campi* físicos (Recife, Ipojuca, Caruaru, Garanhuns, Pesqueira, Afogados da Ingazeira, Barreiros, Vitória de Santo Antão, Belo Jardim, Cabo de Santo Agostinho, Abreu e Lima, Igarassu, Paulista, Olinda e Jaboatão dos Guararapes), sendo que um destes está em construção e os outros seis estão em processo de projeto e funcionando em sedes provisórias. Os seis *campi* a ser construídos possuem projeto arquitetônico iguais, sendo alteradas, apenas, as posições de implantação conforme as particularidades de cada terreno. Este projeto padrão foi contratado através de um processo licitatório, tendo em vista que o Departamento de Obras e Projetos (DOPE) do IFPE possui recurso humano limitado para atender às demandas de projetos arquitetônicos e complementares de obras novas e reformas das unidades existentes. O DOPE atuou como cliente do projeto definindo o programa de necessidades, acompanhou o desenvolvimento do projeto aprovando soluções técnicas e fiscalizou o contrato de elaboração dos projetos. Tendo em vista que a repetição desse projeto padrão terá grande impacto na instituição – em termos de manutenção e operação – tenha este bom ou mau desempenho, selecionou-se o mesmo para ser o objeto de estudo dessa pesquisa.

Acredita-se que os resultados poderão contribuir para melhoria da produção arquitetônica especificamente na instituição estudada, colaborando para a execução de edificações energeticamente eficientes. Paralelamente, pode servir de referência para outros institutos, universidades, escolas, e demais edificações públicas.

Para tanto, como **objetivo geral** a investigação propôs-se a realizar avaliações da eficiência energética de projeto arquitetônico padrão de *campus* do IFPE, em diferentes municípios pernambucanos, identificando procedimentos projetuais que contribuam para um bom desempenho e redução do consumo energético.

Como **objetivos específicos**, definiram-se:

- a) Estudar as condições físicas das edificações que influenciam no consumo e eficiência energética;
- b) Realizar simulação computacional da eficiência energética de edificações do projeto padrão para os *campi* do IFPE em diferentes zonas bioclimáticas de Pernambuco;
- c) Elaborar sugestões para melhoria da eficiência energética e redução do consumo energético dos projetos de edificações estudadas, a partir de modificações arquitetônicas.

## **ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Na Introdução está a temática central da pesquisa, uma descrição da situação problema, a justificativa que impulsionou o desenvolvimento desta investigação e os objetivos da mesma. O primeiro capítulo consiste na revisão bibliográfica sobre eficiência energética, com uma abordagem sobre as origens da preocupação com o assunto nas edificações sob a ótica da arquitetura bioclimática e sustentável; sobre os aspectos climáticos e arquitetônicos que influenciam na eficiência energética; sobre métodos, programas e certificações, além de simulações computacionais como ferramenta para projeto de edificações eficientes. No segundo capítulo apresentam-se os procedimentos metodológicos adotados; o método usado para avaliação da eficiência energética; o objeto de estudo; a caracterização do projeto a ser avaliado; a caracterização climática das localidades onde o projeto foi simulado; e os parâmetros da simulação computacional. O terceiro capítulo apresenta os resultados das simulações computacionais realizadas quanto à etiquetagem da eficiência energética e consumo energético anual e mensal, assim como recomendações para melhoria do conforto ambiental. Por fim, apresentam-se as considerações finais e contribuições da pesquisa.

## **1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ARQUITETURA: ABORDAGENS CONCEITUAIS E AVALIATIVAS**

De acordo com Lamberts (1997, p. 14),

a eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia.

A edificação eficiente deve buscar prover conforto ambiental ao usuário, evitar que os sistemas fiquem acionados quando não for necessário, minimizar a manutenção, reduzir o impacto ambiental e reduzir os custos relacionados ao consumo de energia.

A seguir serão apresentadas as bases da eficiência energética presentes nos conceitos de arquitetura sustentável e bioclimática, os fatores naturais e do ambiente construído que influenciam no desempenho energético das edificações, os principais programas e métodos de avaliação e certificação da eficiência energética no Brasil e no mundo, e o uso da tecnologia de simulação computacional aplicada a medições de eficiência energética nas edificações.

### **1.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E A ARQUITETURA SUSTENTÁVEL**

A abordagem ecológica integra a arquitetura desde os primórdios, ainda que não fossem utilizados os termos atuais. Segundo Edward (2008, p. 37), Vitruvius, em seus textos, afirmava que conforto e clima faziam parte do modelo triangular de *firmitas, vetustas e utilitas* (solidez, beleza e utilidade), defendia a importância da existência da iluminação e ventilação natural e acreditava que o projeto arquitetônico deveria ser um agente mediador entre o conforto interno e o ambiente externo.

Corbella e Yannas (2003, p. 16), corroboram a opinião que desde os primórdios de nossa civilização, os arquitetos se preocuparam com o conforto e em consumir pouca energia para consegui-los. Entretanto, por muito tempo, esses conceitos foram esquecidos e apenas um pequeno grupo de arquitetos insistia em projetar edifícios adaptados ao clima local e que seguiu pesquisando e desenvolvendo o tema.

O esquecimento dos conceitos de conforto por parte dos arquitetos foi evidente após a Segunda Guerra Mundial, quando se expandiram as técnicas construtivas, havia abundância de combustível e o uso da tecnologia e de novos equipamentos nas indústrias intensificava-se na engenharia. As escolas de arquitetura propagavam que o conforto térmico da edificação era tarefa do engenheiro térmico e a iluminação natural podia ser substituída pela artificial, que era tarefa do engenheiro eletricitista, ambas profissões emergentes (EDWARDS, 2008, CORBELLA; YANNAS, 2003).

Esta época foi de intensa exploração de sistemas artificiais nas edificações com o desenvolvimento da tecnologia, o que demandou grande consumo de energia.

O grande aumento do consumo de energia necessário para solucionar os problemas criados por este tipo de arquitetura não era levado em conta porque seu custo era irrisório. E ainda não existia uma consciência generalizada sobre a enorme poluição criada pela geração e o consumo dessa energia (CORBELLA;YANNAS, 2003, p. 16).

Entretanto, na década de 1970, com a primeira crise de energia, produzida pelo elevado aumento do preço do petróleo, sentiu-se a necessidade de produzir edificações com a preocupação do consumo energético. Iniciou-se a incorporação de energia solar aos edifícios como alternativa à energia convencional, bem como retornou a consciência de aproveitamento dos recursos naturais para promoção do conforto dos usuários. Corbella e Yannas (2003, p. 17) afirmam que "[...]foi renascendo uma arquitetura preocupada na sua integração com o clima local, visando à habitação centrada sobre o conforto ambiental do ser humano e sua repercussão no planeta, a Arquitetura Bioclimática". Já Brian Edwards (2008, p. 37) afirma que foi nesta década que "o projeto ecológico tornou-se uma disciplina própria da formação dos arquitetos", ainda que com uma abordagem focada na economia de energia.

A Arquitetura Bioclimática citada por Corbella e Yannas (2003, p. 37), tem como objetivo "prover um ambiente construído com conforto físico, sadio e agradável, adaptado ao clima local, que minimize o consumo de energia convencional e precise da instalação de menor potência elétrica possível, o que também leva à mínima produção de poluição".

Para Adam (2011, p. 57):

A arquitetura bioclimática, investiga as relações entre os seres humanos (animais homotérmicos) e as características climáticas de um local, que são absorvidas e transformadas pelos edifícios, refletindo-se no partido arquitetônico (orientação dos ambientes, lay-outs, disposição das vedações - paredes e cobertura -, proporção e composição das aberturas, estruturas, materiais e paisagismo) com o objetivo de minimizar a quantidade de energia operante consumida no edifício.

Percebemos que ambos os conceitos destacam a relação com o clima local e a redução do consumo energético. A consideração destes dois fatores na concepção arquitetônica influencia tanto a forma e estética das edificações, como a disposição das atividades nos ambientes e a sua relação com o meio externo, sejam de proteção contra as intempéries ou ampliando a relação com a natureza, através de espaços verdes.

A Arquitetura Bioclimática avançou em pesquisas científicas a partir de dados climáticos. Hoje tem-se disponível dados de intensidade, velocidades e direção dos ventos, umidade, radiação solar, diagramas das cartas solares que demonstram a insolação para as diferentes fachadas de uma edificação ao longo do ano, em diferentes localidades. Além de diversos programas computacionais que são instrumentos para o desenvolvimento do projeto arquitetônico, simulando a realidade para auxiliar a proposição de soluções.

Em paralelo à Arquitetura Bioclimática, e possivelmente anterior a esta, se desenvolvia a Bioconstrução. Segundo Adam (2011, p. 41)

A bioconstrução, também conhecida por ecobioconstrução, nasceu nos países germânicos, (bau-biologie - biologia da construção), e diz respeito ao relacionamento entre edifício e vida, o impacto das construções na saúde humana e a integração ecológica entre a vida humana e outros tipos de vida, visando o bem-estar global.

A Bioconstrução se diferencia da Arquitetura Bioclimática por não haver uma forte relação com o clima e não uso de tecnologias construtivas a fim de melhorar a qualidade das edificações. Refere-se às edificações construídas explorando-se materiais naturais e que provocam baixo impacto ao sítio onde são implantadas, além de promover a integração com o ambiente externo. A Bioconstrução é frequentemente relacionada a uma arquitetura vernacular, espontânea, tradicional. Segundo Edwards (2008, p. 167), "a arquitetura vernacular utiliza materiais disponíveis no local, fontes de energia locais, em sua grande maioria renováveis, e adota métodos construtivos que incentivam a reciclagem e o respeito a natureza" e com ela é possível aprender lições de sustentabilidade para edificações rurais ou urbanas.

Para Corbellas e Yannas (2008, p. 17), a Arquitetura Sustentável "é a continuidade mais natural da Bioclimática, considerando também a integração do edifício à totalidade do meio ambiente, de forma a torná-lo parte de um conjunto maior".

É a arquitetura que quer criar prédios objetivando o aumento da qualidade de vida do ser humano no ambiente construído e no seu entorno, integrado com as características da vida e do clima locais, consumindo a menor quantidade de energia compatível com o conforto ambiental, para legar um mundo menos poluído para as futuras gerações (CORBELLA; YANNAS, 2003, p. 17).

O conceito de arquitetura sustentável é amplo e agrega ideias da Bioarquitetura e da Arquitetura Bioclimática. Segundo os arquitetos Fosters e Partners (1999) apud Edwards (2008), um "projeto sustentável é a criação de edificações eficientes do ponto de vista energético, saudáveis, confortáveis, de uso flexível e projetadas para terem uma longa vida útil". Já a Associação para Informação e Pesquisa sobre as Instalações dos Edifícios (*Building services Research and Information Association - BRSIA*, 1996) apud Edwards (2008) considera construção sustentável a criação e gestão de edifícios saudáveis, baseados em princípios ecológicos e no uso eficiente dos recursos.

O termo "saudáveis" aparece em comum nas definições apresentadas caracterizando uma edificação onde a permanência do usuário é agradável, que com a devida manutenção é um espaço durável e que sua implantação não representa a destruição do meio, mas sim abrigo em harmonia com os ecossistemas, o que não descarta a tecnologia, mas utiliza-a como instrumento para alcançar a sustentabilidade.

A questão de gestão dos edifícios mencionadas por Edwards, já havia sido tratada por Yeang (1995) que ressalta a importância de estratégias de projeto que deem diretrizes de funcionamento.

Em uma abordagem ecológica com o projeto, o designer precisa prever e verificar toda a gama de interações e consequências do projeto, não só antes da construção, mas, durante o seu funcionamento ou utilização (YEANG, 1995, p.14)<sup>1</sup>.

O termo "Ecoedifício" foi utilizado por Adam (2011, p. 9) para caracterizar o produto da arquitetura sustentável, um termo amplo que concilia os edifícios aos ecossistemas naturais. Segundo o autor esse termo sintetiza "arquitetura bioclimática, geobiologia, ecotech, bioconstrução, tradições do Feng-Shui, do Sthapatya Veda, tecnologia dos materiais, a tecnologia de ponta, ecologia, alternativas energéticas e do conhecimento contemporâneo em: psicologia, física e biologia, neurociências".

Assim, ecoedifício é um conceito dinâmico e progressivo de qualificação, que integra: indivíduo, edifício e ecossistemas, permitindo que todos assimilem-se harmonicamente. O objetivo é, desde o projeto, conhecer e atuar sobre os ciclos de recursos e energias nos edifícios, (em todas as fases de sua vida, construção, consumo, demolição, etc...), avaliando as consequências desta atuação (ADAM, 2011, p. 9-10).

É possível analisar que os conceitos abordados acompanham a definição de sustentabilidade que integra o equilíbrio entre os aspectos econômico, social e ambiental, conceito conhecido como *triple bottom line*. O aspecto ambiental é demonstrado de maneira

---

<sup>1</sup> Todas as citações em outro idioma foram traduzidas livremente pela autora.

clara e direta na relação com o ambiente e na análise do ciclo de vida do edifício, mas também se percebe a dimensão social e econômica. A social manifesta-se na preocupação com conforto e qualidade de vida dos usuários da edificação, e a econômica nas questões de durabilidade, manutenção, transporte de materiais investimento em tecnologias, e análise do custo de vida.

Neste sentido, Salgado, Chatelet e Fernandez (2012, p. 83) apresentam uma pesquisa realizada no Reino Unido pelo *Construction Industry Research and Information Association* (CIRIA), que indicou os dez temas-chave da construção sustentável, apresentados no Quadro 1.

Quadro 1: Temas-chave para a construção sustentável

Subtemas	
Temas ambientais	Evitar poluição Proteção e melhoria da biodiversidade Melhoria de eficiência energética Uso eficiente de recursos
Temas sociais	Respeito à equipe de funcionários Relacionamento com comunidades locais Estabelecimento de parcerias
Temas econômicos	Aumento de produtividade e lucro Melhoria no projeto (produto oferecido) Monitoramento e relato de desempenho versus metas

Fonte: SALGADO; CHATELET; FERNADEZ, 2012.

A partir da análise do Quadro 1 percebemos que alguns dos subtemas apesar de receberem uma determinada classificação, são comuns a outros temas. Nos temas ambientais está a melhoria da eficiência energética. A eficiência energética das edificações é importante para otimizar os níveis de consumo e conseqüentemente reduzir o impacto ambiental de geração de energia. Apesar de ter sido classificada como um subtema ambiental, a eficiência energética influencia também os aspectos econômicos, pois tende à redução de custos com energia elétrica com um desempenho técnico satisfatório. O mesmo ocorre com o uso eficiente de recursos. Estes exemplos demonstram que os aspectos ambientais, sociais e econômicos estão interligados e interferem uns nos outros.

É necessário, também, afirmar as vantagens da arquitetura sustentável sobre a “arquitetura tradicional”. Apesar da construção sustentável necessitar de maior investimento inicial, é consenso entre os autores que estes custos de construção são compensados com a redução de custos operacionais (BORGES; MORAES, 2013). Este tipo de construção também

colabora para a melhoria da imagem dos empreendedores perante a sociedade e tem sido explorada como *marketing* verde. Além deste, outros benefícios são mencionados no Quadro 2.

Quadro 2: Benefícios do ambientalismo na indústria da construção

- Redução de custos
- Garantia do cumprimento da legislação
- Antecipação a legislação futura
- Redução de riscos ambientais
- Melhores relações com os legisladores
- Melhor imagem pública
- Aumento das oportunidades de mercado

Fonte: EDWARDS, 2008.

Edward (2008, p. 5) afirma que edificações sustentáveis

podem produzir sua própria energia, captar e reciclar sua própria água, utilizar materiais reciclados e promover a reutilização dos resíduos, além de manter o equilíbrio entre o CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) produzido durante sua construção e uso, e o CO<sub>2</sub> transformado novamente em oxigênio, mediante o plantio de árvores em outras áreas.

Em síntese, a construção sustentável é vantajosa pois se implanta de forma harmoniosa ao ambiente, suprimindo a necessidade humana de abrigo com qualidade de vida e inclusive produzindo os recursos que retirou do ambiente durante sua construção, podendo contribuir para geração de recursos durante sua vida útil.

Dentre as características da edificação sustentável, a eficiência energética se apresenta como tema de grande relevância. É consenso entre os autores estudados que o ecoedifício necessita ser eficiente no uso dos recursos naturais, principalmente pela importância deste recurso na vida das pessoas e pelo impacto ambiental que a geração de energia elétrica ocasiona no meio ambiente, sendo urgentes as medidas de geração alternativa e uso racional.

## 1.2 FATORES QUE INFLUENCIAM NO DESEMPENHO ENERGÉTICO

A fim de identificar as estratégias projetuais que melhorem a eficiência energética da edificação, faz-se necessário pesquisar os fatores que influenciam no desempenho energético. Tais fatores foram agrupados em dois tipos: os **climáticos**, variáveis naturais não controladas

pelo homem, que se relacionam com a região geográfica da edificação; e os fatores **antrópicos**, que são as características físicas, projetadas pelo homem que influenciam no consumo energético.

### **1.2.1 Fatores climáticos**

A influência da natureza no consumo energético de uma edificação relaciona-se principalmente ao clima e às características regionais onde está implantada. Numa edificação localizada em região de clima ameno, por exemplo, será necessário menor gasto energético do que em climas quentes ou frios, pois serão otimizados os sistemas de refrigeração ou aquecimento.

As variáveis climáticas são quantificadas em estações meteorológicas, que descrevem as características gerais de uma região como sol, nuvens, ventos, temperatura, umidade e precipitação. O conhecimento destas variáveis é essencial para projetar ambientes confortáveis ao usuário e eficientes no consumo de energia.

No Brasil, os dados climatológicos mais difundidos são: as Normais Climatológicas – um banco de dados de valores médios e extremos mensais das variáveis climatológicas de centenas de cidades brasileira publicadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia, e seguindo padrões de medições internacionais; e o Ano Climático de Referência – dados tratados estatisticamente que permitem a simulação de dias típicos de projeto baseados em um ano de referência, entretanto os dados existem apenas para 20 cidades brasileiras (LABEE/UFSC, s/d).

Um dos dados mais importantes é a radiação solar, principal fonte energética do planeta. A radiação influencia no conforto ambiental e eficiência energética tanto no aspecto térmico como visual.

No aspecto térmico, a radiação solar ingressa pelas aberturas e é absorvida pelas paredes externas e cobertura se convertendo em calor e aumentando a temperatura das superfícies e do ar interno dos ambientes, interferindo diretamente na sensação térmica dos usuários. Desta forma, a depender da intensidade da radiação absorvida, pode ser necessário a utilização de equipamentos consumidores de energia elétrica para obter conforto térmico, seja para o aquecimento ou resfriamento do ambiente (CORBELLIA; YANNAS, 2003).

Já no aspecto visual, a luz solar que adentra pelas aberturas das edificações, contribui para a visibilidade necessária às tarefas desenvolvidas nos ambientes internos. Segundo a

*Commission of the European Communities* (1992) apud Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p. 76)

a eficácia luminosa da luz natural direta é maior que muitas das alternativas de luz artificial conhecidas. A luz natural direta também introduz menor quantidade de calor por lúmen para o interior de um edifício que a maioria das lâmpadas. Isso mostra que a luz natural pode ser uma estratégia atrativa para diminuir a carga de resfriamento necessária em edifícios por causa de iluminação artificial.

Entretanto, a iluminação natural necessita ser dimensionada para as atividades determinadas, pois pode ser insuficiente, criando sombras indesejadas (ou mesmo excessivas), gerando ofuscamento e prejudicando a visibilidade. Para proporcionar conforto, sem dúvida, é necessário complementá-la com iluminação artificial. Mas para obter edificações eficientes esta deve ser projetada como complemento e não como substituição a luz natural (CORBELLLA; YANNAS, 2003).

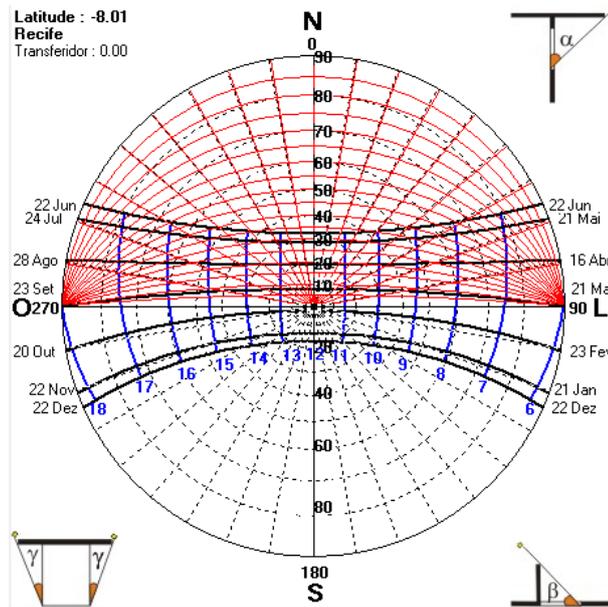
O comportamento da radiação solar pode ser conhecido através das cartas solares<sup>2</sup> (Figura 1), nas quais a partir da latitude do local, é possível determinar a altura e o azimute solar (ANALYSIS SOL-AR, s/d). Embora quantificáveis, tanto a radiação quanto a iluminação natural variam enormemente de um instante para o outro devido às condições do céu. Portanto, estudos de simulação consideram modelos padrões como céu limpo, nublado e parcialmente nublado, este último considerado o mais próximo da realidade por representar a maioria dos dias.

A recepção da radiação solar juntamente com os fluxos das massas de ar determina a temperatura. O conhecimento dos dados de médias, máximas e mínimas temperaturas em cada período do ano, disponíveis nas Normais Climatológicas, permite ao arquiteto identificar os períodos de maior desconforto e intervir para proporcionar o conforto por meio do projeto arquitetônico. Outro fator importante relacionado à temperatura é a amplitude térmica, ou seja, a variação entre a mínima e máxima durante um dia, pois a partir desta característica planeja-se o armazenamento ou não do calor através da especificação dos materiais construtivos (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

---

<sup>2</sup> Carta solar é a projeção sobre um plano (planificação) dos pontos cardeais e das Trajetórias aparentes do sol acima do horizonte de um determinado local.

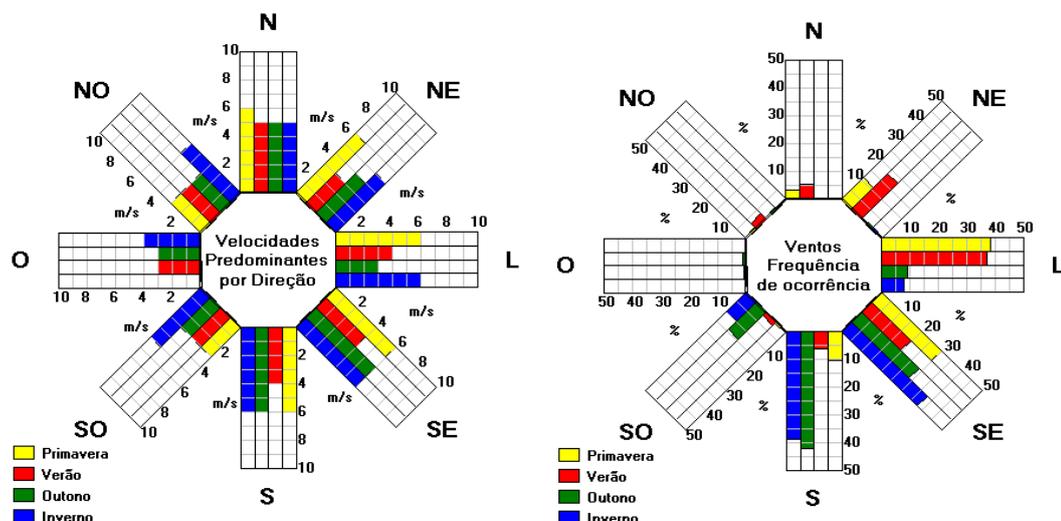
Figura 1: Carta Solar para a cidade de Recife



Fonte: Software Analysis SOL-AR versão 6.2.

Com relação à ventilação natural, apesar de existirem variações numa mesma região devido a diferenças de temperaturas, relevo e desenho urbano, dados de estações meteorológicas fornecem a probabilidade de direção e intensidade dos ventos conforme a época do ano. Esses dados são disponibilizados em forma de diagramas do tipo "rosa dos ventos<sup>3</sup>" (Figura 2) que permitem ao arquiteto planejar o posicionamento das aberturas de uma edificação, visando o melhor aproveitamento deste recurso natural (ANALYSIS SOL-AR, s/d).

Figura 2: Rosa dos ventos para a cidade de Recife

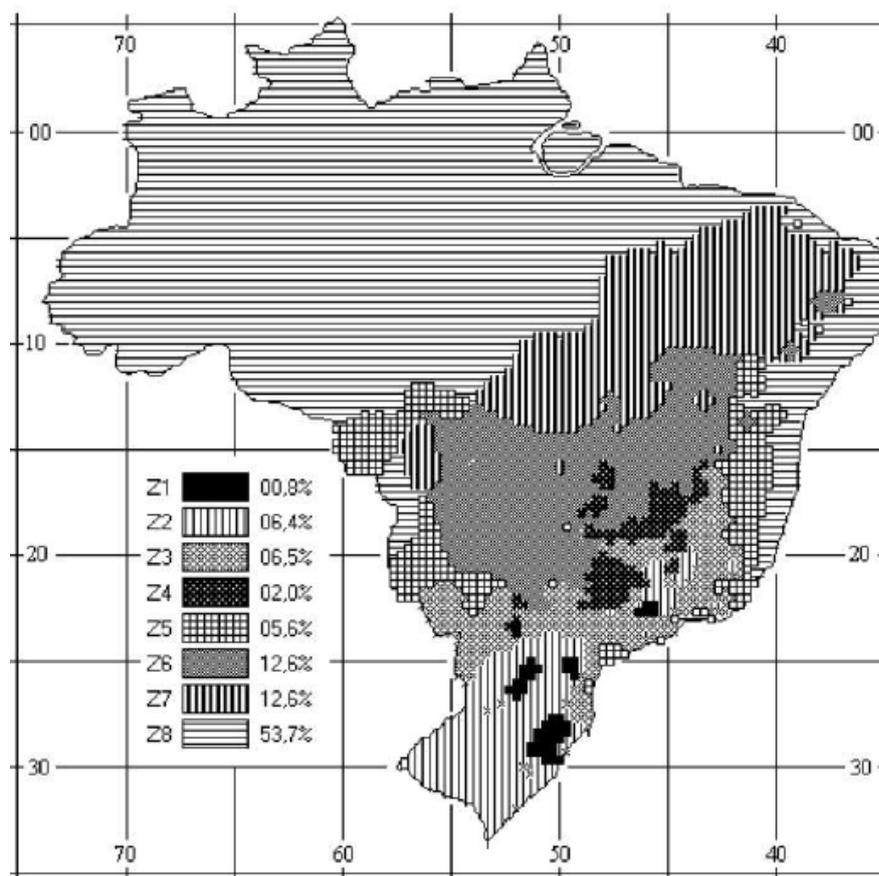


Fonte: Software Analysis SOL-AR versão 6.2.

<sup>3</sup> Rosa dos ventos é o tipo de diagrama utilizado para demonstrar a velocidade ou frequência dos oito direções predominantes dos ventos incidentes de um determinado local.

A partir de um estudo iniciado em 1991, uma equipe de pesquisadores publicou um projeto de norma que foi aprovado e publicado em 2003 como NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações Habitacionais Unifamiliares de Interesse Social, a qual contém a primeira versão do Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Tal norma que divide o Brasil em 8 zonas bioclimáticas (Figura 3), ou seja, regiões com certa homogeneidade climática de dados como temperaturas mínimas e máximas e umidade relativa do ar. Para cada zona, foram listadas diretrizes construtivas para habitações populares (Quadro 3), visando a obtenção do conforto térmico do usuário.

Figura 3: Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: NBR 15220-3/2003.

Quadro 3: Resumo das diretrizes construtivas para as Zonas Bioclimáticas brasileiras

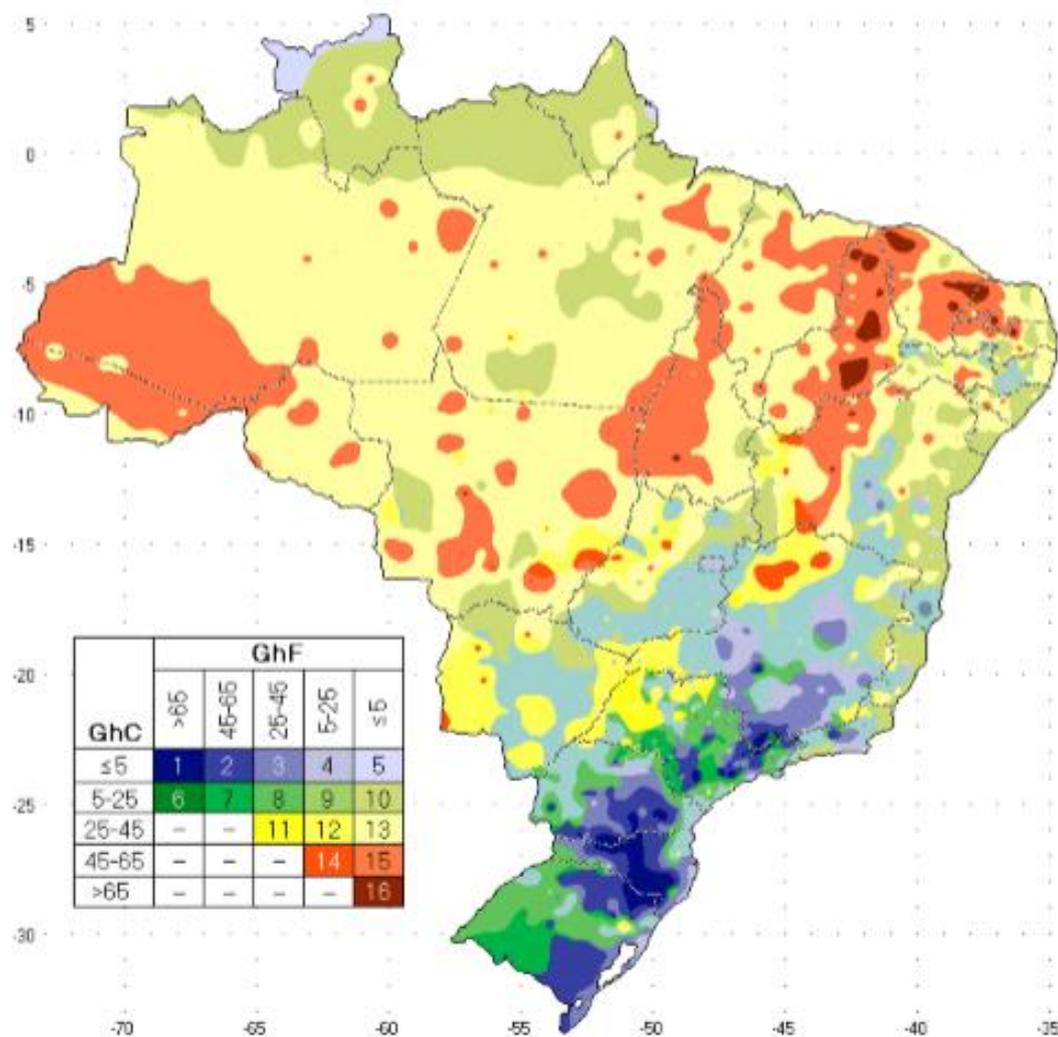
<b>Diretrizes</b>	<b>ZB 1</b>	<b>ZB 2</b>	<b>ZB 3</b>	<b>ZB 4</b>	<b>ZB 5</b>	<b>ZB 6</b>	<b>ZB 7</b>	<b>ZB 8</b>
Aberturas pequenas								
Aberturas médias								
Aberturas grandes								
Sombreamento das aberturas durante todo o ano								
Aberturas expostas à radiação solar durante o inverno								
Paredes externas leves								
Paredes externas pesadas								
Paredes externas refletoras a radiação solar								
Vedações internas pesadas para maior inércia térmica								
Vedações internas pesadas no inverno								
Coberturas isoladas								
Coberturas leves								
Coberturas pesadas								
Ventilação cruzada no verão								
Ventilação cruzada permanente durante todo o ano								
Ventilação seletiva no verão								
Resfriamento evaporativo								
Condicionamento passivo insuficiente nas horas de calor elevado								
Condicionamento passivo insuficiente no inverno								
Aquecimento solar e inércia térmica das vedações no inverno								

A publicação da NBR 15220 foi um marco nos estudos sobre clima e arquitetura e contribui até hoje para a melhoria da qualidade térmica das habitações populares no Brasil, suas diretrizes são difundidas no ensino de conforto ambiental e consideradas para avaliação por Regulamentos Técnicos sobre Eficiência Energética.

Considerando que o primeiro Zoneamento Bioclimático Brasileiro é questionado pelos pesquisadores, os quais apontam imprecisão na caracterização climática das cidades por ser baseado em dados climáticos de 300 dos 5.564 municípios existentes no Brasil, sendo os demais obtidos por interpolação desses dados climáticos, resultando em um número de zonas que não reflete a diversidade climática do Brasil; e que foi proposto, especificamente, para habitação de interesse social sendo utilizado para todas as tipologias de edificações por ser o único disponível. Maurício Roriz publicou em 2012 uma proposta de revisão para o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (Figura 4), baseada em dados climáticos de 1281 municípios e demais dados estimados por medição via satélite a cada grau de latitude pela NASA e interpolação dos dados. Roriz utilizou dois parâmetros para classificar os climas em relação ao comportamento térmico e energético de edificações: total anual de graus-horas de calor (GhC) e total anual de graus-horas de frio (GhF), adotando os intervalos confortáveis de temperatura da Carta Bioclimática proposta por Givoni (1992) para países em desenvolvimento, ou seja, 18 a 28 °C, sendo 18 °C o limite inferior da Zona de Conforto e 28 °C uma média entre os limites superiores para diferentes taxas de umidade. O resultado foi um mapa dividido em 16 zonas apresentado na figura 4.

Apesar de ser notório que o estudo de Roriz apresenta maior detalhamento, se aproximando mais da diversidade climática brasileira, a NBR 15220 ainda não foi revisada, assim, os métodos e classificações atuais de eficiência energética a utilizam como parâmetro oficial mesmo reconhecendo que não reflete fielmente a realidade brasileira.

Figura 4: Proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: RORIZ, 2012.

Os dados das Zonas Bioclimáticas são importantes instrumentos de projeto tendo em vista que uma edificação para ser considerada eficiente energeticamente não basta apenas ter baixo consumo de energia, é primordial que sejam satisfeitas as necessidades dos usuários. A partir destas informações, pode-se planejar o máximo aproveitamento dos recursos naturais como iluminação e ventilação, além de especificar sistemas complementares de iluminação artificial e condicionamento de ar para uso em períodos de maior desconforto.

### 1.2.2 Fatores antrópicos

Algumas decisões projetuais, ainda que não sejam tomadas conscientemente, influenciam diretamente a eficiência energética das edificações. Em geral, estas se referem à

relação interior x exterior, ou seja, como a arquitetura se relaciona com o meio ambiente e aproveita os recursos naturais, reduzindo a dependência por sistemas artificiais complementares.

A implantação de um edifício em determinado terreno é um dos fatores mais importantes, porque fixa o mesmo em uma orientação geográfica que determinará como sol, ventos e luz incidirão na envoltória<sup>4</sup> da edificação durante o ano.

De acordo com as simulações realizadas por Kinsel (2009) num estudo com edifícios residenciais em Porto Alegre, “ambientes com aberturas orientadas para norte e sul mantêm as temperaturas mais constantes ao longo do dia em comparação com as orientações leste e oeste”, pois a fachada leste recebe as radiações solares no horário da manhã, e a fachada oeste recebe incidência solar à tarde e mantêm as temperaturas internas elevadas por mais horas. Seus resultados afirmam que "a orientação que consome mais energia para manter a temperatura em nível confortável é a oeste".

Pelos mesmos motivos citados acima, as posições, quantidades e dimensões de aberturas nas fachadas devem também ser planejadas com cautela, tendo em vista que a radiação é transmitida diretamente para o interior dos ambientes por meio dos vãos e esquadrias.

A forma física da edificação também é determinante nas trocas de calor com o meio externo (Figuras 5,6 e 7). Diferentes geometrias de mesma área, por exemplo, apresentam diferentes formas de exposição à radiação solar.

Figura 5: Edificações com forma de cubo - Multifunctional Center na Itália



Fonte: [http://www.archdaily.com/176378/multifunctional-center-etb-studio/pj\\_plodn-0/](http://www.archdaily.com/176378/multifunctional-center-etb-studio/pj_plodn-0/)

---

<sup>4</sup> Envoltória: planos que separam o ambiente interno do ambiente externo. (INMETRO, 2103, p. 7)

Figura 6: Edificação com forma cilíndrica - Guggenheim Museu em Nova York



Fonte: <http://www.guggenheim.org/>

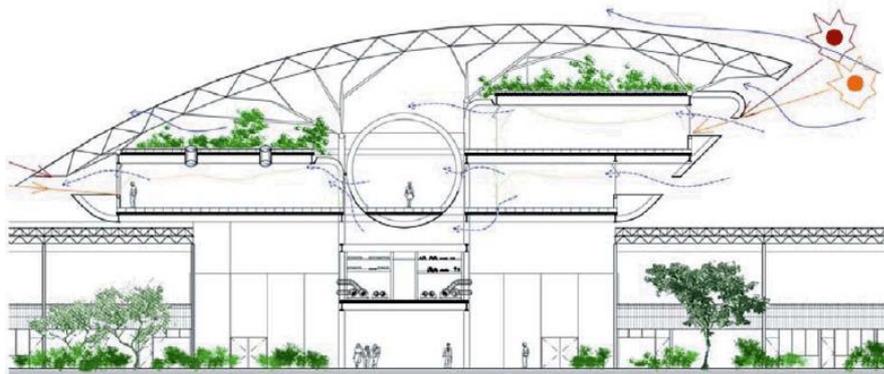
Figura 7: Edificação com forma sinuosa - Edf. Copan em São Paulo



Fonte: <https://arquiteturascontemporaneas.wordpress.com/2013/11/07/x-bienal-de-arquitetura-de-sao-paulo-ccsp-o-copan-que-nao-se-ve-por-elisa-maretti-e-isabela-velozo/>

Os projetos arquitetônicos podem se apropriar de protetores solares como beirais, marquises, brises e protetores mistos para evitar a insolação direta nas aberturas, ou mesmo para direcioná-la para o local desejado (Figura 8). A eficiência destes elementos de proteção pode ser calculada com base nos ângulos formados pela projeção dos raios solares, podendo ser determinados os horários e períodos de proteção a partir da latitude do local edificado.

Figura 8: Corte do edifício CENPES 2 (RJ) com estudo de proteção da radiação direta e ventilação natural



Fonte: <http://au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/181/cenpes-2-siegbert-zanettini-e-jose-wagner-garcia-rio-130996-1.aspx>.

Conforme abordado nos estudos das Zonas Bioclimáticas brasileiras, as diretrizes construtivas indicam o uso de fechamentos leves/pesados para determinadas regiões. Isto ocorre porque os materiais construtivos têm comportamentos diferentes quanto à absorção do calor externo e transmissão para o interior.

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p. 197), nos materiais opacos "a transmissão do calor acontece quando há diferença de temperatura entre as suas superfícies interior e exterior. O sentido do fluxo de calor será sempre da superfície mais quente para a mais fria". Portanto, uma característica a ser observada nesses materiais é a transmitância térmica ( $U$ ), que de acordo com Frota e Schiffer (2001) "engloba as trocas térmicas superficiais (por convecção e radiação) e as trocas térmicas através do material segundo a espessura da lâmina, o coeficiente de condutibilidade térmica, a posição horizontal ou vertical da lâmina, e ainda, o sentido do fluxo" e é um parâmetro que possibilita a comparação do desempenho de diferentes materiais (Tabela 1).

Enquanto a transmitância refere-se à constituição do material, outro fator - a absorvância térmica - refere-se ao tipo de acabamento da superfície e a cor do mesmo, que influenciam na quantidade de calor absorvida. Cores claras apresentam menor ganho térmicos que cores escuras (Tabela 2).

A transmitância e absorvância dos materiais da envoltória, o envelope do edifício, que em geral compreende paredes externas e coberturas, são as partes da edificação que influenciam na eficiência energética, pois são estas superfícies que se relacionam com as variáveis climáticas do meio ambiente.

Tabela 1: Transmitância térmica (U) de alguns materiais construtivos

<b>Elemento</b>	<b>Tipo</b>	<b>U(W/m<sup>2</sup>K)</b>
Paredes	Tijolo 6 furos esp. 12,5cm	2,39
	Tijolo 6 furos esp. 17cm (deitado)	2,08
	Tijolo 8 furos rebocado esp. 12,5cm	2,49
	Tijolo 4 furos rebocado esp. 12,5cm	2,59
	Tijolo maciço aparente 9cm	4,04
	Tijolo maciço rebocado 12cm	3,57
	Tijolo maciço rebocado 26cm	2,45
Janelas	Vidro comum 3mm	
Coberturas	Laje concreto 10cm + fibrocimento	
	verão - não ventilado	2,04
	verão - bem ventilado	2,04
	inverno - não ventilado	2,86
	inverno - bem ventilado	3,89
	Laje concreto 10cm + cerâmica	
	verão - não ventilado	2,04
	verão - bem ventilado	2,04
	inverno - não ventilado	2,87
	inverno - bem ventilado	3,89
	Forro pinus 1cm + fibrocimento	
	verão - não ventilado	2,00
	verão - bem ventilado	2,00
	inverno - não ventilado	2,79
	inverno - bem ventilado	3,75
	Forro pinus 1cm + cerâmica	
	verão - não ventilado	2,01
	verão - bem ventilado	2,01
	inverno - não ventilado	2,79
	inverno - bem ventilado	3,75
Forro pinus 1cm + fibrocimento + alumínio polido		
verão - não ventilado	1,11	
verão - bem ventilado	1,11	
inverno - não ventilado	2,04	
inverno - bem ventilado	3,75	

Fonte: LAMBERTTS, DUTRA, PEREIRA, 2104, p.217.

Tabela 2: Absortância ( $\alpha$ ) de alguns acabamentos construtivos

<b>Tipo de superfície</b>	<b><math>\alpha</math></b>
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25
Caiacção nova	0,12/0,15
Concreto aparente	0,65/0,80
Telha de barro	0,75/0,80
Tijolo aparente	0,65/0,80
Reboco claro	0,30/0,50
Revestimento asfáltico	0,85/0,98
Vidro comum de janela	Transparente
Pintura:	
- branca	0,20
- amarela	0,30
- verde claro	0,40
- “alumínio”	0,40
- verde escuro	0,70
- vermelha	0,74
- preta	0,97

Fonte: LAMBERTTS, DUTRA, PEREIRA, 2104, p.217.

Além dos fatores climáticos e arquitetônicos, a escolha dos sistemas e equipamentos de condicionamento de ar (climatização ou aquecimento), aquecimento de água e iluminação influenciam na eficiência energética da edificação.

### 1.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO TÉRMICO

O conceito de conforto expressa a satisfação do indivíduo com as condições ambientais do espaço habitado. Segundo Lamberts (2014, p. 43), o conforto ambiental compreende o bem estar térmico, visual, acústico, antropométrico, além da qualidade do ar e conforto olfativo. Sendo esta temática muito ampla, este trabalho tratará apenas do conforto térmico, por sua forte relação com a eficiência energética, tendo em vista que a envoltória da edificação determina o quanto o indivíduo será exposto ao clima externo e a necessidade de utilização de equipamentos de resfriamento/aquecimento do ar, um dos maiores consumidores de energia em edificações públicas.

Bittencourt e Cândido (2015, p. 13) definem conforto térmico "como a situação de satisfação psicofisiológica com as condições térmicas de um ambiente onde a manutenção da homeostase humana é obtida", isso significa que se o balanço entre as trocas de calor que ocorrem entre o corpo humano e o meio for nulo, e a temperatura corporal estiver dentro dos limites saudáveis (cerca de 37°C) o homem está em situação de conforto.

As trocas de calor entre o corpo e o meio podem ocorrer simultaneamente e de quatro formas: convecção, radiação, evaporação e condução. Na convecção a transferência de calor se dá através do movimento do ar; na radiação a transferência de calor ocorre por ondas eletromagnéticas advindas da radiação solar direta ou refletida pelos objetos; na evaporação transferência de calor ocorre através do suor, que provoca o resfriamento da pele; e na condução a transferência de calor é por contato direto do corpo com algum objeto, onde o de maior temperatura fornece calor ao de menor temperatura (LAMBERTS, 2014).

As variáveis ambientais que influenciam o conforto térmico e podem ser medidas são temperatura do ar, temperatura radiante, umidade relativa e velocidade do ar (LAMBERTS, 2014, p. 46).

Bittencourt e Cândido (2015, p. 14) afirmam que pesquisas comprovam que a variação de temperatura é perceptível pelos usuários, mas nem sempre são significativas no conforto térmico, pois os seres humanos possuem um sistema fisiológico flexível que se adapta as flutuações de temperatura durante o dia, em construções com refrigeração passiva, melhor do que em condições constantes por mais de 2h (ambientes condicionados). Tal informação reforça a possibilidade de conforto térmico proporcionada através de uma envoltória adequada ao clima que permita ventilação, sombreamento e resfriamento passivo - estratégias que contribuem para a eficiência energética pois utilizam recursos naturais renováveis e gratuitos.

A umidade além de influenciar o conforto térmico pode também se relacionar a problemas de saúde. A alta umidade nos ambientes possibilita o surgimento de mofo aumentando a ocorrência de alergias e problemas respiratórios. Em locais com alta temperatura, por vezes a umidade é relacionada ao desconforto por proporcionar pele úmida devido ao suor. No tempo seco, a baixa umidade provoca o ressecamento das vias aéreas, tornando as pessoas mais vulneráveis a crises de asma, infecções virais e bacterianas, além de dificultar a dispersão de gases poluentes na atmosfera (NUNES DA SILVA; RIBEIRO; SANTANA, 2014). O limite de umidade relativa no interior das construções ainda não foi determinado com precisão (entre 80 e 90%), pois depende das condições de arejamento. (BITTENCOURT E CÂNDIDO, 2015, p. 15-16).

A condição de conforto em ambientes ventilados naturalmente depende da temperatura do ar externo e da velocidade do ar. O movimento de ar pode produzir sensação de conforto em temperaturas acima de 30°C, mas para temperaturas entre 33 e 37°C a velocidade do ar não afeta a sensação térmica pela proximidade entre a temperatura do ar e da pele, reduzindo o potencial das trocas por convecção<sup>5</sup>. A velocidade máxima do ar considerada aceitável é entre 0.5 e 2.5 m/s, porém o limite superior foi estabelecido por proporcionar desarranjos nos ambientes, como voos de papel e outros, e não por questão fisiológica. Portanto, em climas quentes e úmidos o conforto proporcionado pela ventilação compensa estes desarranjos; porém em climas frios e temperados, o movimento do ar contínuo pode provocar desconforto (BITTENCOURT E CÂNDIDO, 2015, p. 18-21). Existe ainda um estudo realizado por Francis Beaufort que criou uma escala, de 0 a 12, sobre a influência das diferentes velocidades dos ventos no mar, posteriormente aplicada aos objetos da terra, desde a movimentação de galhos de árvores e papéis soltos (19 a 26 km/h) a danos na estrutura de prédios (78 a 90 km/h) e grandes estragos (acima de 105 km/h) (MARINHA DO BRASIL, s/d). Entretanto, a abordagem de Beaufort aplica-se principalmente a estudos do meio urbano do que nas edificações.

A vestimenta (resistência térmica da roupa, medida em *clo*), a atividade desenvolvida pelo usuário (taxa metabólica, medida em  $W/m^2$  ou *met*) também determinam a sensação de conforto térmico. A seguir, as tabelas 3 e 4 demonstram alguns valores de referência para estes parâmetros.

---

<sup>5</sup> Convecção é a transferência de calor através de um fluido que ocorre devido ao movimento do próprio fluido.



## **1.4 MÉTODOS, PROGRAMAS E CERTIFICAÇÕES**

Buscando sistematizar e normatizar parâmetros para a eficiência energética nas edificações, foram desenvolvidos programas e métodos no Brasil e em outros países, dos quais os principais serão registrados a seguir:

### **1.4.1 Procel Edifica**

O Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações – Procel Edifica, foi criado em 2003 pela ELETROBRAS/PROCEL para promover o uso racional da energia elétrica em edificações, reduzindo os desperdícios e os impactos sobre o meio ambiente. O Procel Edifica também utiliza a ENCE para etiquetar edificações que são submetidas à avaliação de forma voluntária e podem ser classificadas do nível "A" (mais eficiente) até o nível "E" menos eficiente. A ENCE considera uma classificação geral para a edificação, dada a partir da avaliação e classificação de três sistemas para edificações comerciais, de serviços e públicas (iluminação, envoltória e condicionamento do ar) ou dois sistemas para edificações residenciais (envoltória e aquecimento de água). Esta avaliação é feita tanto na fase desenvolvimento de projeto como também após a conclusão da obra (CENTRO BRASILEIRO..., s/d).

Como já registrado na Introdução, a partir de junho de 2014, com a publicação da Instrução Normativa Nº 02 do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, o Brasil tornou obrigatório que os novos edifícios públicos federais com mais de 500m<sup>2</sup> sejam construídos com nível "A" de eficiência energética (BRASIL, 2014). A metodologia de avaliação da conformidade está descrita no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais (RTQ-R) publicados pelo PBE Edifica.

### **1.4.2 Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM)**

O BREEAM é um método para avaliação criado no Reino Unido, mas com uma metodologia adaptável a todo o mundo pois alia-se à legislação local. O BREEAM avalia os seguintes critérios com diferentes pesos:

- a) Gerenciamento - 12%
- b) Saúde e bem estar - 15%
- c) Energia - 19%
- d) Transporte - 8%
- e) Água - 6%
- f) Materiais - 12,5%
- g) Resíduos - 7,5%
- h) Uso da terra e ecologia - 10%
- i) Poluição - 10%

A classificação baseia-se na pontuação acumulada e pode-se alcançar os conceitos: *Pass* (Aprovado) / *Good* (Bom) / *Very Good* (Muito Bom) / *Excellent* (Excelente) / *Outstanding* (Excepcional) (SALGADO, CHATELET, FERNADEZ, 2012).

### **1.4.3 Haute Qualité Environnementale (HQE)**

O método francês foi criado em 1996 pela Associação *Haute Qualité Environnementale* (Alta Qualidade Ambiental) por meio de um relatório contendo recomendações ou alvos ambientais em quatro categorias a serem atendidos pelo arquiteto ou engenheiro, no desenvolvimento dos projetos das edificações. As quatro categorias são:

- (a) ecoconstrução;
- (b) ecogestão: incluindo a gestão da energia, da água, dos rejeitos da obra, assistência técnica e manutenção;
- (c) conforto (térmico, acústico, visual); e
- (d) saúde (qualidade do ar e da água) (SALGADO, CHATELET, FERNADEZ, 2012, p. 82).

Cada categoria se desdobra em alvos com várias exigências e recomendações. Estas recomendações se aplicam de forma diferenciada conforme o tipo de projeto, terreno e

peculiaridades de cada edificação, não existindo, portanto, uma única solução ideal. A metodologia HQE tem sido considerada na França como uma exigência nas concorrências públicas (SALGADO, CHATELET, FERNANDEZ, 2012, p. 83-89).

#### **1.4.4 *Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)***

O método LEED, criado nos Estados Unidos, é um sistema internacional de certificação e orientação ambiental, atualmente utilizado em 143 países. O objetivo é incentivar a transformação dos projetos, obra e operação das edificações, sempre com foco na sustentabilidade de suas atuações (CGB BRASIL, s/d).

No LEED são avaliadas 7 dimensões das edificações. Todas elas possuem pré-requisitos (práticas obrigatórias) e créditos, recomendações que quando atendidas garantem pontos a edificação. A pontuação alcançada classifica a edificação em certificada, prata, ouro ou platina. As dimensões avaliadas pelo LEED são: Espaço sustentável; Eficiência do uso da água; Energia e atmosfera; Materiais e recursos; Qualidade ambiental interna; Inovação e processos; e créditos de prioridade regional (CGB BRASIL, s/d).

Salgado, Chatelet e Fernandez (2012) afirmam que os métodos BREEAM e LEED baseiam-se na atribuição de créditos conforme o desempenho alcançado pela proposta. No método inglês, a equipe de projeto é livre para escolher quais critérios irão atender para alcançar a pontuação necessária à certificação; enquanto o método norte-americano possui pré-requisitos que devem ser todos atendidos, além de uma pontuação mínima em cada requisito. O método LEED foi o primeiro a ser aplicado no Brasil, em 2007. A metodologia HQE foi adaptada ao Brasil resultando na certificação Aqua, em 2009.

Existem também métodos brasileiros, entre os quais se destaca o Selo Azul da Caixa Econômica Federal, criado em 2010. O selo é aplicado aos projetos habitacionais que são financiados pela Caixa para verificação da viabilidade do empreendimento. As edificações são avaliadas em 6 categorias, que incluem caráter social como investimento em educação e gestão de resíduos sólidos. Este selo supera os estrangeiros no aspecto social, os quais não se verificam nos demais métodos revelando, portanto, que o Brasil avança ao tratar a sustentabilidade também sob o aspecto social (SALGADO, CHATELET E FERNANDEZ, 2012).

Em todos os métodos apresentados os critérios de avaliação podem ser divididos em técnicos e organizacionais, ambos fundamentais para a construção sustentável. No que se refere ao “produto-edificação” em todo o seu ciclo de vida, da concepção até a demolição, aplicam-se os critérios técnicos, e com relação às práticas cotidianas e operacionais que precisam ser definidas no projeto integrado aplicam-se os critérios organizacionais. Entende-se que os métodos apresentados contribuem para orientar empreendedores, arquitetos, engenheiros e construtores sobre os aspectos que devem ser analisados para que a edificação seja sustentável (SALGADO, CHATELET E FERNANDEZ, 2012).

Quanto à eficiência energética, os métodos abordados podem ser utilizados como parâmetros projetuais, ainda que não sejam adotadas as certificações, pois trazem referências de bons desempenhos em diferentes áreas. Considerando o cenário atual onde existe a obrigatoriedade de comprovação de desempenho técnico para as edificações federais, e a tendência futura de extensão desta exigência para as outras esferas e setores, faz-se necessário o conhecimento e adoção destes parâmetros pelos arquitetos e urbanistas, bem como os demais envolvidos na construção civil.

## **1.5 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL APLICADA**

O avanço da tecnologia da informação e comunicação, com o desenvolvimento de *softwares* específicos para diversas áreas, influenciou o processo de projeto das edificações. Atualmente dispomos de diversos instrumentos de modelagem e simulação computacional que podem auxiliar a concepção do projeto arquitetônico, avaliando as diversas soluções para que a proposta final obtenha os níveis de eficiência e qualidade ambiental requerido pelos diversos métodos.

Com relação à simulação da eficiência energética, Didoné e Pereira (2010, p. 139) afirmam que "a avaliação do desempenho energético de edificações é uma tarefa complexa que envolve grande quantidade de variáveis interdependentes e conceitos multidisciplinares". Por isto o uso de simulações computacionais permite realizar a análise de diversos cenários ainda na fase de projeto, ou mesmo após a construção, que seriam demasiadamente demorados e desgastantes, viabilizando a melhoria da qualidade dos projetos.

Este mesmo pensamento já havia sido defendido por Mendes *et al* (2005, p. 48): "com a simulação computacional, pode-se estimar o consumo de energia, o custo desse consumo e

até mesmo o impacto ambiental provocado pela alternativa de projeto antes mesmo de sua execução".

Existem programas computacionais específicos para a simulação do desempenho térmico e energético, que analisam as edificações de forma geral e também por sistemas como: geometria do projeto arquitetônico, componentes e materiais construtivos, sistemas de iluminação e sistemas de condicionamento de ar (MENDES *et al*, 2005).

No portal oficial do PROCEL (CENTRO..., s/d), existe uma lista com indicação de 41 simuladores úteis para projetos de eficiência energética com os respectivos *links* para acesso. Em geral, essas ferramentas possuem bases de dados onde é possível carregar dados climáticos, horários de diversas localidades, o que permite que sejam representadas as situações de exposição da edificação a fatores como temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar e ventos. Dentre os *softwares* específicos de eficiência energética destacamos:

- a) **Design Builder** – é um programa para modelagem de edifícios e simulações de desempenho ambiental, desde as fases iniciais de desenvolvimento do projeto. É integrado à ferramenta Energy Plus, desenvolvida pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, e permite analisar sistemas de aquecimento e resfriamento, iluminação, e ventilação, de forma a quantificar o seu consumo de energia. Com interface simples, ele fornece informações detalhadas, imagens e animações do projeto, além do acesso aos resultados com facilidade. (CENTRO..., s/d)
- b) **Ecotec** – surgiu como uma demonstração de ideias contidas na tese do Dr. Andrew Marsh na Faculdade de Arquitetura e Belas Artes da Universidade da Austrália Ocidental. O primeiro lançamento comercial ocorreu em 1996, e em 2009 o *software* foi adquirido pela Autodesk. Faz simulações de sombras e reflexos, análise solar, iluminação, térmica, acústica e ventilação.
- c) **SE3** - O Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), disponibiliza o programa para uso, de forma livre para fins educativos. Trata-se de uma ferramenta viabilizada como um site na internet, que realiza simulação de eficiência energética utilizando como simulador o Energy Plus. O Simulador S3E é uma ferramenta que permite avaliar o nível de eficiência energética de edificações comerciais, segundo o Programa Brasileiro de Etiquetagem (RTQ-C) (S3E, s/d). Uma das ferramentas disponíveis é o WebPrescritivo, que permite o cálculo da eficiência energética pelo método prescritivo do RTQ-C a partir da inserção dos dados da edificação.

- d) **Domus – Procel Edifica** - primeiro *software* nacional de simulação higrótérmica e energética de edificações que fornece perfis de temperatura e umidade nas paredes para qualquer intervalo de tempo, além de apresentar valores de temperatura e umidade relativa para cada zona de uma ou mais edificações, considerando não apenas o transporte de calor, mas, também, de vapor e de líquido através do envoltório da edificação. Pode-se também obter e/ou visualizar a ENCE de acordo com o RTQ-C, tanto pelo método prescritivo quanto pelo método de simulação.

Apesar de existirem diversas opções de simuladores de eficiência energética, Freire e Amorim (2011) afirmam que "a maior parte dessas ferramentas está distante do cotidiano de escritórios de arquitetura, ficando seu uso ainda restrito aos especialistas do setor", pois existe uma "resistência por parte dos projetistas em utilizar ferramentas de avaliação, principalmente aquelas que tratam das variáveis apenas por valores numéricos". Da mesma forma Mendes *et al* (2005) já concordava que a simulação está afastada do cotidiano dos escritórios: "o uso de simulação de edificações no Brasil ainda está concentrado nas instituições de ensino e pesquisa". Segundo os autores é necessária "a elaboração de interfaces simplificadas, que reduzam o tempo gasto na modelagem e análise de diferentes alternativas ainda na etapa de anteprojeto, na qual são assumidos os conceitos principais, que poderão sofrer poucas alterações no decorrer do projeto" (MENDES *et al*, 2005, p. 59).

Na última década vem se consolidando o paradigma projetual da **Modelagem de Informação da Construção** (*Building Information Modeling* - BIM), o qual se caracteriza pela construção digital de modelo preciso da edificação que "contém a geometria exata e os dados relevantes necessários para dar suporte à construção, à fabricação e ao fornecimento de insumos necessários para a realização da construção" (EASTMAN *et al*, 2014, p. 14).

Santos (2009) entende que é possível afirmar que tecnologia BIM é um conceito que abarca a modelagem, a mais ampla possível, de todas as informações da edificação pela criação de um modelo digital integrado envolvendo todas as disciplinas envolvidas (arquitetura, hidráulica, elétrica, telefonia, condicionamento de ar, estrutura, orçamentação, etc.) e que cobre todo o ciclo de vida da edificação.

Para Freire e Amorim (2011)

Na fase de projeto, mais do que uma ferramenta de representação, a tecnologia BIM propicia ao arquiteto a possibilidade de conceber um modelo parametrizado, o que permite que visualize a volumetria, verifique os impactos da incidência solar, quantifique e qualifique o material aplicado, observando e ajustando variáveis do conforto ambiental e outros aspectos associados. Isso pressupõe uma nova abordagem para o projeto arquitetônico, exigindo uma atualização na qualificação dos profissionais de arquitetura para a correta aplicação dessas ferramentas ao longo de todo o processo de projeto e observando os requisitos relacionados a essa aplicação.

É possível afirmar, portanto, que o paradigma projetual BIM amplia as possibilidades de simulação computacional voltada à avaliação de desempenho energético uma vez que com o modelo digital único, contendo todas as informações da futura edificação, o projetista tem a possibilidade de testar soluções e especificações de maneira mais dinâmica, interativa e precisa.

É preciso explorar os instrumentos de simulação computacional para promover a maior utilização dos recursos com menor consumo de energia, desde a concepção do projeto e avaliar após a construção e operação do edifício criando sistemas de retroalimentação, e buscando a melhoria contínua do processo de projeto.

## 2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho caracterizou-se por uma pesquisa aplicada, visto que os resultados buscados pela autora poderão ser utilizados na prática profissional para a solução de problemas reais do cotidiano da profissão. A abordagem da pesquisa combinou a forma quantitativa – com caracterização numérica dos fatores climáticos e de consumo energético – com a forma qualitativa, onde foram observados o conforto ambiental e a adequação dos sistemas adotados às atividades desenvolvidas. Quanto ao objetivo, tratou-se de uma pesquisa descritiva e explicativa com procedimento de estudo de caso – projeto arquitetônico padrão de *Campus* do IFPE.

A pesquisa foi desenvolvida em seis etapas:

- 1) Seleção do método de avaliação da eficiência energética: após estudo sobre os principais métodos, selecionou-se o PBE Edifica por ser o instrumento avaliativo que está sendo adotado pelos organismos de inspeção acreditados pelo Inmetro em cumprimento à Instrução Normativa N°02/MPOG – 2014.
- 2) Delimitação do objeto de estudo e levantamento de dados: escolha das edificações que compõem o projeto arquitetônico padrão para *campus* do IFPE para fins da avaliação.
- 3) Definição das localidades onde serão construídos *campus* do IFPE: escolha de cidade em diferentes zonas bioclimáticas do estado de Pernambuco.
- 4) Aplicação do PBE Edifica para avaliação de eficiência energética nos blocos Administrativo e Sala de Aula, objetos de estudo de caso.
- 5) Simulação computacional: seleção do *software* para simulação da eficiência energética e aplicação do mesmo aos modelos tridimensionais das edificações em estudo.
- 6) Compilação e análise de resultados: síntese das simulações computacionais, comparação dos resultados com os obtidos pela aplicação do método PBE Edifica, verificação dos fatores que contribuíram para o desempenho obtido, identificação dos pontos negativos e positivos, culminando com reflexão sobre as decisões de projeto que poderiam ter contribuído para um melhor nível de desempenho energético.

## 2.1 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A metodologia adotada para avaliação da eficiência energética nas edificações foi a indicada pelo PBE Edifica, a qual está sendo adotada pelos Organismos de Inspeção Acreditados (OIA) pelo Inmetro para avaliação exigida na Instrução Normativa N°02 do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, de junho de 2014. Os Organismos de Inspeção realizam a avaliação através da análise de documentos obrigatórios, entre eles: os projetos arquitetônicos, de instalações elétricas, de climatização e respectivos memoriais descritivos e de cálculo.

O cálculo do nível de eficiência energética acontece para três sistemas, com diferentes pesos na avaliação geral:

- **Envoltória**, que se refere às características arquitetônicas (30%);
- **Sistema de Iluminação** referente à densidade de potência de iluminação artificial (30%), e
- **Sistema de Condicionamento de Ar**, referente à eficiência dos equipamentos (40%).

A avaliação pode ser realizada de forma parcial de três maneiras: (1) apenas envoltória, (2) envoltória e sistema de iluminação, (3) envoltória e sistema de condicionamento de ar, ou seja, **a avaliação da envoltória é obrigatória**, devido à sua influência no desempenho dos demais sistemas. Considerando a importância da avaliação da envoltória e a relação profissional da autora com este aspecto, foi delimitado para esta pesquisa que a avaliação realizada seria parcial da envoltória das edificações selecionadas.

A avaliação da envoltória é realizada a partir de parâmetros definidos para cada Zona Bioclimática, que levam em consideração dados da edificação quantificáveis a partir do projeto arquitetônico, como áreas, volumes e ângulos de sombreamento, e outros que podem ser obtidos no memorial descritivo, referentes às especificações de materiais construtivos.

O RTQ-C indica dois possíveis métodos de avaliação: o prescritivo, por meio de equações e o de simulação computacional, através de *softwares*.

Nesse estudo foi utilizado o *software* de simulação higrótérmica e energética de edificações Domus - Procel Edifica. As edificações estudadas foram primeiramente modeladas tridimensionalmente, inseridas informações construtivas e climáticas, configurados os horários de funcionamento e períodos de simulação para que o programa simulador

fornece a correspondente Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), de acordo com o RTQ-C.

## 2.2 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

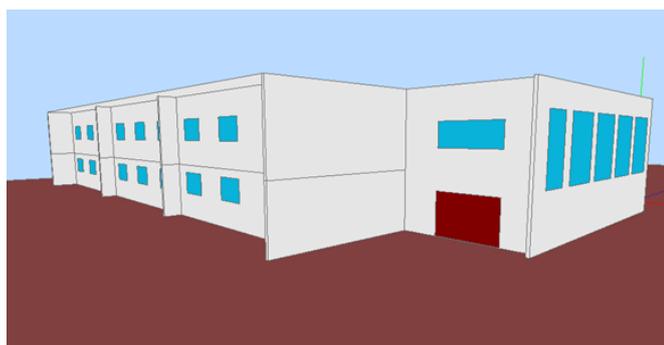
O projeto arquitetônico padrão dos *campi* do IFPE para a 3ª expansão da Rede Federal de Educação Tecnológica possui dez blocos, quais sejam: guarita, administrativo, auditório, biblioteca, salas de aula, dois blocos de laboratórios (sendo um térreo e outro com dois pavimentos), convivência, banheiros e rampa.

Tendo em vista que as avaliações de eficiência energética pelo método do Procel Edifica são realizadas por edificação individualmente, não havendo classificação para um conjunto, selecionaram-se duas edificações do projeto padrão para estudo da eficiência energética: os blocos Administrativo e Sala de Aula. Tais edificações foram selecionadas por serem os usos principais e essenciais num *campus*. Ainda aliado ao fato de que em ocasiões anteriores, por limitações de recursos na construção, alguns *campi* iniciaram seu funcionamento apenas com estas duas edificações.

Realizou-se um levantamento de dados das edificações utilizando a documentação do projeto arquitetônico, memorial descritivo e imagens.

O bloco administrativo é uma edificação de dois pavimentos com forma semelhante a um prisma retangular medindo aproximadamente 14m de largura, 36m de comprimento e 6m de altura. Sua organização funcional compreende uma circulação central longitudinal e salas administrativas em ambos os lados (Figuras 9, 10, 11 e 12). A circulação vertical é realizada por uma escada centralizada no edifício e por uma rampa que é um volume em anexo (Figuras 9, 10, 11 e 12).

Figura 9: Modelo 3D do bloco administrativo



Fonte: Domus.



Figura 12: Planta baixa pavimento superior do bloco administrativo

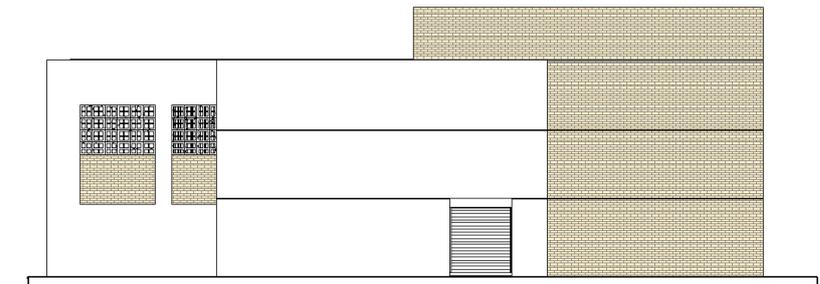


Fonte: Departamento de Obras e Projetos/IFPE, adaptado.

O acesso é realizado por duas portas duplas em chapa de aço com pintura anodizada branca, uma em cada extremidade da circulação central, porém recuadas e sombreadas totalmente. As demais aberturas são janelas basculantes nas salas administrativas e janelas altas nos banheiros, em alumínio prata fosco e vidro comum incolor de 4mm.

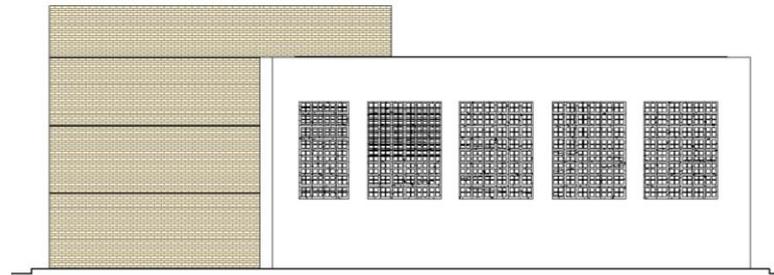
Como proteções solares, possui beirais de 1,30m e protetores verticais nas fachadas longitudinais que sobreiam parcialmente as janelas das salas administrativas. Quanto aos acabamentos, as fachadas possuem trechos de textura acrílica nas cores branca e rubi e trechos revestidos com tijoletes de litocerâmica (Figuras 13, 14, 15 e 16). O piso é em granilite branco e as paredes internas com acabamento em pintura cor branca.

Figura 13: Fachada 01 - bloco administrativo



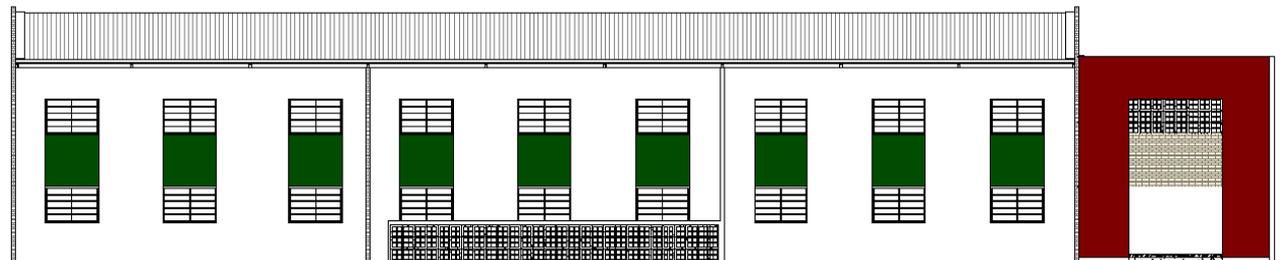
Fonte: Departamento de Obras e Projetos/IFPE, adaptado.

Figura 14: Fachada 02 - bloco administrativo



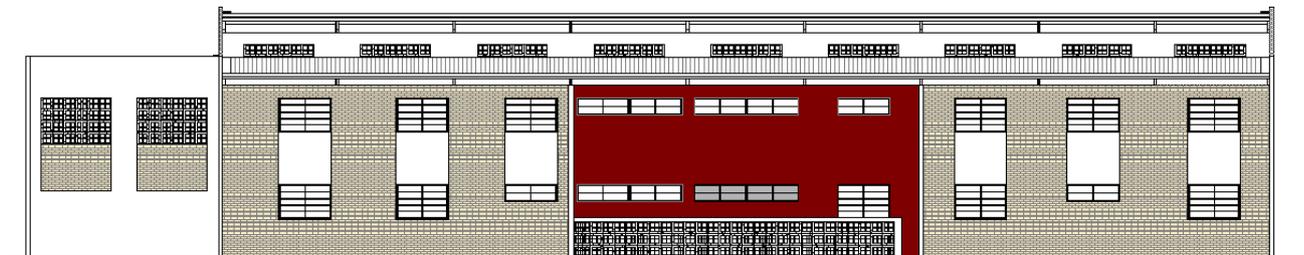
Fonte: Departamento de Obras e Projetos/IFPE, adaptado.

Figura 15: Fachada 03 - bloco administrativo



Fonte: Departamento de Obras e Projetos/IFPE, adaptado.

Figura 16: Fachada 04 - bloco administrativo



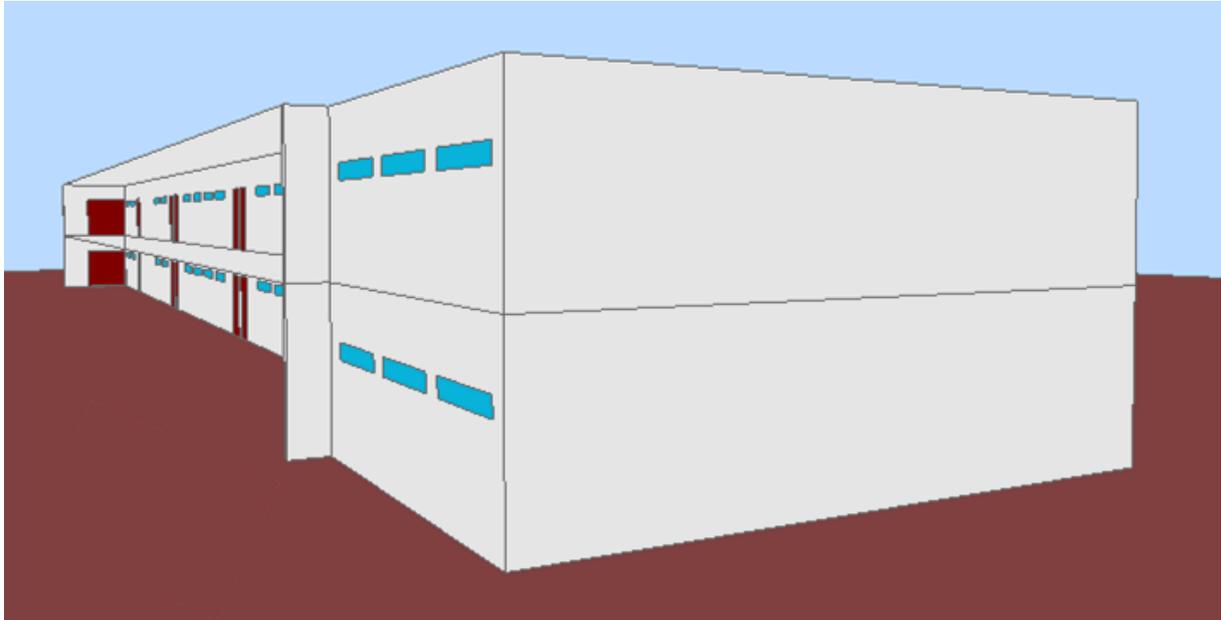
Fonte: Departamento de Obras e Projetos/IFPE, adaptado.

O bloco de salas de aula é uma edificação de dois pavimentos com forma semelhante a um prisma retangular medindo aproximadamente 10m de largura, 60m de comprimento e 6m de altura. Sua organização funcional compreende uma circulação longitudinal e salas de aula em um dos lados da circulação (Figuras 17, 18 ,19 e 20). A circulação vertical é realizada por duas escadas.

A cobertura é composta por telhado de uma água de telhas metálicas termoacústicas com preenchimento em EPS de 40mm na cor branca, encoberta por platibandas em três fachadas e aparentes em uma fachada longitudinal. Possui laje em concreto de espessura de 0.15m entre os pavimentos e forro de PVC em todos os ambientes, com exceção da circulação.

O acesso é realizado de forma livre pela circulação aberta. Todas as salas de aula possuem janelas basculantes voltadas para o exterior e janelas altas voltadas para a circulação, ambas em alumínio prata fosco e vidro comum incolor de 4mm.

Figura 17: Modelo 3D do bloco salas de aula



Fonte: Domus.

Figura 18: Planta de cobertura do bloco salas de aula



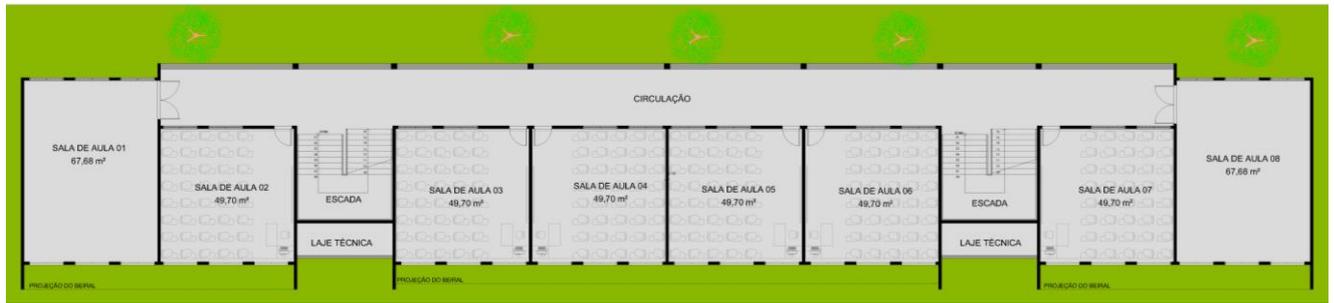
Fonte: Departamento de Obras e Projetos/IFPE, adaptado.

Figura 19: Planta baixa pavimento térreo do bloco salas de aula



Fonte: Departamento de Obras e Projetos/IFPE, adaptado.

Figura 20: Planta baixa pavimento superior do bloco salas de aula

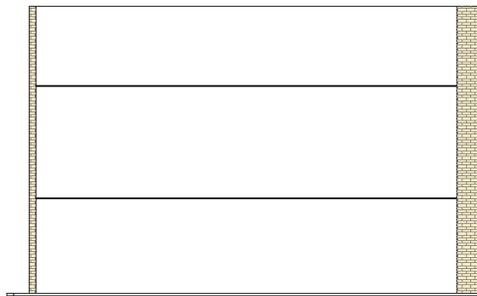


Fonte: Departamento de Obras e Projetos/IFPE, adaptado.

Como proteções solar, possui beiral de 1,30m e protetores verticais em uma das fachadas longitudinais que sobreiam parcialmente as janelas das salas administrativas. A circulação coberta funciona como uma varanda sombreando o acesso às salas de aula.

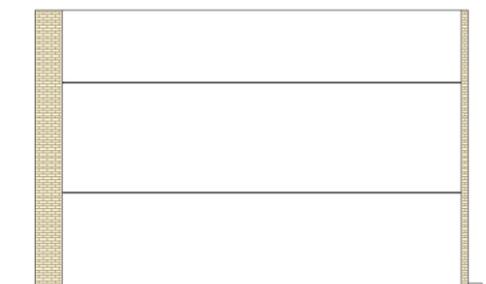
Quanto aos acabamentos, as fachadas são majoritariamente em textura acrílica na cor branca e com trechos em textura acrílica verde escura e, ainda, outros revestidos com tijoletes de litocerâmica (Figuras 21, 22, 23 e 24). O piso é em granilite branco e as paredes internas com revestimento em cerâmica 0.10x0.10m até 1.20m de altura e pintura cor branca na parte superior.

Figura 21: Fachada 01 - bloco salas de aula



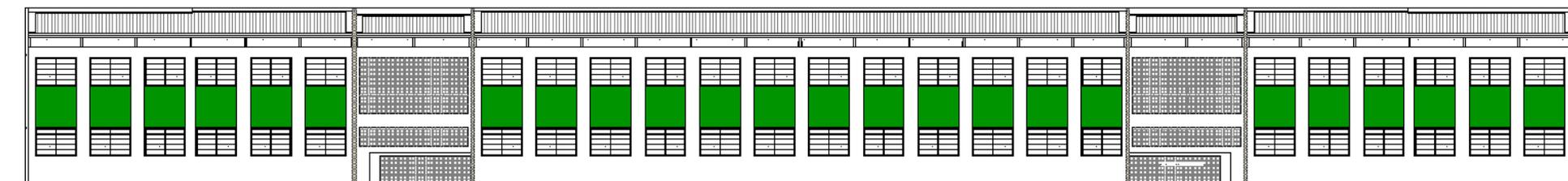
Fonte: Departamento de Obras e Projetos/IFPE, adaptado.

Figura 22: Fachada 02 - bloco salas de aula



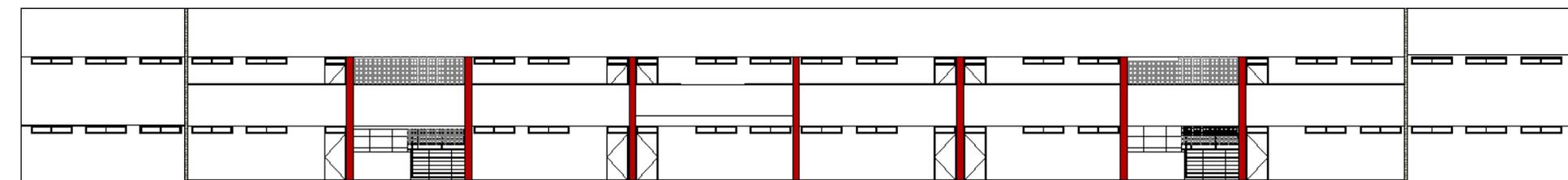
Fonte: Departamento de Obras e Projetos/IFPE, adaptado.

Figura 23: Fachada 03 - bloco salas de aula



Fonte: Departamento de Obras e Projetos/IFPE, adaptado.

Figura 24: Fachada 04 - bloco salas de aula



Fonte: Departamento de Obras e Projetos/IFPE, adaptado.

Os projetos arquitetônicos dos blocos administrativo e salas de aula estão disponíveis para consulta no Anexo A

## 2.3 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DAS CIDADES

As edificações objeto de estudo fazem parte de um projeto padrão de um *campus*, que inicialmente será construído em terrenos com características diversas nas cidades de Abreu e Lima, Jaboatão dos Guararapes, Olinda, Paulista, Igarassu e Palmares, e futuramente, pode ainda vir a ser implantado em outras cidades pernambucanas com perfis bioclimáticos distintos e determinantes no desempenho da eficiência energética.

De acordo com o Anexo A da NBR 15220-3, que classifica algumas cidades brasileiras conforme a zona bioclimática, Pernambuco possui representantes em 4 zonas bioclimáticas (Figura 25), e a Revisão do zoneamento bioclimático (RORIZ, 2012) indica que Pernambuco possui representantes em 5 zonas bioclimáticas. Entretanto, o RTQ-C utiliza o zoneamento bioclimático da NBR 15220-3. Portanto, este zoneamento foi o adotado nesta pesquisa. Poucos são os dados climáticos disponíveis para realizar a simulação computacional. Dados de algumas cidades estão disponíveis no *software* Domus e outros no site do LABEEE, podendo ser importados (Tabela 5).

Tabela 5: Cidades pernambucanas com dados climáticos disponíveis e respectivas Zonas Bioclimáticas

Cidade	Zona Bioclimática (2003)
Garanhuns	5
Serra Talhada	6
Arcoverde	7
Cabrobó	7
Petrolina	7
Floresta	7
Caruaru	8
Palmares	8
Recife	8
Surubim	8
Ibimirim	8

Fonte: NBR 15220-3 (2003); DOMUS 2.3.5, ZBBR 1.1.

Figura 25: Zoneamento bioclimático de Pernambuco



## Legenda

- Zona Bioclimática 5
- Zona Bioclimática 6
- Zona Bioclimática 7
- Zona Bioclimática 8

Buscando a maior abrangência de variação climática com os dados disponíveis e considerando a classificação bioclimática da NBR 15220-3, selecionaram-se 4 cidades para simular as edificações: **Garanhuns** - representante da zona bioclimática 5; **Serra Talhada**, representante da zona bioclimática 6; **Arcoverde** - representante da zona bioclimática 7; e **Recife** - representante da zona bioclimática 8; as cidades de Recife e Garanhuns mesmo já possuindo um *campus* do IFPE, pode servir como estudo para as demais cidades da mesma zona bioclimática<sup>6</sup>.

Nesta seção, buscou-se caracterizar o perfil climático das cidades nas quais foram realizadas as simulações computacionais de eficiência energética tendo em vista a relação entre o clima local e o desempenho térmico das edificações.

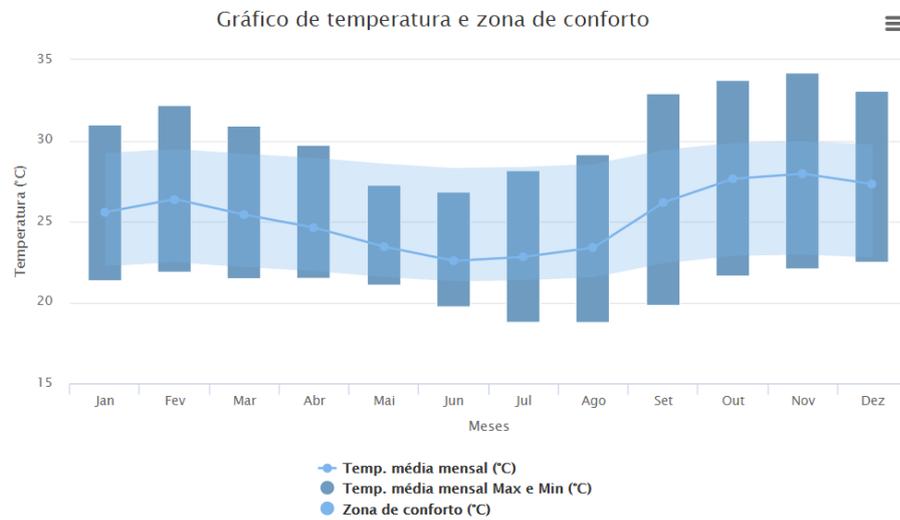
Para cada cidade foram analisados e comparados os dados de temperatura, umidade e ventilação predominante, obtidos através dos arquivos climáticos disponíveis no site do ProjetEEE e LABEEE/UFSC construídos com base em dados do INMET 2015.

A cidade de Garanhuns registra temperaturas entre 16,38°C e 29,62°C, apresentando temperaturas inferiores à zona de conforto em todos os meses do ano e superiores no verão (Gráfico 1). A cidade de Serra Talhada registra temperaturas entre 18,76°C e 32,28°C, apresentando temperaturas inferiores à zona de conforto em todos os meses do ano e superiores de setembro a abril (Gráfico 2). A cidade de Arcoverde registra temperaturas entre 16,53°C e 29,27°C, apresentando temperaturas inferiores à zona de conforto em todos os meses do ano, ocorrendo majoritariamente na madrugada e superiores de setembro a abril (Gráfico 3). A cidade de Recife apresenta temperaturas entre 21,5°C e 28,9°C, estando majoritariamente dentro da zona de conforto, com exceção de algumas ocorrências no mês de julho (Gráfico 4).

---

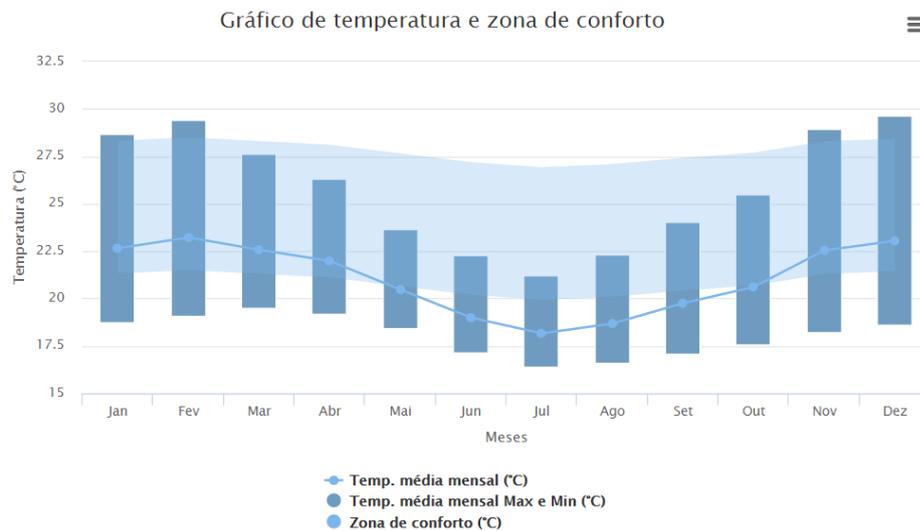
<sup>6</sup> Salienta-se que existem outras classificações climáticas que divergem da NBR 15220. De acordo com o Anuário Estatístico de Pernambuco (CONDEPE/FIDEM, 2015), Serra Talhada e Arcoverde possuem a mesma classificação – Clima Tropical Quente e Seco (semiárido); enquanto Garanhuns é classificado como Clima Tropical Quente e Sub-úmido, e Recife Clima Tropical Quente e Úmido. Nesta classificação existe ainda o Clima Tropical de Altitude (brejos), representado por cidades como: Pesqueira, Belo Jardim e Sanharó.

Gráfico 1: Temperaturas médias de Garanhuns



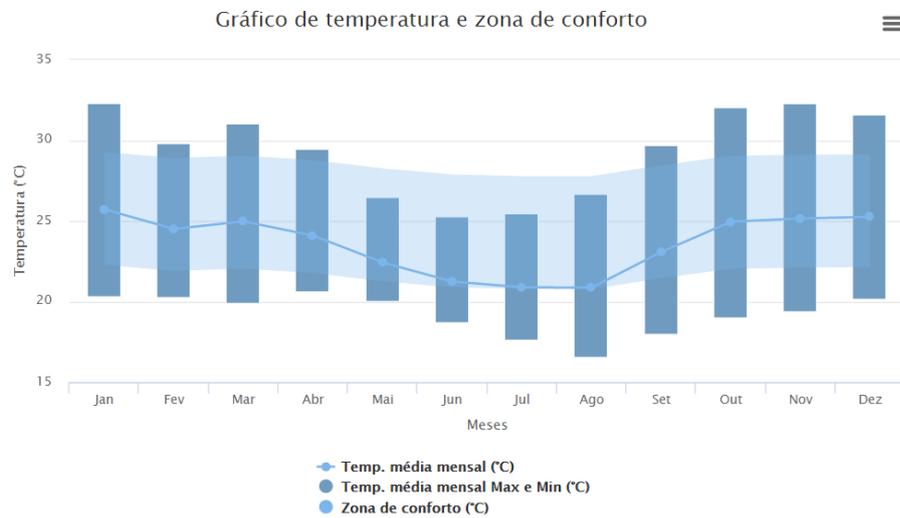
Fonte: PROJETEEE.

Gráfico 2: Temperaturas médias de Serra Talhada



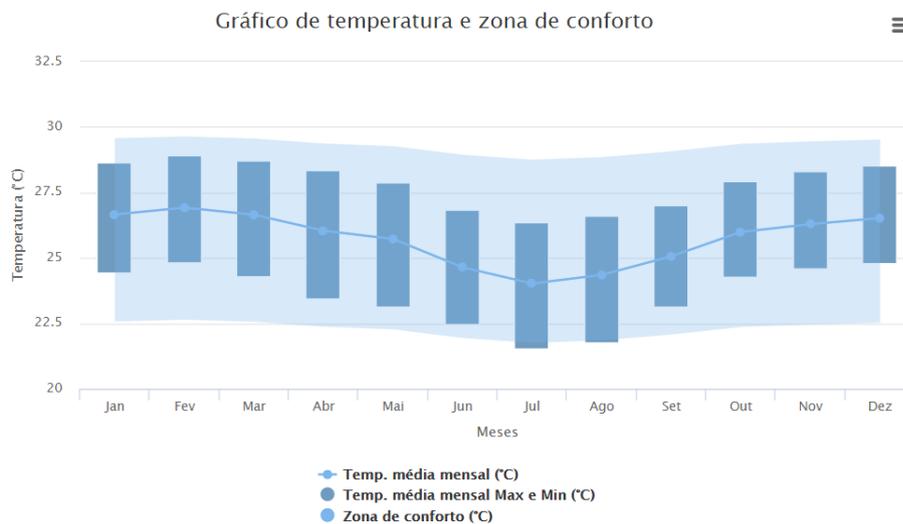
Fonte: PROJETEEE.

Gráfico 3: Temperaturas médias de Arcoverde



Fonte: PROJETEEE.

Gráfico 4: Temperaturas médias de Recife

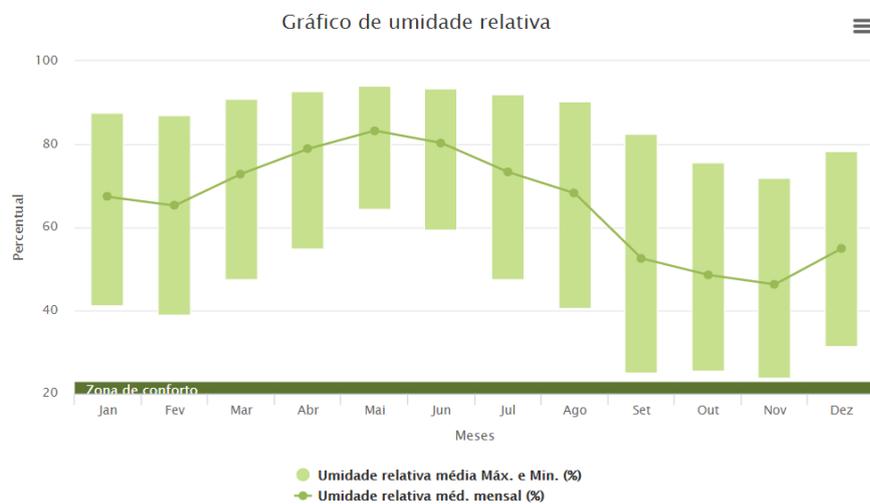


Fonte: PROJETEEE.

A umidade relativa do ar em Garanhuns varia entre 39% e 97,19%, e as direções predominantes da ventilação são, Sudeste - ano inteiro, Leste - de setembro a abril, e Nordeste - de novembro a abril (Gráfico 5 e 6). Em Serra Talhada, a umidade relativa do ar varia entre 23,73% e 93,94% e as direções predominantes da ventilação são, Sul - ano inteiro, Sudoeste -

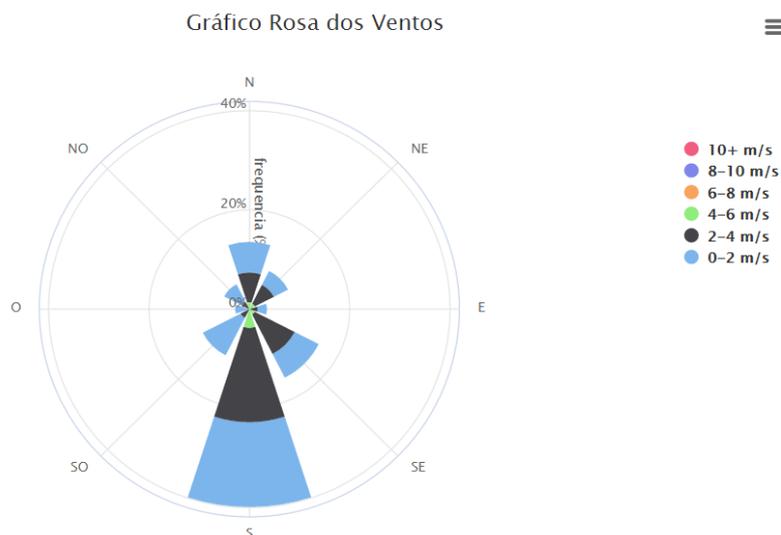
de janeiro a julho, e Norte - de setembro a abril (Gráfico 7 e 8). Em Arcoverde, a umidade relativa do ar varia entre 27,9% e 91,57% e as direções predominantes da ventilação são, Sudeste - ano inteiro, Leste - de setembro a abril, e Sul - janeiro a setembro (Gráfico 9 e 10). Devido às altas temperaturas, a ventilação natural nas cidades de Serra Talhada e Arcoverde podem provocar desconforto e, portanto, devem ser utilizadas de forma seletiva no verão. A umidade relativa do ar em Recife varia entre 67 e 95% e as direções predominantes da ventilação são: Sudeste - o ano inteiro, Sul - de abril a setembro e Leste - de outubro a março, conforme gráficos abaixo (Gráfico 11 e 12).

Gráfico 5: Umidade relativa de Garanhuns



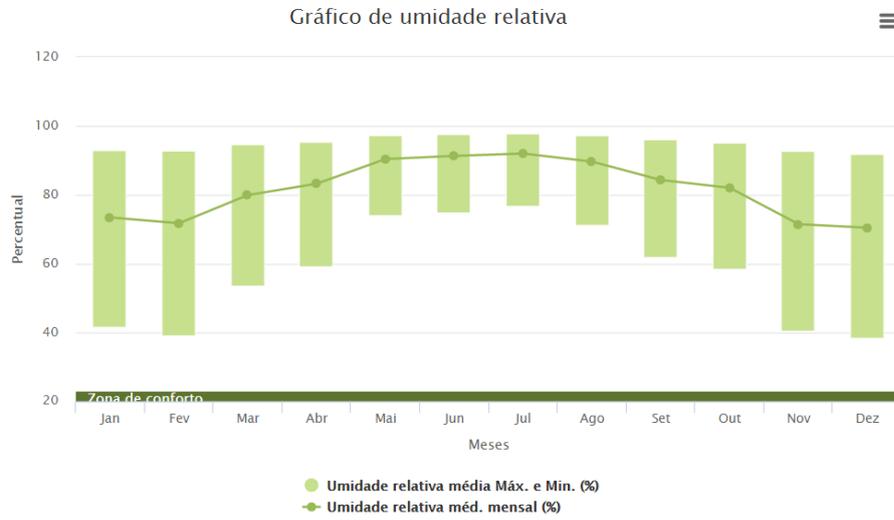
Fonte: PROJETEEE.

Gráfico 6: Rosa dos ventos de Garanhuns



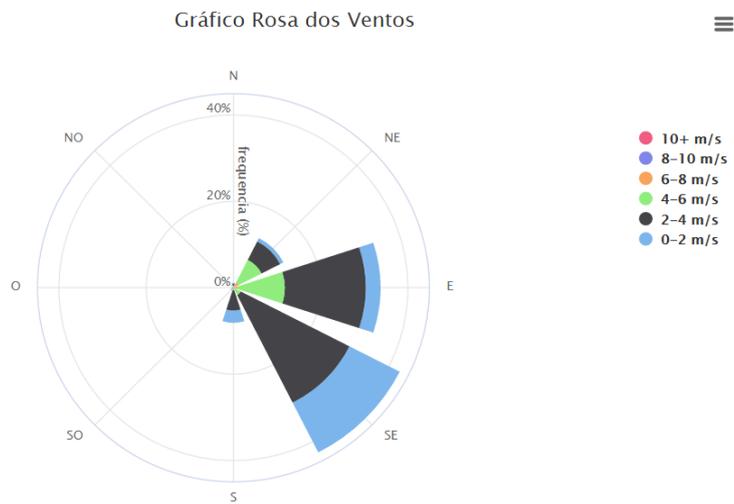
Fonte: PROJETEEE.

Gráfico 7: Umidade relativa de Serra Talhada



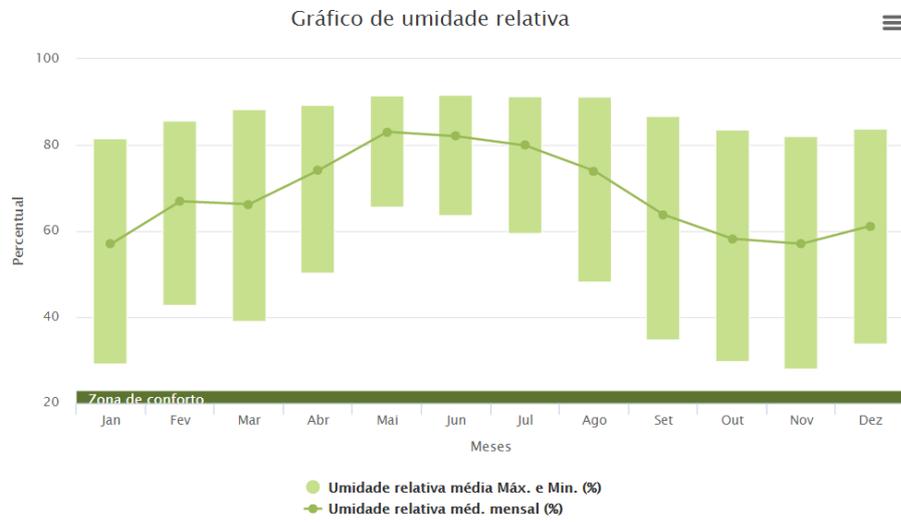
Fonte: PROJETEEE.

Gráfico 8: Rosa dos ventos de Serra Talhada



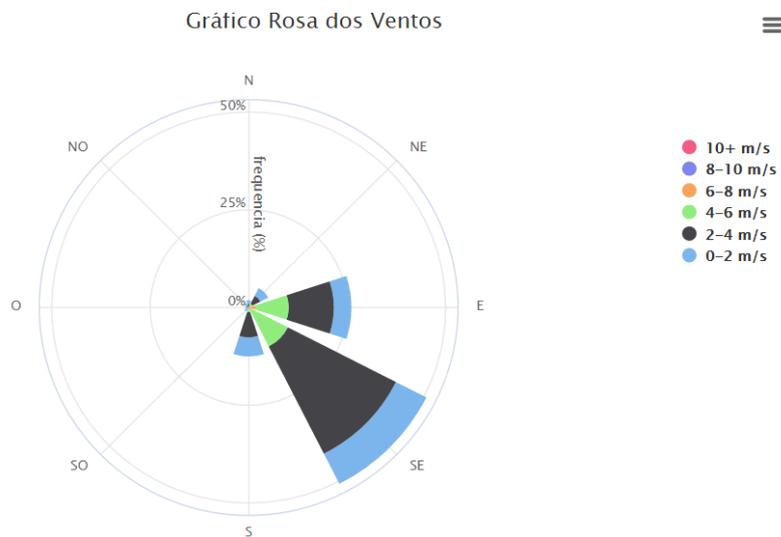
Fonte: PROJETEEE.

Gráfico 9: Umidade relativa de Arcoverde



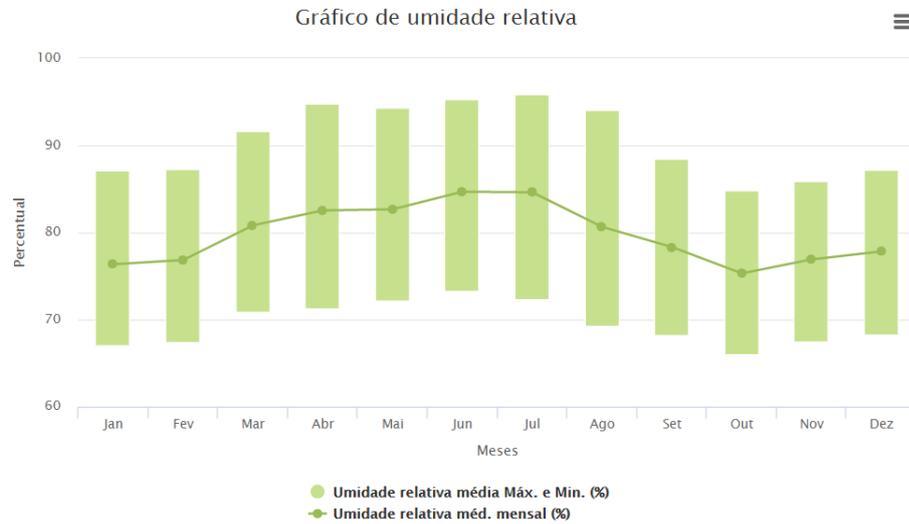
Fonte: PROJETEEE.

Gráfico 10: Rosa dos ventos de Arcoverde



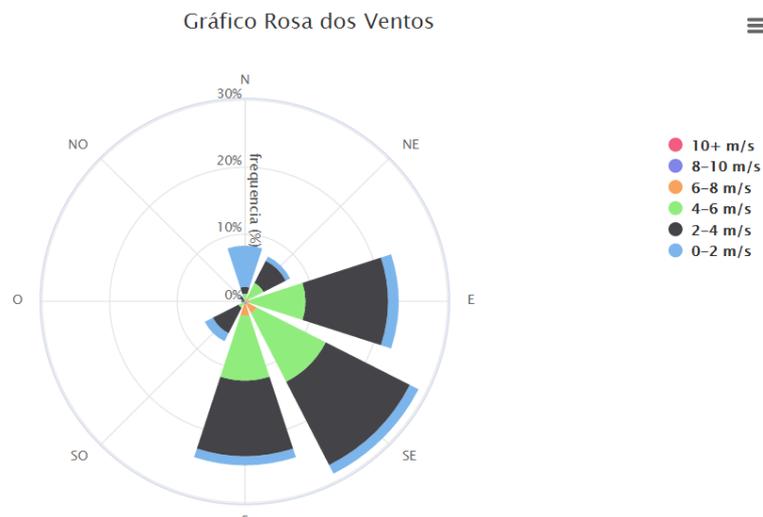
Fonte: PROJETEEE.

Gráfico 11: Umidade relativa de Recife



Fonte: PROJETEER.

Gráfico 12: Rosa dos ventos de Recife



Fonte: PROJETEER.

De acordo com a ferramenta Projeteer, em Garanhuns 30,61% das horas do ano estão em conforto, 22,13% das horas estão em desconforto por calor e 47,26% estão em desconforto por frio. Em Serra Talhada, 55,25% das horas do ano estão em conforto, 40,11% das horas estão em desconforto por calor e 4,63% estão em desconforto por frio. Em Arcoverde, 49,76% das horas do ano estão em conforto, 31,99% das horas estão em desconforto por calor

e 18,25% estão em desconforto por frio. Em Recife, 37,24% das horas do ano estão em conforto, 62,68% das horas estão em desconforto por calor e 0,08% estão em desconforto por frio (Tabela 6).

Tabela 6: Percentual de horas em conforto e desconforto nas cidades

<b>Percentual de horas em conforto e desconforto</b>				
	<b>Garanhuns</b>	<b>Serra Talhada</b>	<b>Arcoverde</b>	<b>Recife</b>
Horas em conforto	30,61%	55,25%	49,76%	37,24%
Horas em desconforto por calor	22,13%	40,11%	31,99%	62,68%
Horas em desconforto por frio	47,26%	4,63%	18,25%	0,08%

Fonte: PROJETEEE.

Para obtenção do conforto dos usuários recomenda-se utilizar as estratégias bioclimáticas relacionadas no quadro 4.

Quadro 4: Estratégias bioclimáticas para as cidades estudadas

<b>Estratégias bioclimáticas</b>			
<b>Garanhuns</b>	<b>Serra Talhada</b>	<b>Arcoverde</b>	<b>Recife</b>
Inércia térmica para aquecimento (48,95% das horas do ano)	Ventilação Natural (33,63% das horas do ano)	Ventilação Natural (29,18% das horas do ano)	Ventilação natural (62,52% das horas do ano)
Ventilação Natural (22,1% das horas do ano)	Sombreamento (14,35% das horas do dia)	Inércia térmica para aquecimento (19,44% das horas do ano)	Sombreamento (30,26% das horas do dia)
Sombreamento (8,04% das horas do dia)	Resfriamento evaporativo (12,75% das horas do ano)	Sombreamento (11,79% das horas do dia)	Resfriamento evaporativo (2,56% das horas do ano)

Fonte: PROJETEEE.

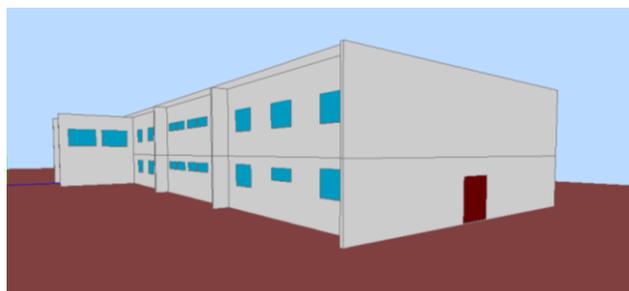
## 2.4 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A simulação computacional foi realizada usando-se o *software* Domus, escolhido por ser brasileiro, gratuito, e por produzir dados de consumo energético, temperatura e umidade, a partir de simulações. O programa demonstra confiabilidade nos resultados pois foi aprovado por validações experimentais e analíticas segundo a norma ASHRAE 1052-RP *Tookkit – Building Fabric Analytical Tests*, que avalia a transferência de calor, ganhos solares, infiltração, radiação de onda longa e ganhos internos, e segundo a norma ANSI/ASHRAE Standard 140-2007 – *Building Thermal Envelope and Fabric Load Tests*, que compara os programas de simulação e verificou que o Domus se aproxima de outros programas de simulação reconhecidos e testados internacionalmente (ABADIE, 2011 apud VELOSO,2012).

Além disso, o Domus foi o único *software* pesquisado que realiza classificação da eficiência energética através da metodologia do RTQ-C<sup>7</sup>. O programa incorpora em sua estrutura uma DLL (*Dynamic Link Library*) criada a partir do Regulamento Técnico, ao se configurar os componentes construtivos, o sistema de iluminação e condicionamento de ar no protótipo, a DLL é alimentada e assim, as etiquetas parciais e a geral são geradas de acordo com os requisitos estabelecidos pelo RTQ-C (VELOSO, 2012).

Cada edificação teve sua geometria modelada em um arquivo individualmente (Figuras 26 e 27). As edificações podem ser divididas em zonas, as quais podem ser avaliadas separadamente ou em conjunto. O bloco administrativo foi separado em três zonas, uma para o pavimento térreo, uma para o pavimento superior, e uma para o volume anexo da rampa, o qual foi considerado para questões de sombreamento do bloco sobre si mesmo, mas foi configurado para não gerar estatísticas tendo em vista sua ocupação transitória. O bloco de salas de aula foi separado em apenas duas zonas, uma para cada pavimento.

Figura 26: Modelagem do bloco administrativo no *software* Domus

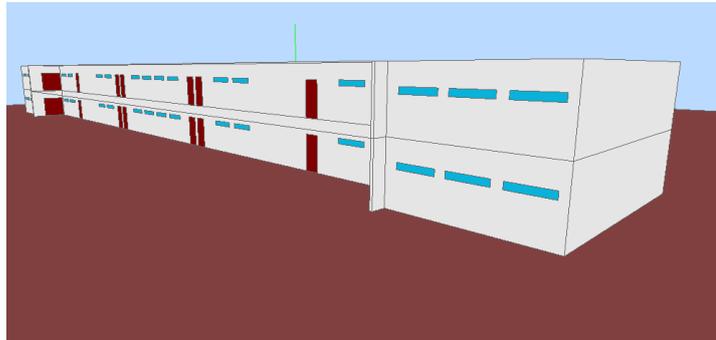


Fonte: Autora.

---

<sup>7</sup> Nenhum programa computacional pesquisado é completo e flexível o suficiente para atender à complexidade que a simulação que lida com muitas variáveis exige. A escolha do software deve ser guiada de acordo com os objetivos e a viabilidade de emprego do programa

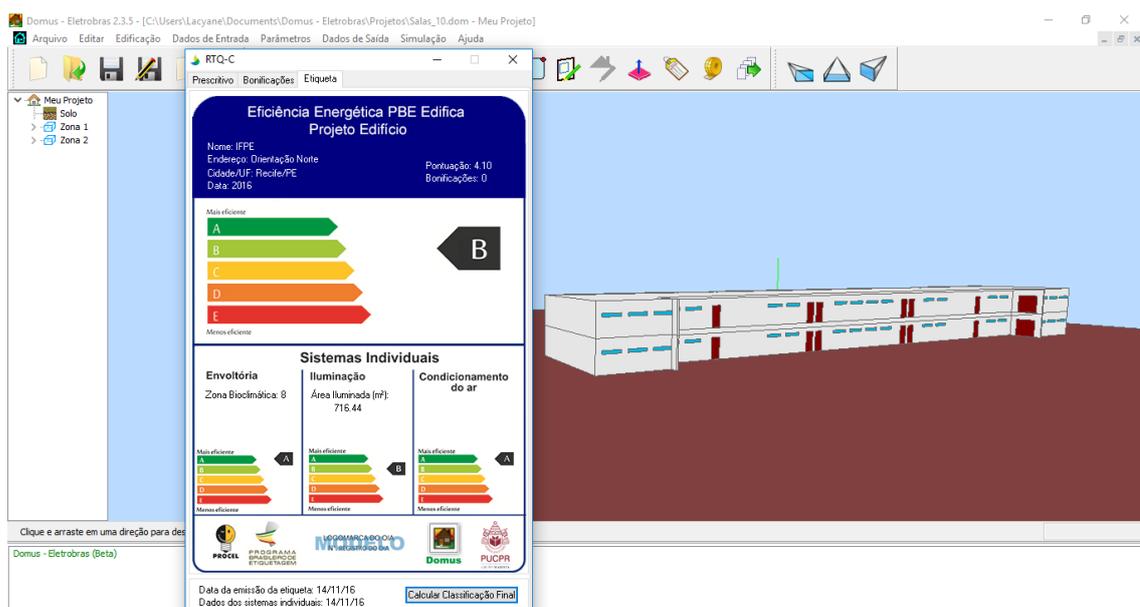
Figura 27: Modelagem do bloco salas de aula no *software* Domus



Fonte: Autora.

Inicialmente foram modeladas as características físicas que estão fixadas no projeto arquitetônico: paredes e cobertura; inseridas as aberturas; configurados os materiais de acabamentos. Posteriormente, foram configurados os dados referente a ocupação (pessoas e equipamentos), iluminação e condicionadores de ar. Com os arquivos com da edificação construída virtualmente, pode-se seleccionar a orientação solar e a cidade onde seria localizada. Foram realizadas 16 simulações, onde o produto final é a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE (Figura 28), com a indicação do nível de eficiência energética da edificação.

Figura 28: Etiketagem da eficiência energética pelo *software* Domus



Fonte: Autora.

Alguns parâmetros precisaram ser fixados para a realização da simulação computacional:

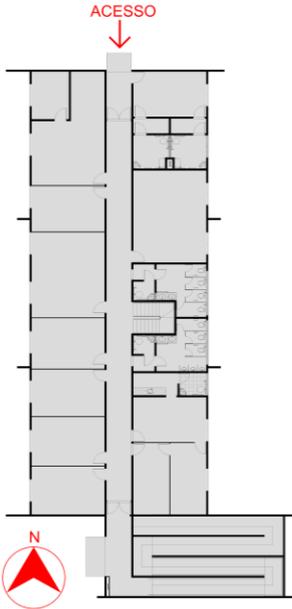
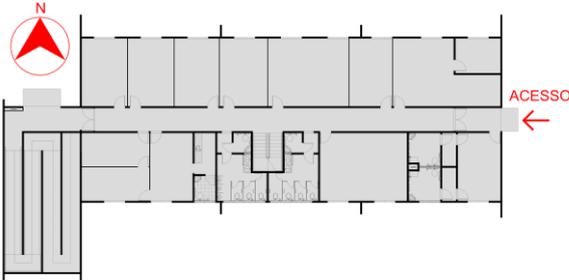
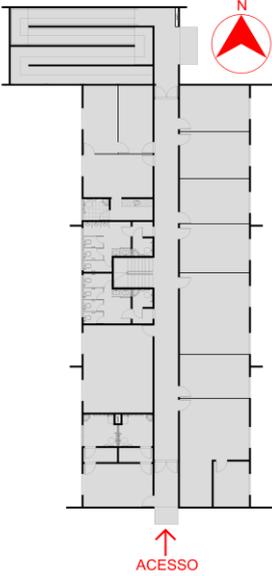
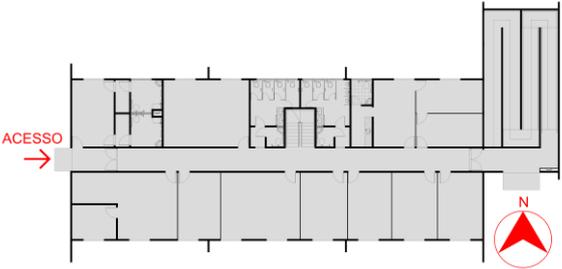
1) Cidades para simulação da eficiência energética

Conforme item 2.3 Caracterização das cidades, no qual se justifica a escolha dos locais, foram realizadas simulações para as quatro seguintes cidades: **Garanhuns** - representante da zona bioclimática 5; **Serra Talhada**, representante da zona bioclimática 6; **Arcoverde** - representante da zona bioclimática 7; e **Recife** - representante da zona bioclimática 8.

2) Orientação geográfica

Considerando tratar-se de projeto padrão e que a posição de implantação nos terrenos é a única característica das edificações a ser alterada nas simulações computacionais, e que a orientação geográfica é fator que influencia no desempenho da eficiência energética, selecionaram-se as quatro principais orientações para realizar as simulações: Norte, Sul, Leste e Oeste. A referência para a implantação foi a fachada de acesso principal do bloco: orientação 1 – acesso a Norte, orientação 2 – acesso a Leste, orientação 3 – acesso a Sul e orientação 4 – acesso a Oeste (Quadros 5 e 6).

Quadro 5: Padrão de orientações geográficas adotado para simulação do bloco administrativo

Bloco Administrativo	
Orientação 1	Orientação 2
	
Orientação 3	Orientação 4
	

Fonte: Autora.

Quadro 6: Padrão de orientações geográficas adotado para simulação do bloco salas de aula

Bloco Salas de aula	
Orientação 1	Orientação 2
Orientação 3	Orientação 4

Fonte: Autora.

### 3) Condicionamento de ar

Considerando o padrão atual de uso das edificações dos *campi* do IFPE – uso constante de ar condicionado nas salas de aula e ambiente administrativos, na simulação

computacional os ambientes de permanência foram analisados com as janelas e portas fechadas, ou seja, condicionados.

Os dados dos equipamentos de climatização foram obtidos no projeto complementar de climatização, conforme Tabela 7.

Tabela 7: Dados do projeto de climatização

Bloco Administrativo	Equipamento	Quantidade
Térreo	Split 10.000btus	9
	Split 21.000btus	2
	Split 30.000btus	2
Superior	Split 21.000btus	14
Bloco Salas de Aula	Equipamento	Quantidade
Térreo	Split 30.000btus	12
	Split 60.000btus	4
Superior	Split 30.000btus	12
	Split 60.000btus	4

Fonte: Departamento de Obras e Projetos/IFPE

Ao final das simulações, realizou-se um estudo de como a ventilação natural pode, em determinadas épocas do ano, proporcionar conforto térmico e redução do consumo energético.

#### 4) Iluminação artificial

As simulações foram realizadas considerando a iluminação artificial prevista no projeto complementar de instalações elétricas, conforme Tabela 8. A iluminação de emergência e iluminação externa são desconsideradas pelo método RTQ-C. Todas as lâmpadas mantiveram-se acesas durante o intervalo de simulação.

Tabela 8: Dados do projeto de iluminação artificial

Bloco Administrativo	Lâmpada	Quantidade
Térreo	2x 40W	47
	22W	6
	40W	2
Superior	2x 40W	53
Bloco Salas de Aula	Lâmpada	Quantidade
Térreo	2x 40W	89
	40W	2
Superior	2x 40W	89
	40W	2

Fonte: Departamento de Obras e Projetos/IFPE

Nas simulações pelo *software* Domus não existe diferença na eficiência energética alterando-se o tipo de lâmpada ou luminária, o único fator analisado é a carga instalada relacionada à área dos ambientes.

#### 5) Pessoas e equipamentos

Com relação à ocupação das edificações, considerou-se como referência para dimensionar a população, o Código de Segurança contra Incêndio e Pânico de Pernambuco - COSCIP/PE. No bloco administrativo 1 pessoa/m<sup>2</sup> de área bruta e no bloco salas de aula 1 pessoa por m<sup>2</sup> de sala de aula.

Manteve-se a configuração padrão de pessoa adotada pelo *software*: 60Kg e 1.70m de altura. E a atividade registrada foi de pessoa sentada, digitando, no bloco administrativo, e de pessoa sentada, escrevendo, no bloco de salas de aula.

Quanto aos equipamentos, para cada pessoa ocupante do bloco administrativo, considerou-se o uso de um computador e uma impressora por ambiente, e no bloco de sala de aula apenas um computador por sala.

Os dados de potência de iluminação e ar condicionado foram consultados nos projetos elétrico e de climatização.

#### 6) Intervalo de simulação

Foi adotado o período de 1 ano, ou seja, de 01/01 a 31/12, sem inclusão de feriados ou férias. O horário de simulação definido foi de 08:00 às 22:00h.

O passo de tempo para simulação foi configurado para 1 hora, por ser o menor intervalo possível ao simular o ano completo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os quadros 7 a 14 sintetizam os resultados das simulações computacionais para cada uma das cidades estudadas. Os dados obtidos registram o nível de eficiência energética dos três sistemas individualmente (envoltória, iluminação e ar condicionado), e o nível de eficiência geral da edificação; o índice de consumo da envoltória - variável quando ocorre a mudança de orientação geográfica; e o consumo geral de energia da edificação.

O **bloco administrativo** apresentou nível de eficiência da envoltória "A", nível de eficiência do sistema de condicionamento de ar "A" e nível de eficiência do sistema de iluminação "D" para as cidades de Garanhuns, Serra Talhada, Arcoverde e Recife e para todas as quatro orientações geográficas. A etiqueta Geral pondera por pesos os três sistemas avaliados individualmente, sendo que a Envoltória tem peso 30%, Iluminação 30% e ar condicionado 40%. Desta forma, as etiquetas gerais do bloco administrativo resultaram em nível "B".

Analisando-se os resultados, verificou-se que uma revisão no dimensionamento do sistema de iluminação, reduzindo a potência instalada por metro quadrado, conforme tabela 9, possibilitaria uma melhoria da eficiência desse sistema, o que elevaria o nível de eficiência geral da edificação para "A" em conformidade com a legislação.

Tabela 9: Potência de referência para os níveis de eficiência do sistema de iluminação - bloco administrativo

Sistema de Iluminação - Bloco Administrativo					
Nível de eficiência	Potência Ref A	Potência Ref B	Potência Ref C	Potência Ref D	Potência da edificação
Potência instalada	12118.39W	13930.49W	15742.58W	17554.68W	<b>17379.70W</b>
Densidade de potência iluminação	10.70 (W/m <sup>2</sup> )	12.30 (W/m <sup>2</sup> )	13.90 (W/m <sup>2</sup> )	15.50 (W/m <sup>2</sup> )	<b>15.35 (W/m<sup>2</sup>)</b>

Fonte: Domus, adaptado.

A etiqueta do sistema de ar condicionado, reflete diretamente a eficiência dos equipamentos cadastrados. Ou seja, como na configuração foram adicionados

condicionadores de ar com nível "A", a etiqueta do sistema também foi nível "A". A metodologia do RTQ-C não considera a relação entre a quantidade e capacidade dos condicionadores de ar e a dimensão dos ambientes, portanto esta avaliação deixa margens para que ocorram dimensionamentos inadequados do sistema de climatização. Se em um ambiente são propostos dois condicionadores de ar, quando apenas um é suficiente para climatizá-lo, por exemplo, não é correto considerar o sistema de condicionamento de ar eficiente energeticamente, mesmo que os equipamentos possuam ENCE nível "A" pelo INMETRO.

É necessário destacar que a aquisição dos equipamentos é um processo distinto dos projetos e obras, tanto na época em que ocorre e quanto à equipe responsável. Os equipamentos são adquiridos após a conclusão da obra pela gestão de compras do órgão público, portanto, estes servidores devem ser orientados e estarem atentos ao pré-requisito do nível de eficiência do equipamento visando preservar a eficiência do sistema projetado.

Com relação à envoltória da edificação, que apresentou boa adaptação às diversas orientações geográficas e condições climáticas, identificou-se alguns fatores que determinaram o bom desempenho. Primeiramente, o baixo índice de transmitância da cobertura, pois a telha utilizada possui o preenchimento em EPS que é um isolante térmico, o qual impede que o calor seja transmitido para o interior da edificação, gerando um menor ganho térmico a ser compensado pelo sistema de condicionamento de ar. A cobertura da edificação é a maior área que fica exposta a insolação direta durante todo o período do dia e por isto possui grande influência na carga térmica interna. Outra característica são os ângulos de sombreamento proporcionados pelos beirais, protetores verticais e pelo volume da rampa anexa ao edifício. O sombreamento das fachadas também contribui para a redução do ganho térmico. As áreas envidraçadas também são responsáveis por grande parte da carga térmica, tendo em vista que a transparência do material transmite cerca de 85% da radiação incidente para o interior da edificação. Entretanto, no bloco administrativo, o percentual de aberturas nas fachadas é de apenas 8%, e parte dessas está sombreada, o que resulta numa proporção que permite aproveitamento de iluminação natural sem aquecimento excessivo.

Considerando a importância dos materiais no desempenho da envoltória, e que é comum ocorrer substituições de materiais na etapa da obra, foram realizadas simulações alterando o material da cobertura por outros comuns na região de Pernambuco e de custo mais baixo. Com a substituição por telha cerâmica ou por laje de concreto com telha em fibrocimento obteve-se a etiqueta "E" na envoltória, o que demonstra a qualidade térmica do material adotado no projeto original. Estas simulações ressaltam a importância de ser

adquirido em obra exatamente o material que foi especificado em projeto, pois qualquer alteração, mesmo para padrões regionalmente conhecidos, influenciará diretamente a etiquetagem da eficiência energética e o conforto térmico.

Realizou-se ainda simulações alterando-se a dimensão das janelas e verificou-se que quando o percentual de 32% das áreas de fachadas é ultrapassado, o nível de eficiência cai para "B" devido ao aumento da exposição dos ambientes internos à radiação solar.

A simulação da envoltória é realizada com base em um indicador de consumo, o qual varia de uma localidade para outra, pois a simulação é realizada comparando-se a edificação original a modelos de referência de eficiência construídos para os níveis de desempenho daquele edifício em determinada zona bioclimática. O *software* calcula o desempenho da envoltória baseado numa equação do método RTQ-C, a qual varia a depender da zona bioclimática avaliada (Tabelas 10 e 11). Ocorre que para as cidades de Serra Talhada e Recife, representantes das zonas bioclimáticas 6 e 8 respectivamente, os indicadores de consumo da envoltória serão os mesmos, pois a equação é idêntica para estas zonas.

Tabela 10: Indicador de consumo para os níveis de eficiência da envoltória- bloco administrativo

Envoltória - Bloco Administrativo - Garanhuns			
Indicador máximo nível A	Indicador máximo nível B	Indicador máximo nível C	Indicador máximo nível D
325.800	377.918	430.036	482.154
Envoltória - Bloco Administrativo - Serra Talhada			
Indicador máximo nível A	Indicador máximo nível B	Indicador máximo nível C	Indicador máximo nível D
292.995	305.854	318.712	331.571
Envoltória - Bloco Administrativo - Arcoverde			
Indicador máximo nível A	Indicador máximo nível B	Indicador máximo nível C	Indicador máximo nível D
234.960	239.898	244.890	249.883
Envoltória - Bloco Administrativo - Recife			
Indicador máximo nível A	Indicador máximo nível B	Indicador máximo nível C	Indicador máximo nível D
292.995	305.854	318.712	331.571

Fonte: Domus, adaptado.

Tabela 11: Indicador de consumo para os níveis de eficiência da envoltória- bloco salas de aula

Envoltória - Bloco Salas de Aula - Garanhuns			
Indicador máximo nível A	Indicador máximo nível B	Indicador máximo nível C	Indicador máximo nível D
275.672	327.790	379.908	432.026
Envoltória - Bloco Salas de Aula - Serra Talhada			
Indicador máximo nível A	Indicador máximo nível B	Indicador máximo nível C	Indicador máximo nível D
448.150	465.363	482.575	499.788
Envoltória - Bloco Salas de Aula - Arcoverde			
Indicador máximo nível A	Indicador máximo nível B	Indicador máximo nível C	Indicador máximo nível D
375.587	380.580	385.572	390.564
Envoltória - Bloco Salas de Aula - Recife			
Indicador máximo nível A	Indicador máximo nível B	Indicador máximo nível C	Indicador máximo nível D
448.150	465.363	482.575	499.788

Fonte: Domus, adaptado.

Apesar de todas as simulações da envoltória no bloco administrativo terem resultado na etiqueta "A", observou-se que o indicador de consumo da envoltória variou conforme a orientação geográfica. Para as cidades de Garanhuns, Serra Talhada e Recife, o melhor indicador de consumo da envoltória foi obtido ao posicionar o edifício na orientação nº 4, ou seja, com o acesso voltado para o Oeste e o pior indicador de consumo da envoltória foi obtido ao posicionar o edifício na orientação nº2, com o acesso voltado para Leste. Para a cidade de Arcoverde, o melhor indicador de consumo da envoltória foi obtido ao posicionar o edifício nas orientações nº 1 e nº 3, ou seja, com o acesso voltado para o Norte e Sul e o pior indicador de consumo da envoltória foi obtido ao posicionar o edifício na orientação nº 2, com o acesso voltado para Oeste. Tendo em vista que o nível "A" de eficiência foi alcançado em todas as situações, recomenda-se um estudo para identificar o posicionamento da edificação, para cada localidade, que proporcione o melhor conforto ambiental nos quesitos insolação direta e ventilação natural predominante.

O **bloco salas de aula** apresentou nível de eficiência da envoltória "A", nível de eficiência do sistema de condicionamento de ar "A" e nível de eficiência do sistema de iluminação "B" para as cidades de Garanhuns, Serra Talhada, Arcoverde e Recife e para todas as quatro orientações geográficas. As etiquetas gerais do bloco salas de aula resultaram em nível "A", em conformidade com a legislação para todos os casos estudados.

Analisando-se os resultados, verificou-se que mesmo as edificações sendo nível "A" a eficiência do sistema de iluminação pode ser melhorada com uma revisão no dimensionamento do sistema de iluminação (como ocorreu no bloco administrativo), reduzindo a potência instalada por metro quadrado, conforme tabela 12.

Tabela 12: Potência de referência para os níveis de eficiência do sistema de iluminação - bloco salas de aula

Sistema de Iluminação - Bloco Salas de Aula					
Nível de eficiência	Potência Ref A	Potência da edificação	Potência Ref B	Potência Ref C	Potência Ref D
Potencia instalada	7665.87W	<b>8210.36W</b>	8812.17W	9958.46W	11104.76W
Densidade de potência iluminação	10.70 (W/m <sup>2</sup> )	<b>11.46 (W/m<sup>2</sup>)</b>	12.30 (W/m <sup>2</sup> )	13.90 (W/m <sup>2</sup> )	15.50 (W/m <sup>2</sup> )

Fonte: Domus, adaptado.

O bom desempenho do sistema de ar condicionado, assim como no bloco administrativo, refere-se à eficiência dos equipamentos cadastrados.

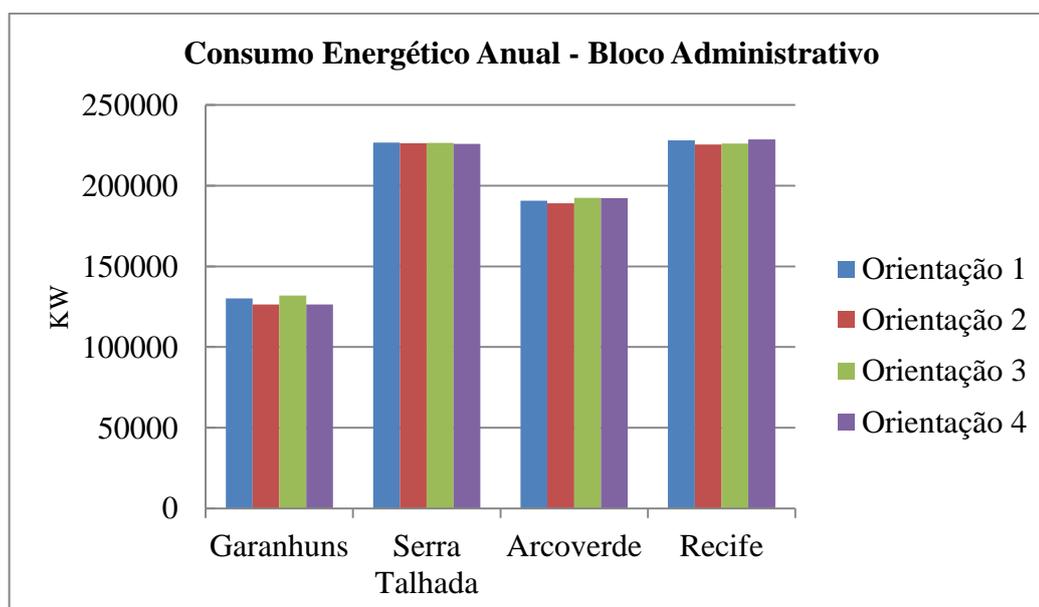
Os aspectos que favorecem o bom desempenho da envoltória do bloco administrativo também são válidos para o bloco salas de aulas, tendo em vista que as edificações possuem um mesmo padrão construtivo e acabamentos semelhantes. As cores da fachada do bloco salas de aula são mais claras, proporcionando baixa absorção do calor pelas superfícies. Outro fator que colabora para a eficiência da envoltória do bloco sala de aula é a tipologia do edifício: a circulação lateral em varanda proporciona sombreamento constante a uma das fachadas de maior comprimento protegendo paredes e aberturas, a fachada oposta é parcialmente sombreada por beiral e protetores verticais e outras duas fachadas são cegas, portanto apenas cerca de 25% das aberturas está exposta à radiação solar direta.

No bloco salas de aula também ocorreram variações no indicador de consumo da envoltória. Entretanto, neste caso, houve um padrão de variação: para cada cidade estudada o

indicador de consumo foi igual para as orientações nº 1, nº 3 e nº 4 e um valor mais elevado para a orientação nº 2, na qual o acesso avarandado da edificação está localizado a Leste e a fachada oposta (com aberturas expostas) está localizado a Oeste recebendo radiação solar direta no turno da tarde, quando a temperatura está elevada. Desta forma, observa-se que a orientação nº 2, mesmo resultando em nível "A", proporciona um pior desempenho da edificação e provavelmente um menor conforto ao usuário. Para a melhor adequação da implantação desta edificação faz-se necessário um estudo da ventilação predominante de cada localidade.

O consumo energético anual do bloco administrativo foi maior nas cidades de Serra Talhada e Recife, média de 227.045KW/ano e de 226.347,80KW/ano o que custa aproximadamente R\$105.310,28<sup>8</sup> e R\$104.968,90 respectivamente; seguido por Arcoverde com média 191.136KW/ano que custa aproximadamente R\$88.654,61; e o menor consumo ocorreu em Garanhuns média de 128.701,30KW/ano custa aproximadamente R\$59.695,52 (Gráfico 13). Esses dados demonstraram uma influência direta do clima local no consumo da edificação, pois nas cidades com temperatura mais baixa o consumo energético foi menor. Isto ocorre devido ao bloco administrativo possuir suas duas maiores fachadas com janelas de vidro, apenas parcialmente protegidas, ou seja, está exposto às variações climáticas.

Gráfico 13: Consumo energético anual - Bloco administrativo

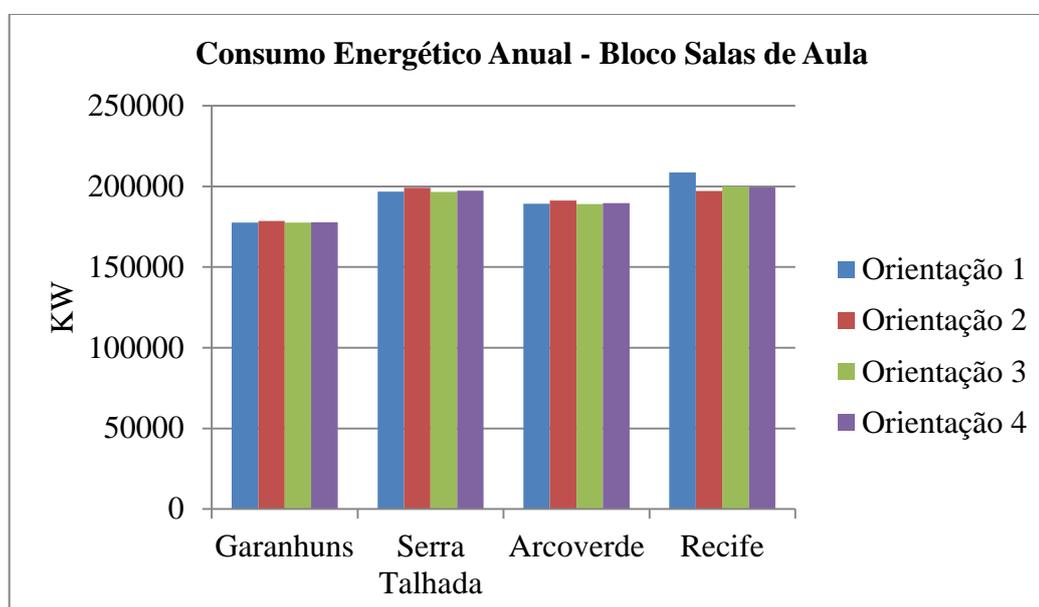


Fonte: Domus, adaptado.

<sup>8</sup> Os valores de custo energético anuais foram obtidos no programa de simulação computacional, com base numa tarifa, alimentada pelo usuário. A tarifa utilizada foi de R\$0,46383/kW homologada pela resolução nº2067/2016 da Companhia Energética de Pernambuco (Celpe) para edificações do Poder Público, incluindo PIS/COFINS.

O consumo do bloco salas de aula foi maior na cidade Recife, média de 201.223,90KW/ano o que resulta em R\$93.333,68; seguido por Serra Talhada com média de 197.417,50KW/ano que custa aproximadamente R\$91.568,15; seguido por Arcoverde com média de 189.830,10KW/ano que significa aproximadamente R\$88.048,89 e o menor consumo ocorreu em Garanhuns média de 177.817,30KW/ano custando aproximadamente R\$82.476,99 (Gráfico 14). Neste bloco a influência do clima local no consumo da edificação foi mais discreta, isto ocorre devido a edificação possuir três de suas quatro fachadas sombreadas, ou seja, está menos exposto às variações climáticas.

Gráfico 14: Consumo energético anual - Bloco salas de aula



Fonte: Domus, adaptado.

Quanto à variação do consumo energético com as diversas orientações geográficas, no bloco administrativo as orientações nº 02 e nº 04 demonstram menor consumo (Tabela 13), posições nas quais as aberturas estão voltadas para direção Norte e Sul, resultando na menor exposição à radiação solar. Em valores, a diferença chega a R\$2.583,81 anuais para Garanhuns e R\$1.516,26 em Recife.

Tabela 13: Custo energético por orientação geográfica - bloco administrativo

<b>Bloco Administrativo</b>				
	Orientação 01	Orientação 02	Orientação 03	Orientação 04
<b>Garanhuns</b>	R\$60.376,28	R\$58.625,88	R\$61.181,86	R\$58.598,05
<b>Serra Talhada</b>	R\$105.135,41	R\$104.952,66	R\$105.044,50	R\$104.814,91
<b>Arcoverde</b>	R\$88.471,25	R\$87.663,08	R\$89.288,52	R\$89.195,48
<b>Recife</b>	R\$105.740,25	R\$104.545,89	R\$104.892,83	R\$106.062,15

Fonte: Domus, adaptado.

Quanto à variação do consumo energético com as diversas orientações geográficas, no bloco administrativo as orientações nº 02 e nº 04 demonstram menor consumo (Tabela 14), posições nas quais as aberturas estão voltadas para direção Norte e Sul, resultando na menor exposição à radiação solar. Em valores, a diferença chega a R\$2.583,81 anuais para Garanhuns e R\$1.516,26 em Recife.

Tabela 14: Custo energético por orientação geográfica - bloco salas de aula

<b>Bloco Salas de aula</b>				
	Orientação 01	Orientação 02	Orientação 03	Orientação 04
<b>Garanhuns</b>	R\$82.356,77	R\$82.777,37	R\$82.362,15	R\$82.411,64
<b>Serra Talhada</b>	R\$91.308,50	R\$92.353,65	R\$91.207,71	R\$91.502,89
<b>Arcoverde</b>	R\$87.782,84	R\$88.723,90	R\$87.716,37	R\$87.972,40
<b>Recife</b>	R\$96.755,63	R\$91.440,65	R\$92.694,98	R\$92.443,49

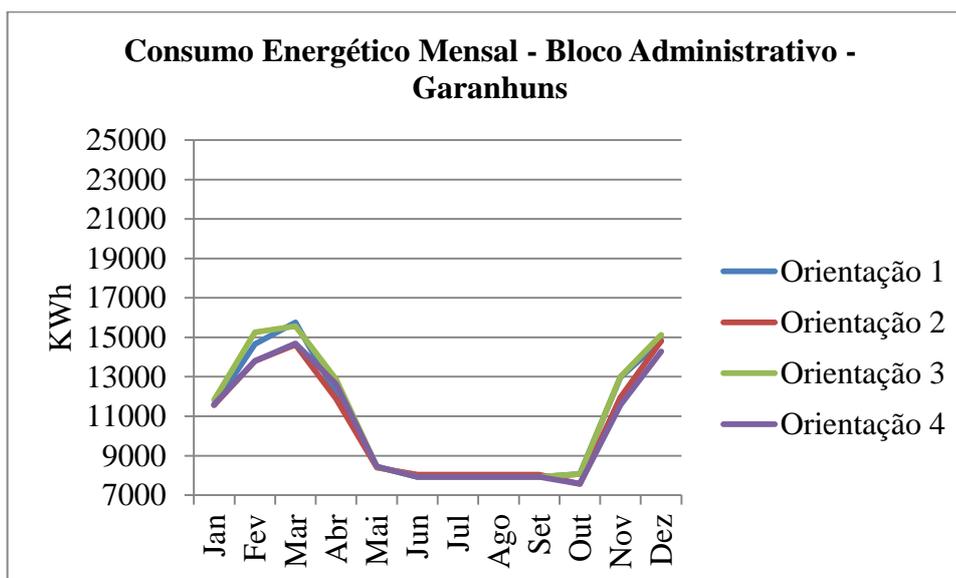
Fonte: Domus, adaptado.

No bloco salas de aula a variação entre as orientações foi menor, ocorrendo em Garanhuns, Serra Talhada e Arcoverde o maior consumo na orientação nº 02, posições nas quais as aberturas estão voltadas para direção Leste e Oeste, resultando na maior exposição à radiação solar. Em valores, a diferença foi de R\$420,60 anuais para Garanhuns e R\$1.073,53 em Serra Talhada.

Com relação à variação do consumo ao longo do ano, o bloco administrativo na cidade de Garanhuns entre os meses de maio e outubro apresentou os menores valores de consumo mensal e o maior consumo ocorreu no mês de dezembro (Gráfico 15). Em Serra Talhada, Arcoverde e Recife, o consumo decaiu entre junho e agosto e o maior consumo ocorreu em dezembro (Gráfico 16, 17 e 18). A linha do consumo mensal das cidades demonstra dois picos

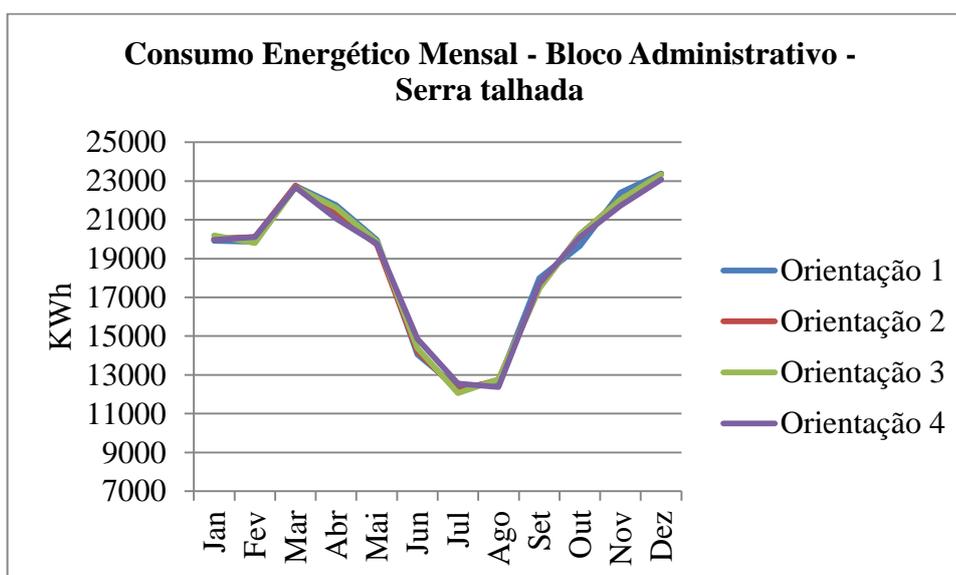
de consumo, em março e dezembro e uma depressão no meio do ano. Em Garanhuns os valores mais baixos têm um período de duração maior e as variações tem menor amplitude que Serra Talhada e Arcoverde. Em Recife após o meio do ano o consumo se eleva aos poucos (Gráfico 18). Nesta última, o consumo anual é próximo ao de Serra Talhada, porém com uma menor diferença nos valores mensais.

Gráfico 15: Consumo energético mensal - Bloco administrativo - Garanhuns



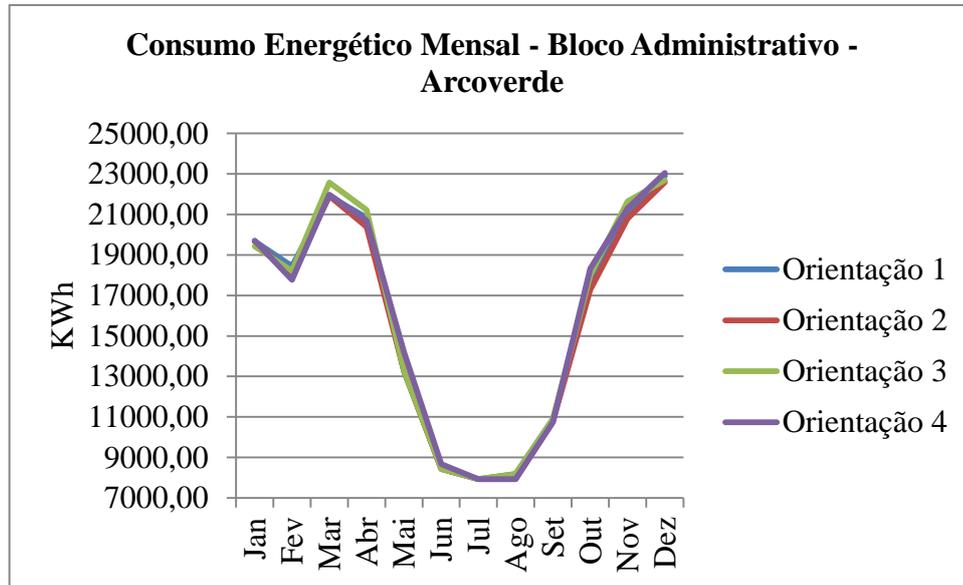
Fonte: Domus, adaptado.

Gráfico 16: Consumo energético mensal - Bloco administrativo - Serra Talhada



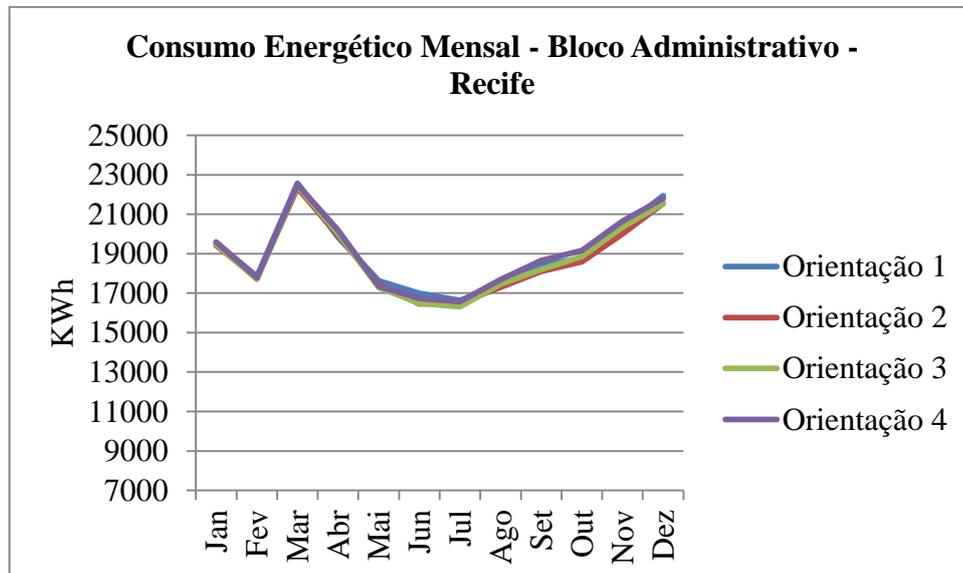
Fonte: Domus, adaptado.

Gráfico 17: Consumo energético mensal - Bloco administrativo - Arcoverde



Fonte: Domus, adaptado.

Gráfico 18: Consumo energético mensal - Bloco administrativo - Arcoverde

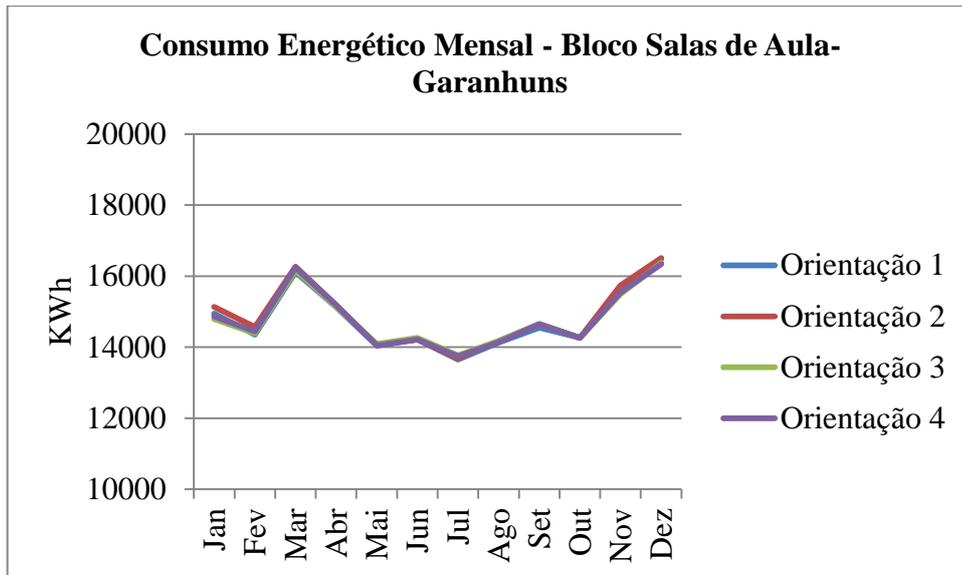


Fonte: Domus, adaptado.

No bloco salas de aula a linha do gráfico mantém os valores máximos de consumo em março e dezembro, porém os demais meses não formam curvas como no bloco administrativo, mas tem uma variação de valores que se alterna elevando e decaindo. Em Garanhuns, durante o inverno verifica-se uma queda significativa do consumo, apresenta menor índice em julho (Gráfico 19). A cidade de Serra Talhada é a que apresenta as maiores amplitudes de variações, com menor consumo em abril (Gráfico 20). Em Arcoverde, os menores valores de consumo

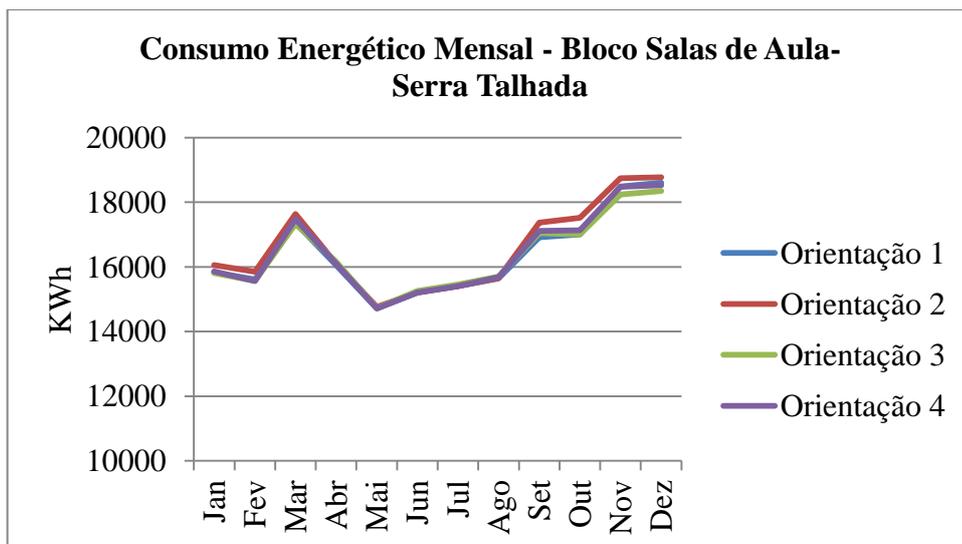
ocorrem em fevereiro e abril (Gráfico 21). Em Serra Talhada e Arcoverde observasse diferença no consumo das orientações geográficas de agosto a janeiro e Recife foi a única que demonstrou variação significativa nas diferentes orientações geográficas durante todo o ano, porém todas seguem o mesmo perfil ao longo do ano (Gráfico 22).

Gráfico 19: Consumo energético mensal - Bloco salas de aula - Garanhuns



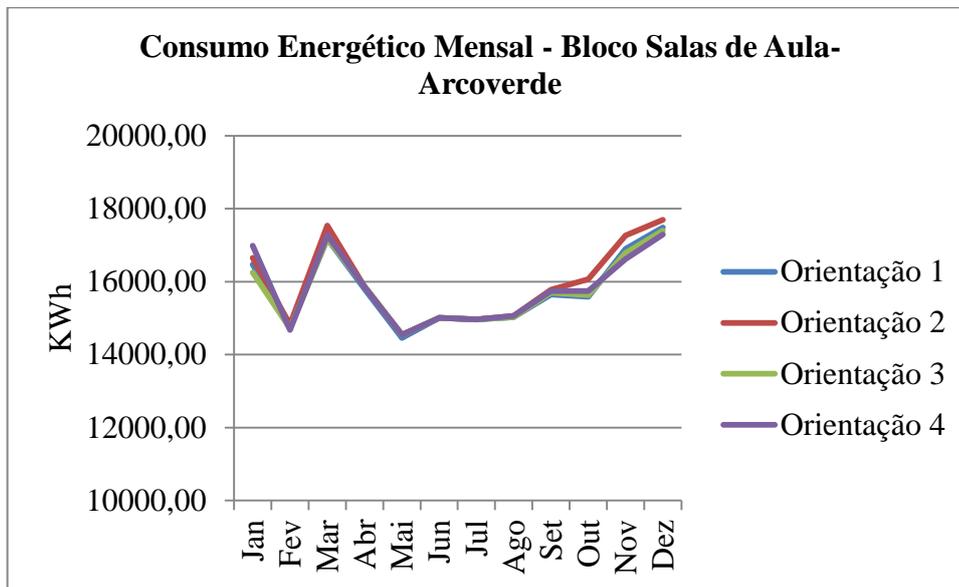
Fonte: Domus, adaptado.

Gráfico 20: Consumo energético mensal - Bloco administrativo - Serra Talhada



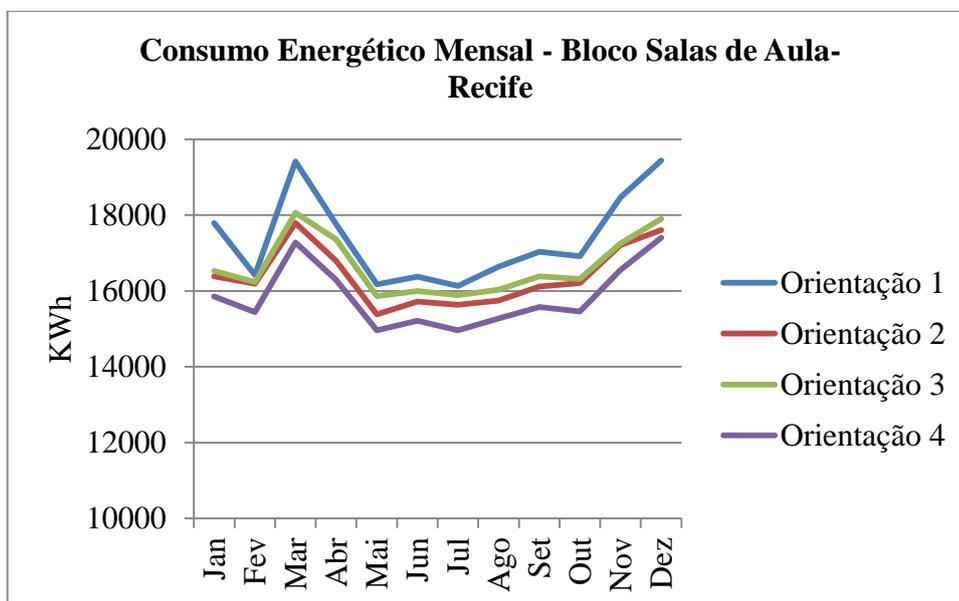
Fonte: Domus, adaptado.

Gráfico 21: Consumo energético mensal - Bloco salas de aula - Arcoverde



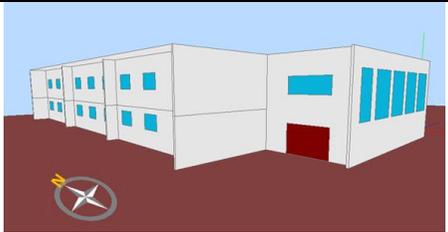
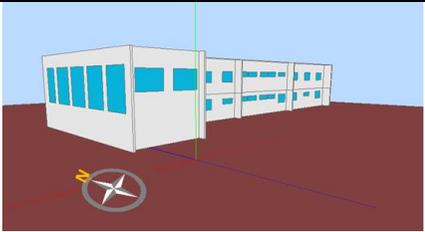
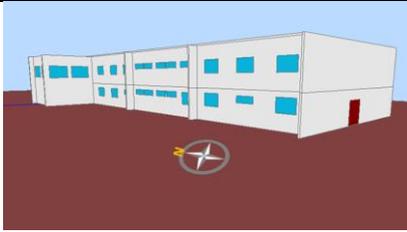
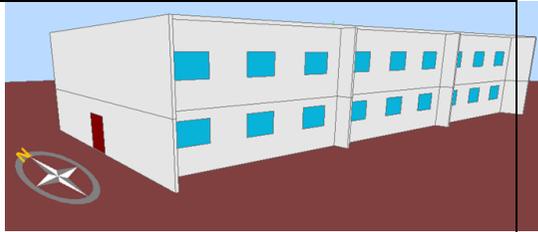
Fonte: Domus, adaptado.

Gráfico 22: Consumo energético mensal - Bloco salas de aula - Recife



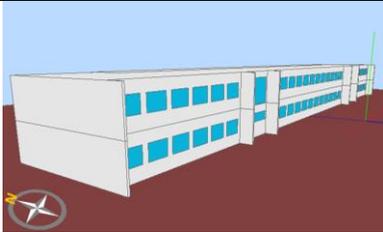
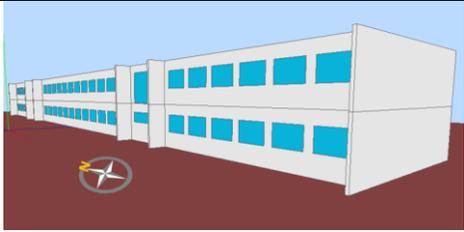
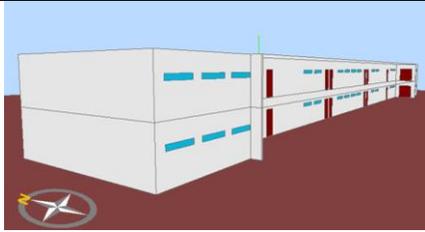
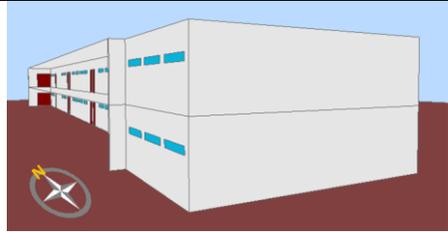
Fonte: Domus, adaptado.

Quadro 07: Resumo simulação de eficiência energética - Bloco administrativo - Garanhuns

Garanhuns/ Zona Bioclimática 5																											
Bloco Administrativo																											
																											
Orientação 1- Acesso a Norte	Orientação 2- Acesso a Leste	Orientação 3- Acesso a Sul	Orientação 4- Acesso a Oeste																								
<p><b>Eficiência Energética PBE Edifica</b> Projeto Edifício</p> <p>Nome: Bloco Administrativo/IFPE Endereço: Orientação 1 Cidade/UF: Garanhuns/PE Data: _____</p> <p>Pontuação: 4,10 Bonificações: 0</p>  <p>Menos eficiente</p> <p><b>Sistemas Individuais</b></p> <table border="1"> <tr> <td><b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 5</td> <td><b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 1132,56</td> <td><b>Condicionamento do ar</b></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>PRÓCEL, INICIAÇÃO DO OIA, Domus, PUCPR</p>	<b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 5	<b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 1132,56	<b>Condicionamento do ar</b>				<p><b>Eficiência Energética PBE Edifica</b> Projeto Edifício</p> <p>Nome: Bloco Administrativo/IFPE Endereço: Orientação 2 Cidade/UF: Garanhuns/PE Data: _____</p> <p>Pontuação: 4,10 Bonificações: 0</p>  <p>Menos eficiente</p> <p><b>Sistemas Individuais</b></p> <table border="1"> <tr> <td><b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 5</td> <td><b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 1132,56</td> <td><b>Condicionamento do ar</b></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>PRÓCEL, INICIAÇÃO DO OIA, Domus, PUCPR</p>	<b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 5	<b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 1132,56	<b>Condicionamento do ar</b>				<p><b>Eficiência Energética PBE Edifica</b> Projeto Edifício</p> <p>Nome: Bloco Administrativo/IFPE Endereço: Orientação 3 Cidade/UF: Garanhuns/PE Data: _____</p> <p>Pontuação: 4,10 Bonificações: 0</p>  <p>Menos eficiente</p> <p><b>Sistemas Individuais</b></p> <table border="1"> <tr> <td><b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 5</td> <td><b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 1132,56</td> <td><b>Condicionamento do ar</b></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>PRÓCEL, INICIAÇÃO DO OIA, Domus, PUCPR</p>	<b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 5	<b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 1132,56	<b>Condicionamento do ar</b>				<p><b>Eficiência Energética PBE Edifica</b> Projeto Edifício</p> <p>Nome: Bloco Administrativo/IFPE Endereço: Orientação 4 Cidade/UF: Garanhuns/PE Data: _____</p> <p>Pontuação: 4,10 Bonificações: 0</p>  <p>Menos eficiente</p> <p><b>Sistemas Individuais</b></p> <table border="1"> <tr> <td><b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 5</td> <td><b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 1132,56</td> <td><b>Condicionamento do ar</b></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>PRÓCEL, INICIAÇÃO DO OIA, Domus, PUCPR</p>	<b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 5	<b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 1132,56	<b>Condicionamento do ar</b>			
<b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 5	<b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 1132,56	<b>Condicionamento do ar</b>																									
																											
<b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 5	<b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 1132,56	<b>Condicionamento do ar</b>																									
																											
<b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 5	<b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 1132,56	<b>Condicionamento do ar</b>																									
																											
<b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 5	<b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 1132,56	<b>Condicionamento do ar</b>																									
																											
Indicador de consumo da envoltória:307.306	Indicador de consumo da envoltória:318.393	Indicador de consumo da envoltória:308.362	Indicador de consumo da envoltória: 283.653																								
Consumo energético anual 1130.169KWh	Consumo energético anual 126.395,20KWh	Consumo energético anual 131.905,80KWh	Consumo energético anual 123.335,20KWh																								

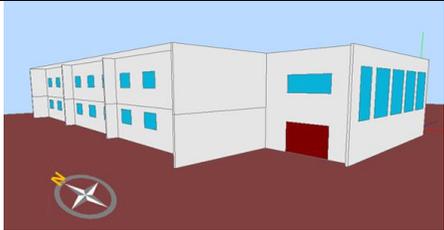
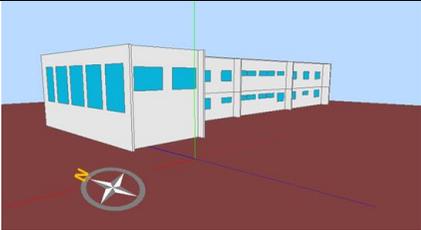
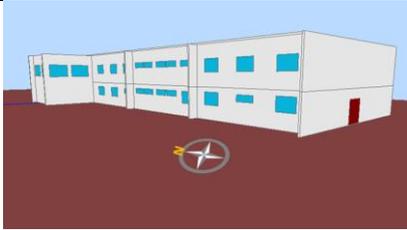
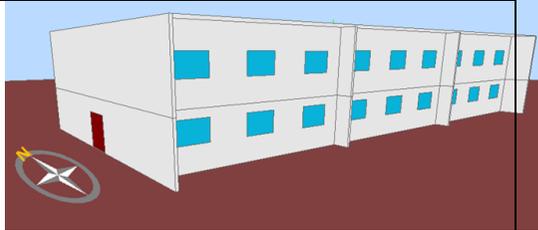
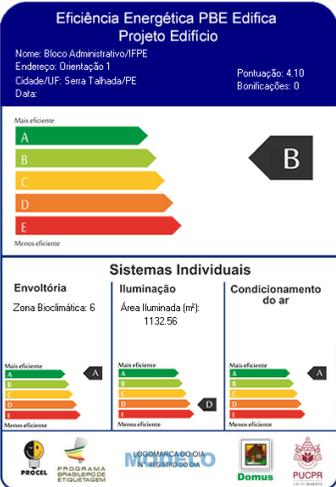
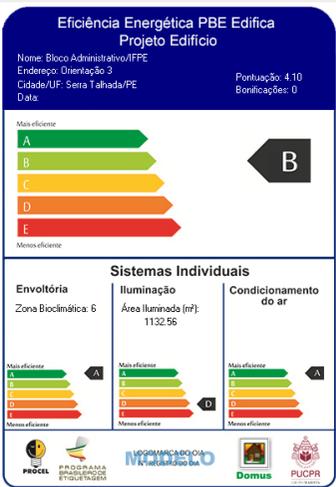
Fonte: Domus, adaptado.

Quadro 08: Resumo simulação de eficiência energética - Bloco salas de aula - Garanhuns

Garanhuns/ Zona Bioclimática 5			
Bloco Salas de aula			
			
Orientação 1- Acesso a Norte	Orientação 2- Acesso a Leste	Orientação 3- Acesso a Sul	Orientação 4- Acesso a Oeste
<p><b>Eficiência Energética PBE Edifica Projeto Edifício</b></p> <p>Nome: Bloco Salas de Aula/FFPE Endereço: Orientação 1 Cidade/UF: Garanhuns/PE Data: Pontuação: 4,40 Bonificações: 0</p> <p>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</p> <p><b>Sistemas Individuais</b></p> <p>Envoltória Zona Bioclimática: 5</p> <p>Iluminação Área Iluminada (m²): 716,44</p> <p>Condicionamento do ar</p> <p>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</p> <p>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</p> <p>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</p> <p>PRÓCEL PROGRAMA NACIONAL DE ETIQUETAGEM INFORMAÇÃO Domus PUCPR</p>	<p><b>Eficiência Energética PBE Edifica Projeto Edifício</b></p> <p>Nome: Bloco Salas de Aula/FFPE Endereço: Orientação 2 Cidade/UF: Garanhuns/PE Data: Pontuação: 4,70 Bonificações: 0</p> <p>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</p> <p><b>Sistemas Individuais</b></p> <p>Envoltória Zona Bioclimática: 5</p> <p>Iluminação Área Iluminada (m²): 716,44</p> <p>Condicionamento do ar</p> <p>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</p> <p>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</p> <p>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</p> <p>PRÓCEL PROGRAMA NACIONAL DE ETIQUETAGEM INFORMAÇÃO Domus PUCPR</p>	<p><b>Eficiência Energética PBE Edifica Projeto Edifício</b></p> <p>Nome: Bloco Salas de Aula/FFPE Endereço: Orientação 3 Cidade/UF: Garanhuns/PE Data: Pontuação: 4,70 Bonificações: 0</p> <p>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</p> <p><b>Sistemas Individuais</b></p> <p>Envoltória Zona Bioclimática: 5</p> <p>Iluminação Área Iluminada (m²): 716,44</p> <p>Condicionamento do ar</p> <p>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</p> <p>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</p> <p>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</p> <p>PRÓCEL PROGRAMA NACIONAL DE ETIQUETAGEM INFORMAÇÃO Domus PUCPR</p>	<p><b>Eficiência Energética PBE Edifica Projeto Edifício</b></p> <p>Nome: Bloco Salas de Aula/FFPE Endereço: Orientação 4 Cidade/UF: Garanhuns/PE Data: Pontuação: 4,70 Bonificações: 0</p> <p>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</p> <p><b>Sistemas Individuais</b></p> <p>Envoltória Zona Bioclimática: 5</p> <p>Iluminação Área Iluminada (m²): 716,44</p> <p>Condicionamento do ar</p> <p>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</p> <p>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</p> <p>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</p> <p>PRÓCEL PROGRAMA NACIONAL DE ETIQUETAGEM INFORMAÇÃO Domus PUCPR</p>
Indicador de consumo da envoltória:229.931	Indicador de consumo da envoltória:340.911	Indicador de consumo da envoltória:229.931	Indicador de consumo da envoltória:229.931
Consumo energético anual 177558,10KWh	Consumo energético anual 178464,90KWh	Consumo energético anual 177569,70KWh	Consumo energético anual 177602,70KWh

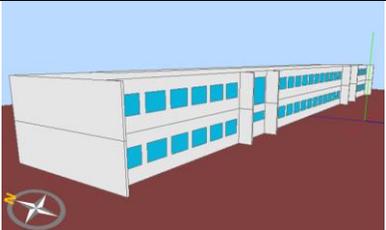
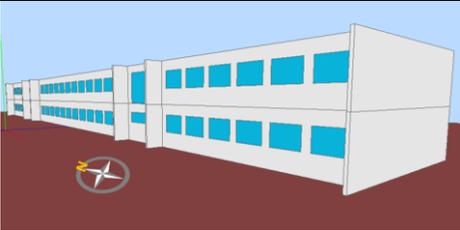
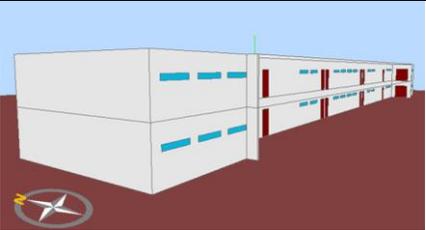
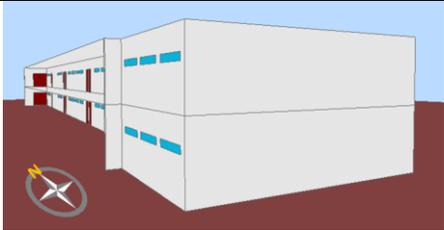
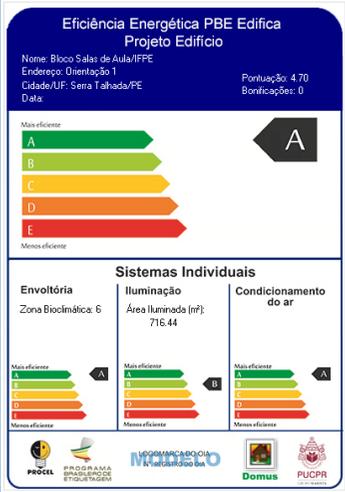
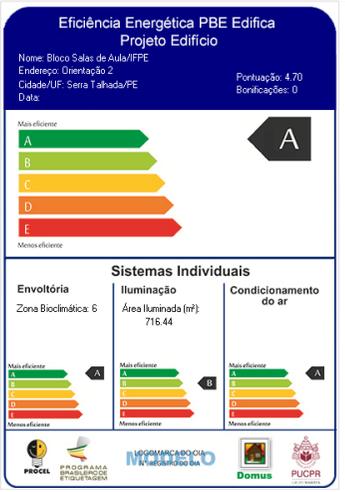
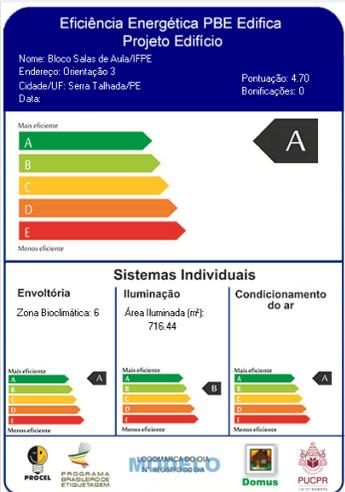
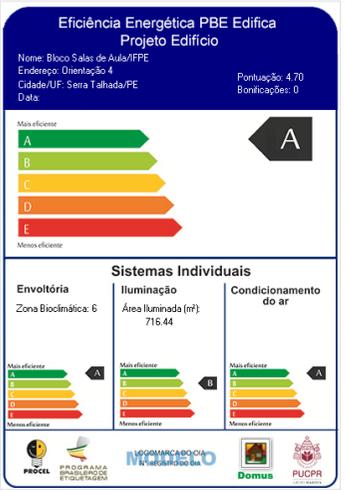
Fonte: Domus, adaptado.

Quadro 09: Resumo simulação de eficiência energética - Bloco administrativo - Serra Talhada

<b>Serra Talhada / Zona Bioclimática 6</b>			
<b>Bloco Administrativo</b>			
			
<b>Orientação 1- Acesso a Norte</b>	<b>Orientação 2- Acesso a Oeste</b>	<b>Orientação 3- Acesso a Sul</b>	<b>Orientação 4- Acesso a Leste</b>
			
Indicador de consumo da envoltória:278.110	Indicador de consumo da envoltória:280.193	Indicador de consumo da envoltória:278.308	Indicador de consumo da envoltória:273.665
Consumo energético anual 226.668KWh	Consumo energético anual 226.274KWh	Consumo energético anual 226.472KWh	Consumo energético anual 225.977KWh

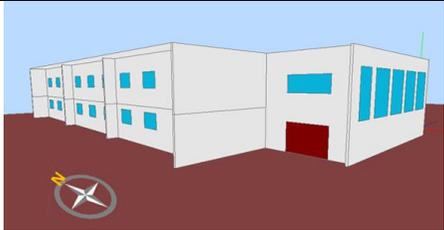
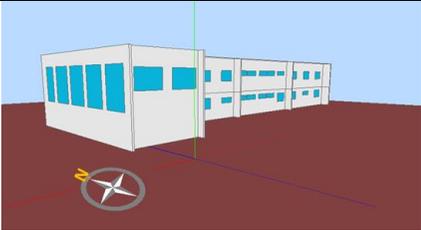
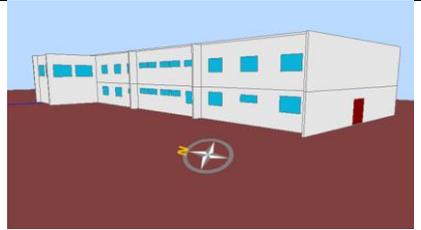
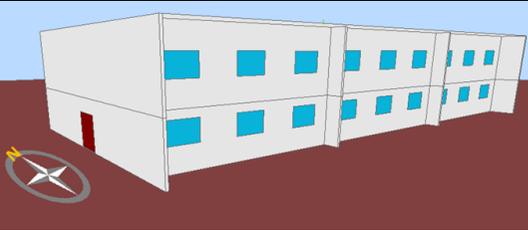
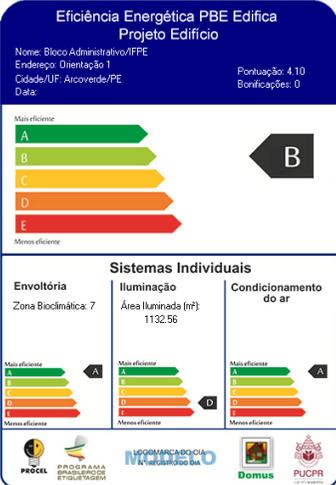
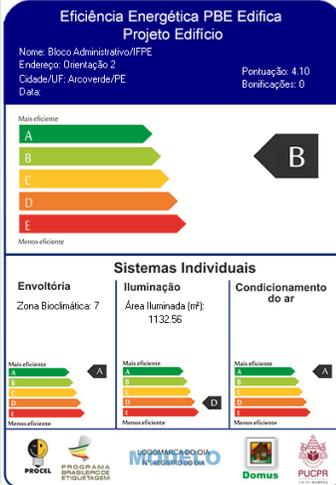
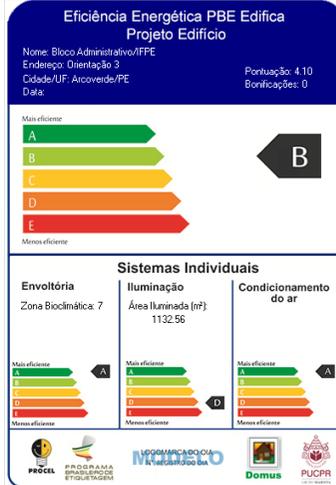
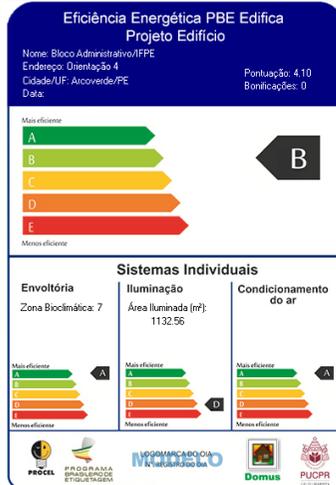
Fonte: Domus, adaptado.

Quadro 10: Resumo simulação de eficiência energética - Bloco salas de aula- Serra Talhada

<b>Serra Talhada / Zona Bioclimática 6</b>			
<b>Bloco Salas de Aula</b>			
			
<b>Orientação 1- Acesso a Norte</b>	<b>Orientação 2- Acesso a Leste</b>	<b>Orientação 3- Acesso a Sul</b>	<b>Orientação 4- Acesso a Oeste</b>
			
Indicador de consumo da envoltória:421.341	Indicador de consumo da envoltória:449.165	Indicador de consumo da envoltória:421.341	Indicador de consumo da envoltória:421.341
Consumo energético anual 196.857,70KWh	Consumo energético anual 199.111KWh	Consumo energético anual 196.640,40KWh	Consumo energético anual 197.276,80KWh

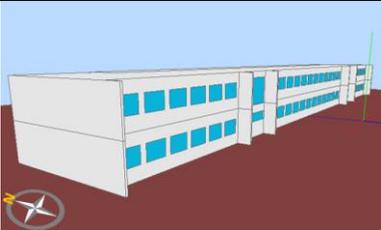
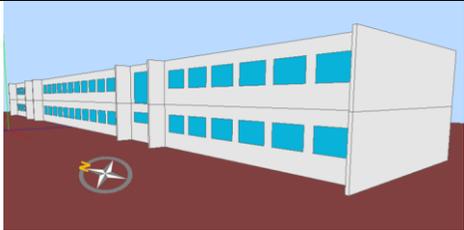
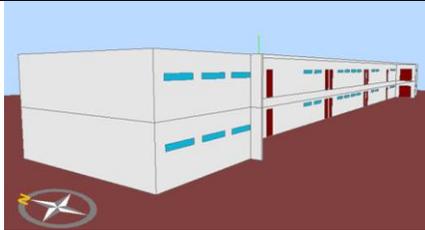
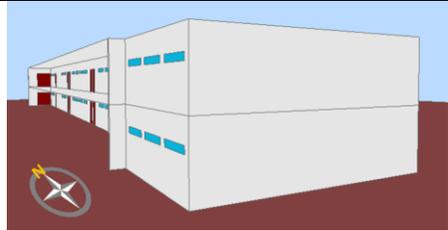
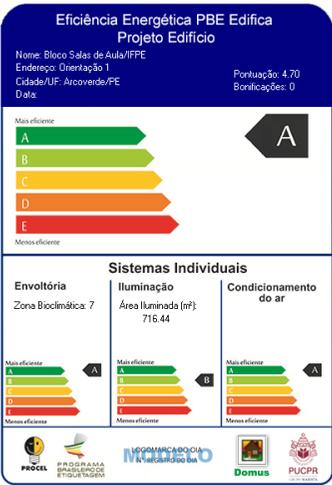
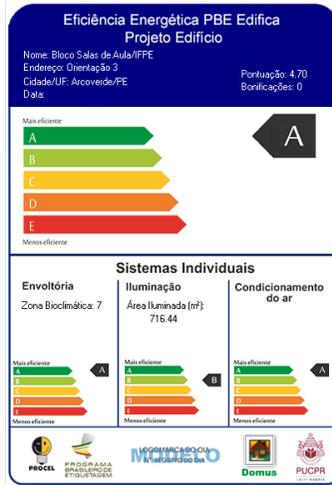
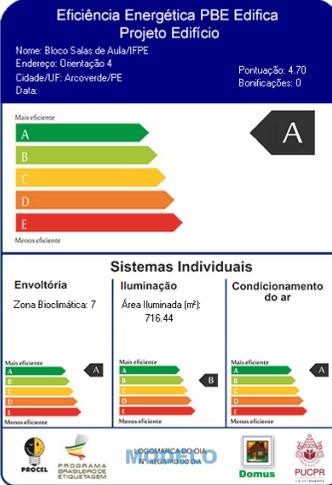
Fonte: Domus, adaptado.

Quadro 11: Resumo simulação de eficiência energética - Bloco administrativo- Arcoverde

<b>Arcoverde/ Zona Bioclimática 7</b>			
<b>Bloco Administrativo</b>			
			
<b>Orientação 1- Acesso a Norte</b>	<b>Orientação 2- Acesso a Leste</b>	<b>Orientação 3- Acesso a Sul</b>	<b>Orientação 4- Acesso a Oeste</b>
<div style="background-color: #003366; color: white; padding: 5px;"> <b>Eficiência Energética PBE Edifica</b>  <b>Projeto Edifício</b>  Nome: Bloco Administrativo/FPPE  Endereço: Orientação 1  Cidade/UF: Arcoverde/PE  Data: Pontuação: 410  Bonificações: 0 </div> 	<div style="background-color: #003366; color: white; padding: 5px;"> <b>Eficiência Energética PBE Edifica</b>  <b>Projeto Edifício</b>  Nome: Bloco Administrativo/FPPE  Endereço: Orientação 2  Cidade/UF: Arcoverde/PE  Data: Pontuação: 410  Bonificações: 0 </div> 	<div style="background-color: #003366; color: white; padding: 5px;"> <b>Eficiência Energética PBE Edifica</b>  <b>Projeto Edifício</b>  Nome: Bloco Administrativo/FPPE  Endereço: Orientação 3  Cidade/UF: Arcoverde/PE  Data: Pontuação: 410  Bonificações: 0 </div> 	<div style="background-color: #003366; color: white; padding: 5px;"> <b>Eficiência Energética PBE Edifica</b>  <b>Projeto Edifício</b>  Nome: Bloco Administrativo/FPPE  Endereço: Orientação 4  Cidade/UF: Arcoverde/PE  Data: Pontuação: 410  Bonificações: 0 </div> 
Indicador de consumo da envoltória:232.520	Indicador de consumo da envoltória:232.614	Indicador de consumo da envoltória:232.520	Indicador de consumo da envoltória:233.289
Consumo energético anual 103.562,90KWh	Consumo energético anual 188.998,30KWh	Consumo energético anual 192.502,70KWh	Consumo energético anual 192.302,10KWh

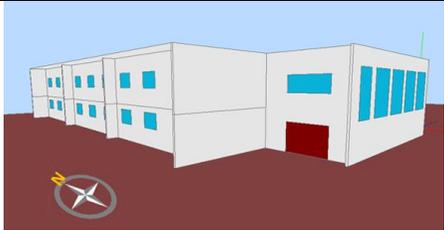
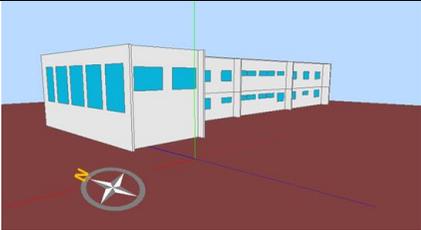
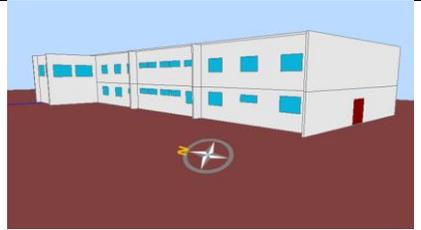
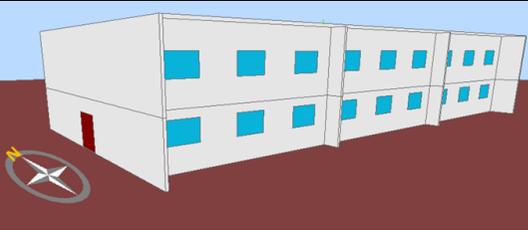
Fonte: Domus, adaptado.

Quadro 12: Resumo simulação de eficiência energética - Bloco salas de aula- Arcoverde

Arcoverde/ Zona Bioclimática 7			
Bloco Salas de Aula			
			
Orientação 1- Acesso a Norte	Orientação 2- Acesso a Leste	Orientação 3- Acesso a Sul	Orientação 4- Acesso a Oeste
 <p><b>Eficiência Energética PBE Edifica</b> Projeto Edifício</p> <p>Nome: Bloco Salas de Aula/IFPE Endereço: Orientação 1 Cidade/UF: Arcoverde/PE Data:</p> <p>Pontuação: 4,70 Bonificações: 0</p> <p>Menos eficiente</p> <p><b>Sistemas Individuais</b></p> <p>Envoltória: Zona Bioclimática: 7 Iluminação: Área Iluminada (m²): 716,44 Condicionamento do ar</p> <p>Indicador de consumo da envoltória: 370.225</p> <p>Consumo energético anual: 189.256,50KWh</p>	 <p><b>Eficiência Energética PBE Edifica</b> Projeto Edifício</p> <p>Nome: Bloco Salas de Aula/IFPE Endereço: Orientação 2 Cidade/UF: Arcoverde/PE Data:</p> <p>Pontuação: 4,70 Bonificações: 0</p> <p>Menos eficiente</p> <p><b>Sistemas Individuais</b></p> <p>Envoltória: Zona Bioclimática: 7 Iluminação: Área Iluminada (m²): 716,44 Condicionamento do ar</p> <p>Indicador de consumo da envoltória: 374.497</p> <p>Consumo energético anual: 191.285,40KWh</p>	 <p><b>Eficiência Energética PBE Edifica</b> Projeto Edifício</p> <p>Nome: Bloco Salas de Aula/IFPE Endereço: Orientação 3 Cidade/UF: Arcoverde/PE Data:</p> <p>Pontuação: 4,70 Bonificações: 0</p> <p>Menos eficiente</p> <p><b>Sistemas Individuais</b></p> <p>Envoltória: Zona Bioclimática: 7 Iluminação: Área Iluminada (m²): 716,44 Condicionamento do ar</p> <p>Indicador de consumo da envoltória: 370.225</p> <p>Consumo energético anual: 189.113,20KWh</p>	 <p><b>Eficiência Energética PBE Edifica</b> Projeto Edifício</p> <p>Nome: Bloco Salas de Aula/IFPE Endereço: Orientação 4 Cidade/UF: Arcoverde/PE Data:</p> <p>Pontuação: 4,70 Bonificações: 0</p> <p>Menos eficiente</p> <p><b>Sistemas Individuais</b></p> <p>Envoltória: Zona Bioclimática: 7 Iluminação: Área Iluminada (m²): 716,44 Condicionamento do ar</p> <p>Indicador de consumo da envoltória: 370.225</p> <p>Consumo energético anual: 189.665,20KWh</p>
Indicador de consumo da envoltória: 370.225	Indicador de consumo da envoltória: 374.497	Indicador de consumo da envoltória: 370.225	Indicador de consumo da envoltória: 370.225
Consumo energético anual: 189.256,50KWh	Consumo energético anual: 191.285,40KWh	Consumo energético anual: 189.113,20KWh	Consumo energético anual: 189.665,20KWh

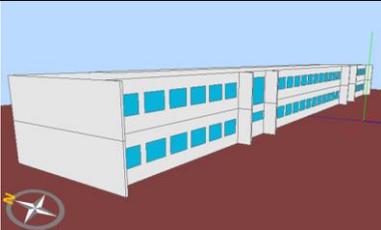
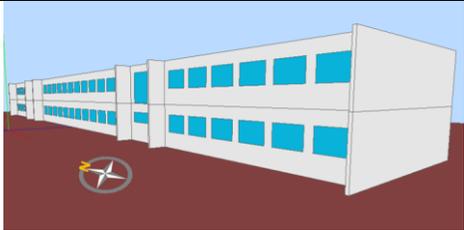
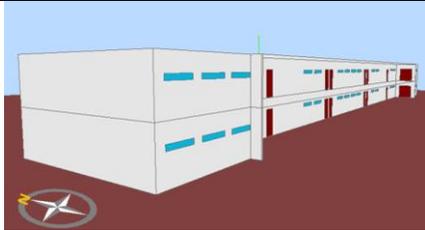
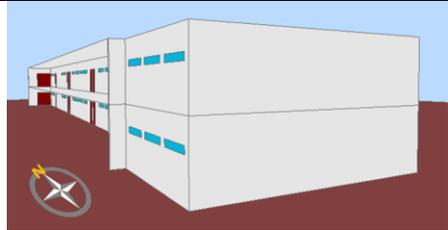
Fonte: Domus, adaptado.

Quadro 13: Resumo simulação de eficiência energética - Bloco administrativo-Recife

Recife/ Zona Bioclimática 8																																							
Bloco Administrativo																																							
																																							
Orientação 1- Acesso a Norte	Orientação 2- Acesso a Leste	Orientação 3- Acesso a Sul	Orientação 4- Acesso a Oeste																																				
<p><b>Eficiência Energética PBE Edifica</b> Projeto Edifício</p> <p>Nome: Bloco Administrativo/IFPE Endereço: Orientação 1 Cidade/UF: Recife/PE Data: _____</p> <p>Pontuação: 4.10 Bonificações: 0</p>  <p>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</p> <p><b>Sistemas Individuais</b></p> <table border="1"> <tr> <td><b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 8</td> <td><b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 1132.56</td> <td><b>Condicionamento do ar</b></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</td> <td>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</td> <td>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</td> </tr> </table> <p>PRCEL PROGRAMA RESPONSABILIDADE ETCORPORAÇÃO MUNICÍPIO DE RECIFE Domus PUCPR</p>	<b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 8	<b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 1132.56	<b>Condicionamento do ar</b>				Mais eficiente A B C D E Menos eficiente	Mais eficiente A B C D E Menos eficiente	Mais eficiente A B C D E Menos eficiente	<p><b>Eficiência Energética PBE Edifica</b> Projeto Edifício</p> <p>Nome: Bloco Administrativo/IFPE Endereço: Orientação 2 Cidade/UF: Recife/PE Data: _____</p> <p>Pontuação: 4.10 Bonificações: 0</p>  <p>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</p> <p><b>Sistemas Individuais</b></p> <table border="1"> <tr> <td><b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 8</td> <td><b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 1132.56</td> <td><b>Condicionamento do ar</b></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</td> <td>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</td> <td>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</td> </tr> </table> <p>PRCEL PROGRAMA RESPONSABILIDADE ETCORPORAÇÃO MUNICÍPIO DE RECIFE Domus PUCPR</p>	<b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 8	<b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 1132.56	<b>Condicionamento do ar</b>				Mais eficiente A B C D E Menos eficiente	Mais eficiente A B C D E Menos eficiente	Mais eficiente A B C D E Menos eficiente	<p><b>Eficiência Energética PBE Edifica</b> Projeto Edifício</p> <p>Nome: Bloco Administrativo/IFPE Endereço: Orientação 3 Cidade/UF: Recife/PE Data: _____</p> <p>Pontuação: 4.10 Bonificações: 0</p>  <p>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</p> <p><b>Sistemas Individuais</b></p> <table border="1"> <tr> <td><b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 8</td> <td><b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 1132.56</td> <td><b>Condicionamento do ar</b></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</td> <td>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</td> <td>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</td> </tr> </table> <p>PRCEL PROGRAMA RESPONSABILIDADE ETCORPORAÇÃO MUNICÍPIO DE RECIFE Domus PUCPR</p>	<b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 8	<b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 1132.56	<b>Condicionamento do ar</b>				Mais eficiente A B C D E Menos eficiente	Mais eficiente A B C D E Menos eficiente	Mais eficiente A B C D E Menos eficiente	<p><b>Eficiência Energética PBE Edifica</b> Projeto Edifício</p> <p>Nome: Bloco Administrativo/IFPE Endereço: Orientação 4 Cidade/UF: Recife/PE Data: _____</p> <p>Pontuação: 4.10 Bonificações: 0</p>  <p>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</p> <p><b>Sistemas Individuais</b></p> <table border="1"> <tr> <td><b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 8</td> <td><b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 1132.56</td> <td><b>Condicionamento do ar</b></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</td> <td>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</td> <td>Mais eficiente A B C D E Menos eficiente</td> </tr> </table> <p>PRCEL PROGRAMA RESPONSABILIDADE ETCORPORAÇÃO MUNICÍPIO DE RECIFE Domus PUCPR</p>	<b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 8	<b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 1132.56	<b>Condicionamento do ar</b>				Mais eficiente A B C D E Menos eficiente	Mais eficiente A B C D E Menos eficiente	Mais eficiente A B C D E Menos eficiente
<b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 8	<b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 1132.56	<b>Condicionamento do ar</b>																																					
																																							
Mais eficiente A B C D E Menos eficiente	Mais eficiente A B C D E Menos eficiente	Mais eficiente A B C D E Menos eficiente																																					
<b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 8	<b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 1132.56	<b>Condicionamento do ar</b>																																					
																																							
Mais eficiente A B C D E Menos eficiente	Mais eficiente A B C D E Menos eficiente	Mais eficiente A B C D E Menos eficiente																																					
<b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 8	<b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 1132.56	<b>Condicionamento do ar</b>																																					
																																							
Mais eficiente A B C D E Menos eficiente	Mais eficiente A B C D E Menos eficiente	Mais eficiente A B C D E Menos eficiente																																					
<b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 8	<b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 1132.56	<b>Condicionamento do ar</b>																																					
																																							
Mais eficiente A B C D E Menos eficiente	Mais eficiente A B C D E Menos eficiente	Mais eficiente A B C D E Menos eficiente																																					
Indicador de consumo da envoltória:278.110	Indicador de consumo da envoltória:280.193	Indicador de consumo da envoltória:278.308	Indicador de consumo da envoltória:273.665																																				
Consumo energético anual 227.972KWh	Consumo energético anual 225.397KWh	Consumo energético anual 226.145KWh	Consumo energético anual 228.666KWh																																				

Fonte: Domus, adaptado.

Quadro 14: Resumo simulação de eficiência energética - Bloco salas de aula-Recife

Recife/ Zona Bioclimática 8																											
Bloco Salas de Aula																											
																											
Orientação 1- Acesso a Norte	Orientação 2- Acesso a Leste	Orientação 3- Acesso a Sul	Orientação 4- Acesso a Oeste																								
<p><b>Eficiência Energética PBE Edifica Projeto Edifício</b></p> <p>Nome: Bloco Salas de Aula - IFPE Endereço: Orientação 1 Cidade/UF: Recife/PE Data:</p> <p>Pontuação: 4,70 Bonificações: 0</p> <p>Menos eficiente</p> <p><b>A</b></p> <p><b>Sistemas Individuais</b></p> <table border="1"> <tr> <td><b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 8</td> <td><b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 716,44</td> <td><b>Condicionamento do ar</b></td> </tr> <tr> <td>Menos eficiente</td> <td>Menos eficiente</td> <td>Menos eficiente</td> </tr> </table> <p>PRÓCEL, PROGRAMA INSULTEC, INIBRASIL, Domus, PUCPR</p>	<b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 8	<b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 716,44	<b>Condicionamento do ar</b>	Menos eficiente	Menos eficiente	Menos eficiente	<p><b>Eficiência Energética PBE Edifica Projeto Edifício</b></p> <p>Nome: Bloco Salas de Aula - IFPE Endereço: Orientação 2 Cidade/UF: Recife/PE Data:</p> <p>Pontuação: 4,70 Bonificações: 0</p> <p>Menos eficiente</p> <p><b>A</b></p> <p><b>Sistemas Individuais</b></p> <table border="1"> <tr> <td><b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 8</td> <td><b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 716,44</td> <td><b>Condicionamento do ar</b></td> </tr> <tr> <td>Menos eficiente</td> <td>Menos eficiente</td> <td>Menos eficiente</td> </tr> </table> <p>PRÓCEL, PROGRAMA INSULTEC, INIBRASIL, Domus, PUCPR</p>	<b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 8	<b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 716,44	<b>Condicionamento do ar</b>	Menos eficiente	Menos eficiente	Menos eficiente	<p><b>Eficiência Energética PBE Edifica Projeto Edifício</b></p> <p>Nome: Bloco Salas de Aula - IFPE Endereço: Orientação 3 Cidade/UF: Recife/PE Data:</p> <p>Pontuação: 4,70 Bonificações: 0</p> <p>Menos eficiente</p> <p><b>A</b></p> <p><b>Sistemas Individuais</b></p> <table border="1"> <tr> <td><b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 8</td> <td><b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 716,44</td> <td><b>Condicionamento do ar</b></td> </tr> <tr> <td>Menos eficiente</td> <td>Menos eficiente</td> <td>Menos eficiente</td> </tr> </table> <p>PRÓCEL, PROGRAMA INSULTEC, INIBRASIL, Domus, PUCPR</p>	<b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 8	<b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 716,44	<b>Condicionamento do ar</b>	Menos eficiente	Menos eficiente	Menos eficiente	<p><b>Eficiência Energética PBE Edifica Projeto Edifício</b></p> <p>Nome: Bloco Salas de Aula - IFPE Endereço: Orientação 4 Cidade/UF: Recife/PE Data:</p> <p>Pontuação: 4,70 Bonificações: 0</p> <p>Menos eficiente</p> <p><b>A</b></p> <p><b>Sistemas Individuais</b></p> <table border="1"> <tr> <td><b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 8</td> <td><b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 716,44</td> <td><b>Condicionamento do ar</b></td> </tr> <tr> <td>Menos eficiente</td> <td>Menos eficiente</td> <td>Menos eficiente</td> </tr> </table> <p>PRÓCEL, PROGRAMA INSULTEC, INIBRASIL, Domus, PUCPR</p>	<b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 8	<b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 716,44	<b>Condicionamento do ar</b>	Menos eficiente	Menos eficiente	Menos eficiente
<b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 8	<b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 716,44	<b>Condicionamento do ar</b>																									
Menos eficiente	Menos eficiente	Menos eficiente																									
<b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 8	<b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 716,44	<b>Condicionamento do ar</b>																									
Menos eficiente	Menos eficiente	Menos eficiente																									
<b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 8	<b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 716,44	<b>Condicionamento do ar</b>																									
Menos eficiente	Menos eficiente	Menos eficiente																									
<b>Envoltória</b> Zona Bioclimática: 8	<b>Iluminação</b> Área Iluminada (m²): 716,44	<b>Condicionamento do ar</b>																									
Menos eficiente	Menos eficiente	Menos eficiente																									
Indicador de consumo da envoltória:421.341	Indicador de consumo da envoltória:449.165	Indicador de consumo da envoltória:421.341	Indicador de consumo da envoltória:421.341																								
Consumo energético anual 208.601,50KWh	Consumo energético anual 197.142,60KWh	Consumo energético anual 199.846,90KWh	Consumo energético anual 199.304,70KWh																								

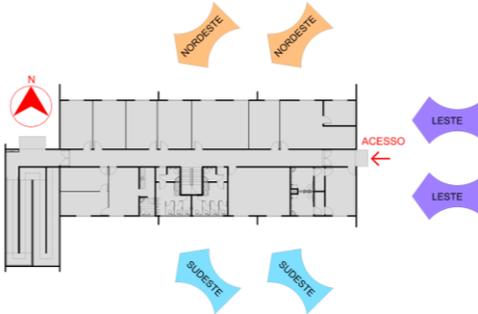
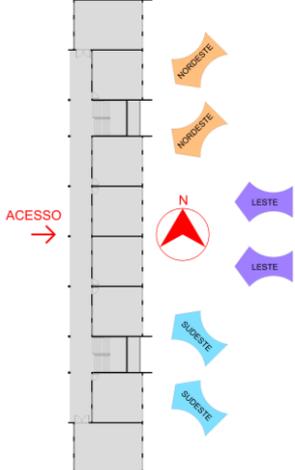
Fonte: Domus, adaptado.

### 3.1 RECOMENDAÇÕES PARA CONFORTO AMBIENTAL COM AUMENTO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Nesta seção, retomamos os dados climáticos das cidades estudadas para observar possíveis reduções no consumo energético dos blocos administrativo e salas de aula de forma que proporcione conforto ao usuário.

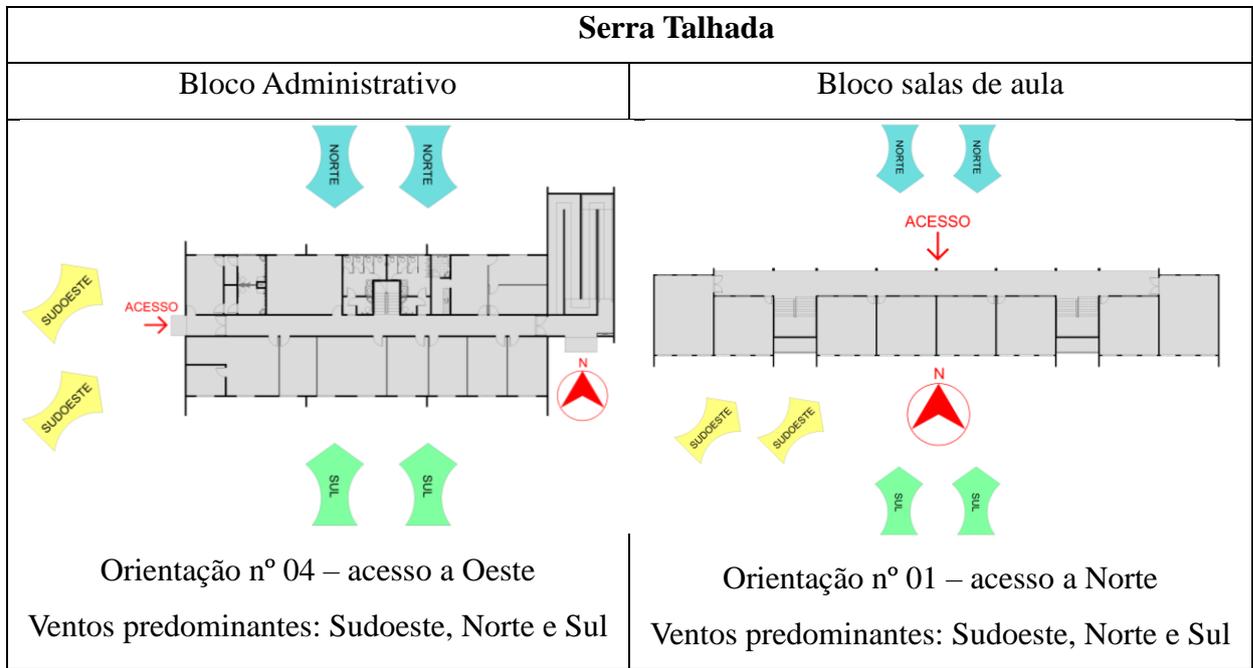
Tendo em vista que, mesmo possuindo um nível "A" de eficiência, o sistema de condicionamento de ar é o uso final que mais consome energia nas edificações estudadas, cerca de 60%, identificou-se nos quadros 15 a 18 qual a orientação geográfica as aberturas captam melhor os ventos predominantes e permite maior aproveitamento da ventilação natural em cada uma das localidades.

Quadro 15: Orientação geográfica indicada para Garanhuns

<b>Garanhuns</b>	
Bloco Administrativo	Bloco salas de aula
 <p>Orientação nº 02 – acesso a Leste Ventos predominantes: Sudeste, Leste e Nordeste</p>	 <p>Orientação nº 04 – acesso a Oeste Ventos predominantes: Sudeste, Leste e Nordeste</p>

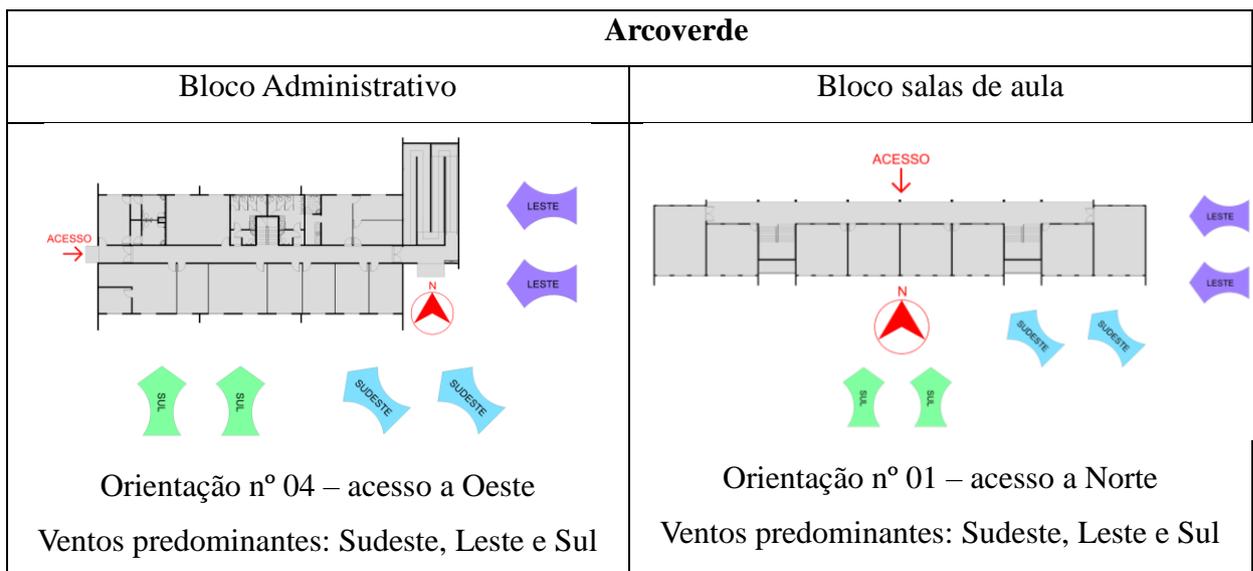
Fonte: Autora.

Quadro 16: Orientação geográfica indicada para Serra Talhada



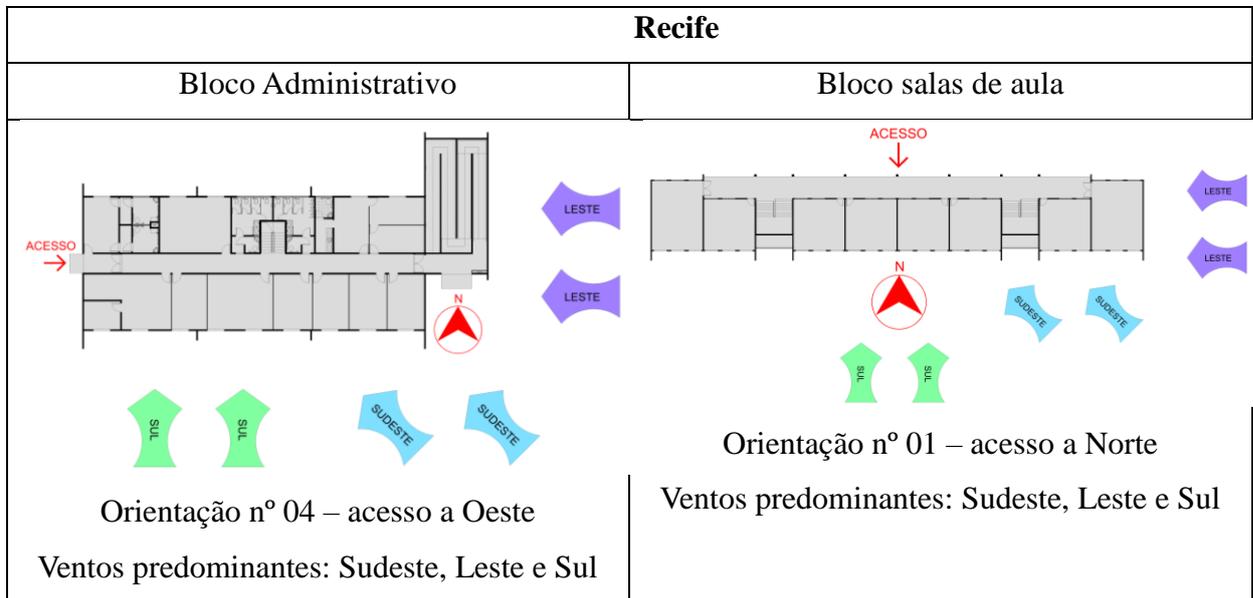
Fonte: Autora.

Quadro 17: Orientação geográfica indicada para Arcoverde



Fonte: Autora.

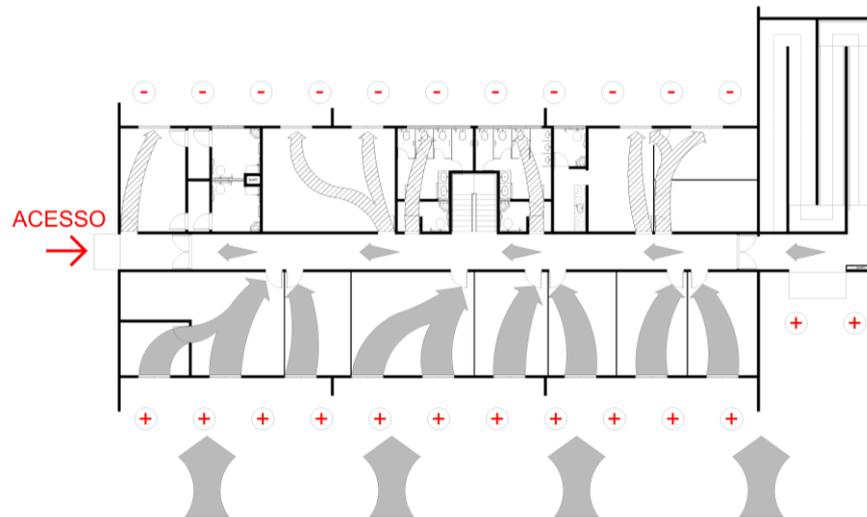
Quadro 18: Orientação geográfica indicada para Recife



Fonte: Autora.

Analisando a entrada e distribuição dos ventos nas edificações temos que no bloco administrativo a tipologia adotada – com uma circulação central e salas em ambos os lados – diminui a eficiência da ventilação. Os ambientes voltados para a fachada na qual os ventos incidem (fachada a barlavento) serão ventilados caso a porta também esteja aberta, proporcionando ventilação cruzada. Porém, para alcançar os ambientes após a circulação, além das portas abertas o vento precisa vencer a resistência das paredes internas, mobiliário, etc. Na figura 28, as setas representam como a ventilação predominante adentram o bloco administrativo. Desta forma, metade dos ambientes do bloco administrativo sempre terá ventilação prejudicada. Além deste aspecto, a atividade de escritório necessita de equipamentos eletrônicos que aumentam a carga térmica interna. Por esses dois motivos, que dificultam garantir que a ventilação natural proporcionará conforto ao usuário, as simulações foram feitas apenas considerando-o condicionado artificialmente durante todo o expediente.

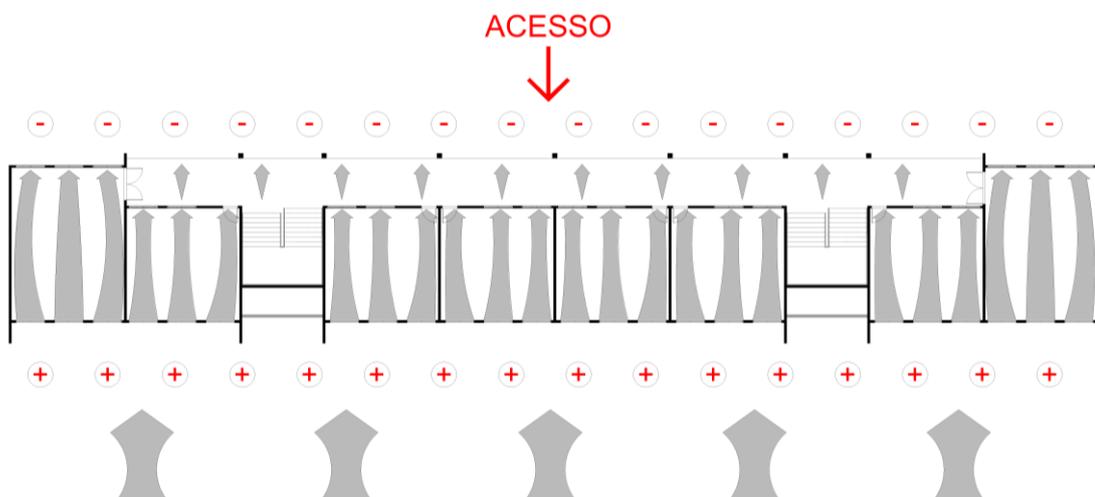
Figura 29: Esquema de ventilação natural no interior do bloco administrativo



Fonte: Autora.

Já no bloco salas de aula a tipologia da edificação favorece a ventilação natural pois duas fachadas dos ambientes estão voltadas para o exterior, ou seja, o vento percorre apenas um ambiente, encontrando menor resistência, além das salas terem janelas em paredes opostas que proporciona a ventilação cruzada, mesmo com as portas dos ambientes fechadas. Nas figuras 29, as setas representam como a ventilação predominante adentram o bloco salas de aula.

Figura 30: Esquema de ventilação natural no interior do bloco salas de aula



Fonte: Autora.

Considerando o exposto no item 2.3 (caracterização climática das cidades), que em todas as localidades estudadas existe um percentual de horas anuais nas quais é possível obter conforto sem o uso de condicionadores de ar, estimou-se – com base no consumo anual da orientação indicada para o melhor aproveitamento da ventilação natural – a redução no consumo e no custo energético do bloco salas de aula, conforme tabela 14.

Para a cidade de Garanhuns, o desligamento do sistema de condicionamento de ar em 30,61% das horas anuais reduziria o custo com energia elétrica em R\$15.136; em Serra Talhada, o desligamento em 55,25% das horas anuais baixaria o custo com energia elétrica em R\$30.269; em Arcoverde, a ausência do ar condicionado em 49,76% das horas anuais economizaria R\$26.208; e em Recife, o desligamento do sistema de condicionamento de ar em 37,24% das horas anuais pouparia R\$21.619 (Tabela 15).

Tabela 15: Comparativo de consumo energético - bloco salas de aula

<b>Bloco Salas de aula</b>				
	<b>Garanhuns</b>	<b>Serra Talhada</b>	<b>Arcoverde</b>	<b>Recife</b>
Consumo energético anual com ar cond.	177.667,4KWh	196.857,7KWh	189.256,5KWh	208.601,5KWh
Custo com ar cond.	R\$82.411,64	R\$91.308,50	R\$87.782,84	R\$96.755,63
Percentual de horas anuais sem ar cond.	30,61%	55,25%	49,76%	37,24%
Estimativa do consumo energético anual com ar cond. parcialmente	145044,4 KWh	131599,4 KWh	132752,1 KWh	161991,6 KWh
Estimativa de custo com ar cond. parcialmente	R\$67.275,92	R\$61.039,74	R\$61.574,4	R\$75.136,55

Fonte: Domus, adaptado.

As épocas indicadas para o desligamento do sistema de condicionamento de ar são quando a temperatura está entre 20°C e 29°C e a umidade relativa do ar entre 60% e 80%. Garanhuns, Serra Talhada e Arcoverde têm ocorrência dessas condições de conforto em todos

os meses, e Recife de junho a fevereiro. Em todos os casos essas condições são majoritariamente nos períodos matutino e noturno.

A eficiência da ventilação natural depende – além dos aspectos mencionados sobre a tipologia da edificação – da direção e velocidades dos ventos, do relevo do terreno, das interferências no entorno imediato, das dimensões e posições das aberturas; e assim como todas as variáveis climáticas, os dados existentes são estimativas de padrões de ocorrências históricas, pois isso são previsões e podem sofrer alterações.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de projeto padrão pelas instituições públicas é uma tendência no Brasil. No caso do Instituto Federal de Pernambuco, tendo em vista que o programa de necessidades das edificações é inicialmente o mesmo, diferenciando-se apenas os locais onde serão construídas, utilizar um projeto padrão dá celeridade ao processo burocrático de contratação e desenvolvimento de projetos.

Entretanto, com a diversidade climática brasileira, ocorre que uma mesma edificação pode não ser eficiente energeticamente e confortável ao usuário sendo construída em localidades de perfil bioclimático distinto. Características como o tamanho e posição das aberturas, ângulo de sombreamento das proteções solares e materiais de revestimento e acabamento devem ser projetadas de acordo com as diretrizes de cada zona bioclimática, visando o melhor desempenho na eficiência energética e conforto ambiental.

Optando-se por utilizar o projeto padrão para as edificações, o arranjo das mesmas em cada terreno deve ser estudado quanto à relação com o entorno imediato, topografia, acessos e principalmente à orientação geográfica das edificações. Conforme verificado nesta pesquisa, ainda que seja possível realizar estas adequações e obter pelo RTQ-C a ENCE nível "A", acredita-se que a arquitetura desenvolvida no contexto espacial, climático, histórico e da paisagem de cada caso especificamente obterá melhores soluções projetuais.

Os projetos padrão das edificações bloco administrativo e bloco salas de aula obtiveram um desempenho nível "A" no quesito envoltória para as quatro diferentes zonas bioclimáticas de Pernambuco. Apesar de ambos os blocos apresentarem eficiência satisfatória, ficou evidente que a tipologia do bloco de sala de aulas terá melhor conforto ambiental quando utilizada a ventilação natural, pois a ventilação cruzada percorrerá todos os ambientes da edificação.

Verificou-se um problema no dimensionamento do sistema de iluminação com potência excessiva nos dois blocos, que podem ser facilmente solucionados, ainda na etapa de projeto, com a redução da quantidade de lâmpadas, desde que não prejudique a visibilidade necessária para a atividade desenvolvida no ambiente.

O sistema de ar condicionado obteve desempenho adequado na eficiência energética, de acordo com a metodologia do RTQ-C. Entretanto, este regulamento não considera a relação entre a quantidade e capacidade dos condicionadores de ar e a dimensão dos

ambientes, portanto além desta avaliação, recomenda-se verificar o dimensionamento adequado através de memórias de cálculos dos projetos de climatização.

Esperava-se que as simulações revelassem perfis de eficiência energética divergentes, pois foram avaliadas cidades representantes de quatro das oito zonas bioclimáticas brasileiras. Entretanto, o projeto arquitetônico das edificações consegue minimizar a influência do meio externo pela especificação de emprego de materiais com bons índices de isolamento térmico e com o sombreamento das fachadas, mas principalmente porque os ambientes foram condicionados.

A edificação com as esquadrias fechadas e os condicionadores de ar ligados durante todo o horário de simulação homogeneizou os resultados, reduzindo a influência do clima externo no conforto e eficiência energética. Possivelmente, uma simulação da edificação com as esquadrias abertas, ou seja, com o uso da ventilação natural e sem condicionamento de ar, apontaria maiores diferenças entre as zonas bioclimáticas. Entretanto, em nenhuma das situações estudadas existe condição de conforto apenas com o uso de ventilação natural durante todos os dias do ano, e para realizar simulações mistas é necessário configurar os períodos exatos de abertura da edificação. Seria benéfico que, a partir dos dados climáticos das cidades, o *software* identificasse as condições favoráveis de temperatura e umidade para utilização da ventilação natural e indicasse intervalos de tempo propícios ao desligamento dos condicionadores de ar. Tal análise contribuiria para a eficiência energética na etapa de uso e operação das edificações, servindo como um guia para os usuários.

Destaca-se a importância do aproveitamento da ventilação natural na redução do consumo energético das edificações. Para aproveitar este potencial, sempre que o projeto padrão for implantado em uma nova localidade, ainda que numa mesma zona bioclimática, deve ser estudada a melhor orientação quanto à ventilação predominante. Além disso, podem ser realizadas campanhas de conscientização para o uso consciente dos sistemas condicionadores de ar, ao incentivar o usuário a observar a sensação térmica e optar pela ventilação natural sempre que possível.

Ressalta-se a importância da execução das obras conforme definido na documentação projetual para manter as etiquetas obtidas a partir da avaliação em projeto após a execução. A qualidade dos materiais da envoltória é essencial para que as edificações construídas reflitam as características físico-químicas especificadas, como a transmitância, a capacidade térmica e a absorvância. No caso de necessidade de substituição de materiais da envoltória durante a obra, devem ser feitas novas avaliações, pois, como verificado no exemplo da alteração da cobertura, um único material pode modificar a etiqueta de eficiência energética da edificação.

A eficiência energética e o consumo energético consciente são instrumentos da gestão ambiental para evitar novas crises energéticas no Brasil e no mundo, juntamente com o estímulo à utilização de energias renováveis. A exigência de edificações públicas eficientes energeticamente é recente no Brasil e tende a se estender para os demais tipos de edificações, sendo, portanto, de caráter obrigatório o conhecimento e aplicação pelos arquitetos e urbanistas. As ferramentas de simulação computacional permitem o manejo dos dados climáticos com facilidade para criação de realidades virtuais que antecipam a ocorrência de problemas e a criação de soluções e tecnologias para garantir a eficiência energética das edificações.

Faz-se necessário ainda, repensar sobre a formação profissional nesse contexto e a necessidade de incorporação da questão do desempenho energético como variável projetual em visão integrada. E não somente como conteúdo de disciplinas isoladas de conforto ambiental. Assim como a exploração interdisciplinar de programas computacionais como parte de procedimento projetual, com vista à produção de edificações mais sustentáveis

Espera-se que este estudo da eficiência energética em edificações de um *campus* padrão do IFPE, contribua para melhoria da qualidade ambiental e minimização de custos com operação e manutenção, permitindo melhor utilização dos recursos disponíveis. Além de servir como referência para os demais *campi* e para procedimentos projetuais e de contratação de projetos futuros desta e de outras instituições.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAM, Roberto Sabatella. Princípios do ecoedifício: interação entre ecologia, consciência e edifício. São Paulo: Aquariana, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-2: 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.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro, 2003.

BCSD, 2013. Relatório Síntese do programa EEE - Eficiência Energética em Edifícios.

BITTENCOURT, Leonardo.; CANDIDO, Christina. **Introdução à ventilação natural.** 4. ed. rev. Maceió: EDUFAL, 2015.

BORGES, Aline Vieira; MORAES, Anselmo Fábio. Edifícios públicos: caminhos para a concepção de projetos sustentáveis. PROJETA, 6., 2013, Salvador. **Anais...** Salvador: UFBA, 2013.

BRAGA, Benedito. **Introdução a Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável.** São Paulo: PEARSON Prentice Hall, 2005.

BRASIL. MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. Instrução Normativa Nº02/2014. Disponível em: <<http://www.comprasgovernamentais.gov.br/paginas/instrucoes-normativas/instrucao-normativa-no-2-de-4-de-junho-de-2014>>. Acesso em: 10 fev. 2015.

CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO DE EFICIENCIA ENERGETICA. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={8E03DCDE-FAE6-470C-90CB-922E4DD0542C}>>. Acesso em: 18 fev. 2015.

CGB BRASIL. Green Building Council Brasil. Certificação LEED. Disponível em:<<http://www.gbcbrazil.org.br/sobre-certificado.php>> Acesso em: 10 fev. 2015.

CONDEPE/FIDEM. Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco. **Anuário estatístico de Pernambuco 2015.** Governo do Estado de Pernambuco, 2015. Disponível em: <<http://www.anuario.pe.gov.br/wp-content/uploads/downloads/2017/01/3.1.1-Tipologia-Climatica.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2017.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos - conforto ambiental.** Rio de Janeiro: Revan, 2003.

DIDONÉ, Evelise Leite; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de

edificações. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 139-154, 2010. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/12108>>. Acesso em: 01 dez. 2014.

EASTMAN, C. et al. Manual de BIM – um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Trad. Cervantes Gonçalves Ayres Filho et al. Porto Alegre: Bookman, 2014.

EDWARDS, Brian. **O guia básico para a sustentabilidade**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2008.

FREIRE, Márcia Rebouças; AMORIM, Arivaldo Leão de. A abordagem BIM como contribuição para a eficiência energética no ambiente construído. In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 5., 2011, Salvador. **Anais...** Salvador: UFBA, 2011.

FROTA, Anésia; SCHIFFER, Sueli. **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo, Studio Nobel, 2001.

GIVONI, B. Comfort, Climate Analysis and Building Design Guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Disponível em: <[http://www2.inmetro.gov.br/pbe/conheca\\_o\\_programa.php](http://www2.inmetro.gov.br/pbe/conheca_o_programa.php)>. Acesso em: 18 fev. 2015.

KINSEL, Luciane. **Avaliação do conforto e da energia em edifícios residenciais de Porto Alegre**. 2009. 194 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/22673>>. Acesso em: 11 out. 2015.

LABEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina.s/d. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/>>. Acesso em: 10 set. 2015.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. Eficiência energética na arquitetura. [3.ed.] Rio de Janeiro, 2014.

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

MARINHA DO BRASIL. Serviço Meteorológico Marinho. Escala de Beaufort. Disponível em: <[https://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/refer/escala\\_beaufort.htm](https://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/refer/escala_beaufort.htm)> Acesso em: 09 jan. 2017.

MENDES, Nathan; WESTPHAL, Fernando Simon; LAMBERTS, Roberto; CUNHA NETO, José A. Bellini da. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, v. 5, n. 4, p. 47-68, 2005. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/3657/2013>>. Acesso em: 01 dez. 2014.

NUNES DA SILVA, Edelci; RIBEIRO, Helena, SANTANA, Paula. Clima e saúde em contextos urbanos: uma revisão da literatura. **Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales**. Barcelona: Universidad de Barcelona, 2014, v. XIX, n. 1092. Disponível em: <<http://www.ub.es/geocrit/b3w-1092.htm>>. Acesso em: 09 jan. 2017.

RORIZ, Maurício. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro**. São Carlos, SP. ANTAC, 2012. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>> Acesso em: 15 fev. 2016.

S3E. Simulador Eficiência Energética em Edificações. Disponível em: <<http://www.s3e.ufsc.br/>>. Acesso em: 10 fev. 2015.

SALGADO, Mônica Santos; CHATELET, Alain; FERNANDEZ, Pierre. Produção de edifícios sustentáveis: desafios e alternativas. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 4, p. 81-99, 2012. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/22603>>. Acesso em: 09 jan. 2015.

SANTOS, E. T. Tecnologia Orçamentária. Guia da Construção, São Paulo, mai. 2009. Seção Entrevista. Disponível em: <<http://revista.construcaomercado.com.br/guia/habitacao-financiamento-imobiliario/94/entrevista-133084-1.asp>>. Acesso em: 15 mai. 2016.

VELOSO, Ana Carolina de Oliveira. Análise comparativa do desempenho dos programas Domus e Energyplus. 2012. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) - Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1843/MMMD-94EQWK>>. Acesso em: 19 jun. 2016.

YEANG, Ken. **Proyectar con la naturaleza**: bases ecológicas para el proyecto arquitectónico. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1995.

ZBBR. Classificação Bioclimática dos Municípios Brasileiros. Versão 1.1. Programa de Pós Graduação em Construção Civil. Universidade Federal de São Carlos. São Paulo, 2004.

**ANEXO – PROJETOS ARQUITETÔNICOS DAS EDIFICAÇÕES ESTUDADAS**