



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE, TECNOLOGIA E SOCIEDADE  
MESTRADO EM AMBIENTE, TECNOLOGIA E SOCIEDADE

PAOLO AMÉRICO DE OLIVEIRA

**INFLUÊNCIA DOS ELEMENTOS DE ENVOLTÓRIA NO DESEMPENHO TERMO-  
ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS INSTITUCIONAIS NO CLIMA TROPICAL  
SEMIÁRIDO**

MOSSORÓ

2017

PAOLO AMÉRICO DE OLIVEIRA

**INFLUÊNCIA DOS ELEMENTOS DE ENVOLTÓRIA NO DESEMPENHO TERMO-  
ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS INSTITUCIONAIS NO CLIMA TROPICAL  
SEMIÁRIDO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus de Mossoró, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ambiente, Tecnologia e Sociedade.

Linha de Pesquisa: Tecnologias Sustentáveis e Recursos Naturais do Semi-Árido

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Diana Gonçalves Lunardi

MOSSORÓ

2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)

Setor de Informação e Referência (SIR)

O48i Oliveira, Paulo Américo de.  
Influência dos elementos de envoltória no desempenho termo-energético de edifícios institucionais no clima tropical semiárido / Paulo Américo de Oliveira. - 2017.  
84 f. : il.

Orientadora: Diana Gonçalves Lunardi.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Ambiente, Tecnologia e Sociedade, 2017.

1. arquitetura bioclimática. 2. eficiência energética. 3. simulação computacional. I. Lunardi, Diana Gonçalves, orient. II. Título.

PAOLO AMÉRICO DE OLIVEIRA

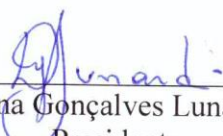
**INFLUÊNCIA DOS ELEMENTOS DE ENVOLTÓRIA NO DESEMPENHO TERMO-ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS INSTITUCIONAIS NO CLIMA TROPICAL SEMIÁRIDO**

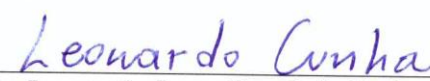
Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus de Mossoró, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ambiente, Tecnologia e Sociedade.

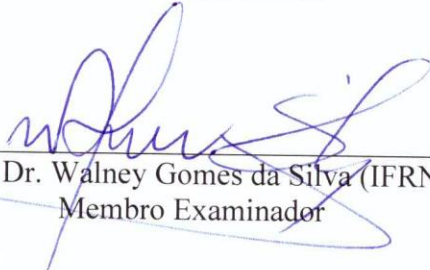
Linha de Pesquisa: Tecnologias Sustentáveis e Recursos Naturais do Semi-Árido.

Defendida em: 20 / 02 / 2017.

**BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Diana Gonçalves Lunardi (UFERSA)  
Presidenta

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Leonardo Jorge Brasil de Freitas Cunha (UFERSA)  
Membro Examinador

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Walney Gomes da Silva (IFRN)  
Membro Examinador

## **NOTA**

Esta dissertação é apresentada na forma de artigo científico, acrescida de introdução geral, referencial teórico e referências bibliográficas. O manuscrito aqui apresentado foi submetido para a revista *Ambiente & Sociedade* (Qualis A2 na Área: Ciências Ambientais), ID: ASOC-2016-0280 em 06/12/2016 e segue a formatação exigida pela revista.

*Dedico à minha amada esposa Aliny e à minha amada mãe Noélia.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha querida orientadora Diana Gonçalves Lunardi, por toda dedicação e pela transmissão de conhecimentos que contribuíram imensamente para guiar os rumos deste estudo.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ambiente, Tecnologia e Sociedade por todas as contribuições doadas ao estudo e à minha formação.

Agradeço à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) pela disponibilização de informações essenciais à realização desta pesquisa.

Agradeço aos meus colegas de turma e do Ecomol pelas inúmeras ajudas e contribuições.

Agradeço aos meus colegas da Superintendência de Infraestrutura (SIN/UFERSA) pelo apoio e pela imensa torcida.

*Alguém está sentado na sombra hoje porque  
alguém plantou uma árvore há muito tempo.*

Warren Buffet



## RESUMO

A eficiência energética em edifícios está relacionada à adequação da edificação ao clima no qual está situado. Estudos direcionados à arquitetura bioclimática e à eficiência energética de edifícios em clima tropical semiárido brasileiro ainda são escassos. Com a implantação de instrumentos que estabelecem recomendações arquitetônicas diferenciadas de acordo com a situação climática, se faz necessária à disseminação de informações estratégicas para o planejamento e produção de edifícios mais adequados ao uso otimizado da eletricidade. Desse modo, este estudo propõe uma análise da influência das variáveis arquitetônicas no consumo de energia elétrica de edificações institucionais situadas na UFERSA, Campus de Mossoró/RN, cujo clima é tropical semiárido. Para tanto, foram coletados dados por meio dos projetos arquitetônicos destas edificações e em vistorias *in loco*. As informações registradas foram relativas à: caracterização morfológica dos edifícios, identificação de características como o número de pavimentos, disposição e uso dos ambientes, orientação cardinal das fachadas, disposição de elementos transparentes como janelas e portas e as propriedades térmicas dos materiais que compõem os sistemas construtivos utilizados. Para avaliação de desempenho termo-energético destes parâmetros, foi utilizado o programa *EnergyPlus*, que simula o consumo de eletricidade predial ao longo do ano, baseado em modelos similares aos edifícios alvos deste estudo. A partir destes procedimentos, identificou-se que as variáveis arquitetônicas estudadas influenciaram diretamente o consumo de energia elétrica de edificações e foi proposta uma listagem de recomendações a serem seguidas para que as futuras construções de edifícios em clima tropical semiárido sejam termicamente mais eficientes.

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

## ABSTRACT

Energy efficiency in buildings is related to the accommodation of the building to the local climate. Studies on the bioclimatic architecture and energy efficiency of buildings in the Brazilian semiarid tropical climate are still rare. With an implementation of instruments establishing differentiated architectural recommendations, according to the climatic situation, the planning and building more suitable for optimal use of electricity buildings is necessary. This study analyzes the influence of the architectural variables in the electricity consumption of institutional buildings located on the campus UFERSA, Mossoró/RN, whose climate is tropical semi-arid. For this, data were collected through architectural projects and surveys in the buildings. Information registered were related to: morphological characterization of buildings, identification of characteristics such as number of floors, arrangement and use of environments, cardinal orientation of facades, arrangement of transparent elements such as windows and doors and the thermal properties of the materials in constructive systems used. For the evaluation of thermal and energetic performance of the identified parameters was used *EnergyPlus*, that estimates the electricity consumption of land throughout the year using similar models simulating the target buildings in this study. From this procedure, it was found that the architectural variables directly influence the energy consumption of buildings and a list of recommendations was proposed to be followed so that the future constructions of buildings in semiarid tropical climate be more thermal and energetic efficient.

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

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: a) Mapa de Roma na época imperial e b) vista aérea da cidade de Trípoli na Líbia.	22
Figura 2: a) Edificações cujos revestimentos se caracterizam pelo uso de cores claras, localizadas na ilha grega de Santorini e b) residência com cobertura de alta inclinação, situada na Suécia.....	23
Figura 3: a) Esquema da utilização dos recursos naturais disponíveis em uma moradia semienterrada, situada no Grã-Bretanha e b) esquema do aproveitamento da ventilação e da iluminação natural no Hospital Sarah Kubitschek em Salvador/BA.....	25
Figura 4: Distribuição climática do Brasil segundo a classificação de Köppen.....	27
Figura 5: Municípios brasileiros situados em clima tropical semiárido.....	28
Figura 6: Localização do município de Mossoró/RN (quadrado) em relação ao zoneamento bioclimático brasileiro proposto na NBR 15220-3.....	29
Figura 7: Carta Psicrométrica do município de Mossoró/RN. ....	35
Figura 8: ENCE da edificação construída. ....	38
Figura 9: a) Localização do Campus da UFERSA em relação à Zona Urbana do Município de Mossoró/RN e b) localização das três edificações estudadas no Campus Leste da UFERSA em Mossoró/RN.....	68
Figura 10: Edifícios estudados – a) Central de Aulas 3, b) Central de Aulas 6 e c) Laboratório de Química, Física e Matemática. ....	69
Figura 11: Modelos simulados dos três Casos Base – a) Central de Aulas 3, b) Central de Aulas 6 e c) Lab. de Química, Física e Matemática. ....	70

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Custos e retornos financeiros para o período de 20 anos para Escolas Sustentáveis e Escritórios Sustentáveis.....	33
Gráfico 2: Influência da absorvância e da transmitância térmica dos elementos de envoltória no consumo de eletricidade anual e do sistema de condicionamento de ar em relação às três edificações investigadas na Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró, RN: Central de Aulas 3 (CA3), Central de Aulas 6 (CA6) e Laboratório de Química, Física e Matemática (QFM).....	56
Gráfico 3: Influência das características geométricas e de implantação da edificação no consumo de eletricidade anual e do sistema de condicionamento de ar em relação às três edificações investigadas na Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró, RN: Central de Aulas 3 (CA3), Central de Aulas 6 (CA6) e Laboratório de Química, Física e Matemática (QFM).....	58
Gráfico 4: Consumo de eletricidade anual e do sistema de condicionamento de ar dos modelos de referência conforme a classificação de eficiência energética em relação as três edificações investigadas na Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró, RN: Central de Aulas 3 (CA3), Central de Aulas 6 (CA6) e Laboratório de Química, Física e Matemática (QFM).....	59
Gráfico 5: Percentual de consumo anual de eletricidade por uso final – a) Central de Aulas 3, b) Central de Aulas 6 e c) Laboratório de Química, Física e Matemática. ....	74
Gráfico 6: Consumo mensal de eletricidade por uso final - a) Central de Aulas 3, b) Central de Aulas 6 e c) Laboratório de Química, Física e Matemática.. ....	75

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Rotina de uso e ocupação adotada nas simulações das edificações estudadas na Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró, RN, no programa <i>EnergyPlus</i> . .....	53
--	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados do consumo de energia elétrica simulado no programa <i>EnergyPlus</i> em relação às três edificações investigadas na Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró, RN: Central de Aulas 3 (CA3), Central de Aulas 6 (CA6) e Laboratório de Química, Física e Matemática (QFM). .....	54
Tabela 2: Consumo de eletricidade por uso final no Central de Aulas 3. ....	71
Tabela 3: Consumo de eletricidade por uso final no Central de Aulas 6. ....	72
Tabela 4: Consumo de eletricidade por uso final no Laboratório de Química, Física e Matemática. ....	73
Tabela 5: Absortância térmica de cobertura - Central de Aulas 3.....	76
Tabela 6: Absortância térmica de cobertura - Central de Aulas 6.....	76
Tabela 7: Absortância térmica de cobertura - Laboratório de Química, Física e Matemática. ....	76
Tabela 8: Absortância térmica de paredes externas - Central de Aulas 3 .....	77
Tabela 9: Absortância térmica de paredes externas - Central de Aulas 6 .....	77
Tabela 10: Absortância térmica de paredes externas - Laboratório de Química, Física e Matemática .....	77
Tabela 11: Transmitância térmica de cobertura - Central de Aulas 3 .....	78
Tabela 12: Transmitância térmica de cobertura - Central de Aulas 6 .....	78
Tabela 13: Transmitância térmica de cobertura - Laboratório de Química, Física e Matemática .....	78
Tabela 14: Transmitância térmica de paredes externas - Central de Aulas 3.....	79
Tabela 15: Transmitância térmica de paredes externas - Central de Aulas 6.....	79
Tabela 16: Transmitância térmica de paredes externas - Laboratório de Química, Física e Matemática .....	79
Tabela 17: Percentual de abertura de fachada - Central de Aulas 3 .....	80
Tabela 18: Percentual de abertura de fachada - Central de Aulas 6 .....	80

Tabela 19: Percentual de abertura de fachada - Laboratório de Química, Física e Matemática .....	80
Tabela 20: Ângulo vertical de sombreamento das aberturas - Central de Aulas 3.....	81
Tabela 21: Ângulo vertical de sombreamento das aberturas - Central de Aulas 6.....	81
Tabela 22: Ângulo vertical de sombreamento das aberturas - Laboratório de Química, Física e Matemática .....	81
Tabela 23: Orientação cardeal da fachada principal - Central de Aulas 3 .....	82
Tabela 24: Orientação cardeal da fachada principal - Central de Aulas 6 .....	82
Tabela 25: Orientação cardeal da fachada principal - Laboratório de Química, Física e Matemática .....	82
Tabela 26: Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - Central de Aulas 3.....	83
Tabela 27: Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - Central de Aulas 6.....	83
Tabela 28: Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - Laboratório de Química, Física e Matemática .....	83

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers
CA3	Central de Aulas 3
CA6	Central de Aulas 6
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
GT-Edificações	Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País
PIB	Produto Interno Bruto
Procel	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
QFM	Laboratório de Química, Física e Matemática
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RAC	Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido



## LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

%	Porcentagem
°	Grau
°C	Grau Celsius
Km	Quilômetro
KWh/ano	Quilowatt-hora por ano
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
mm	Milímetro
MWh/ano	Megawatt-hora por ano
W/m <sup>2</sup> .K	Watts por metro quadrado vezes Kelvin

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL .....	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	29
2.1	Desenvolvimento sustentável e a produção energética no Brasil .....	29
2.2	Clima, arquitetura e conforto térmico humano .....	32
2.3	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia para Edifícios.....	36
2.4	Simulação computacional no programa <i>EnergyPlus</i> .....	41
	REFERÊNCIAS .....	42
3	MANUSCRITO: INFLUÊNCIA DOS ELEMENTOS DE ENVOLTÓRIA NO DESEMPENHO TERMO-ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS INSTITUCIONAIS NO CLIMA TROPICAL SEMIÁRIDO .....	47
	APÊNDICE A: FICHAS PARA COLETA DE DADOS ARQUITETÔNICOS.....	64
	APÊNDICE B: ÁREA DE ESTUDO.....	68
	APÊNDICE C: IMAGENS DOS MODELOS SIMULADOS.....	70
	APÊNDICE D: RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES.....	71
	APÊNDICE E: DIRETRIZES PARA OBTENÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO “NÍVEL A” NA ENCE DE EDIFICAÇÕES NOVAS E/OU REFORMADAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO .....	84

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

No âmbito da gestão pública, o consumo de energia elétrica em escala nacional deve ser encarado como elemento estratégico para sustentação do desenvolvimento econômico (POOLE; GELLER, 1997). O desempenho econômico de um país ao longo do tempo, expresso pelo Produto Interno Bruto – PIB, e a demanda por energia estão diretamente interligados pelo fato de que a energia elétrica e a energia proveniente dos combustíveis são as principais forças motrizes das diversas cadeias produtivas, desde a Revolução Industrial. A necessidade de garantir o contínuo fornecimento de energia ao país é de extrema importância para que o poder público e o mercado possam fomentar o crescimento da atividade industrial e o desenvolvimento do setor terciário. Para isso, é essencial que sejam feitos investimentos capazes de afastar os riscos de interrupções ou colapsos no fornecimento de eletricidade. A falta de garantias quanto ao fornecimento de eletricidade cria um cenário de incertezas que influencia negativamente a tomada de decisões dos agentes políticos, econômicos e financeiros. Portanto, a geração de eletricidade é um fator estratégico e determinante para o tipo de conduta a ser adotada pelo mercado e pelos investidores em relação às perspectivas financeiras em escala nacional e quanto à competitividade do país no cenário macroeconômico (POOLE; GELLER, 1997).

É possível associar diversos impactos socioambientais negativos diretos e indiretos provocados pelo uso inadequado de equipamentos elétricos que provoca o desperdício de eletricidade nos edifícios. Como exemplo, pode-se citar a necessidade de construção de novas usinas geradoras de energia elétrica, o encarecimento das tarifas pelo aumento da demanda por eletricidade, combinado à tendência de escassez na geração de energia elétrica, a produção de resíduos sólidos e a emissão de gás carbônico durante todos esses processos (KATS, 2014). A energia elétrica consumida ao longo da vida útil da edificação representa um dos maiores custos operacionais de um empreendimento, a depender do tipo de fonte, o consumo de eletricidade também é potencialmente responsável por uma parcela relevante das emissões de gases que potencializam o efeito estufa (CASALS, 2006; FAY; TRELOAR; IYER-RANIGA, 2000). Por isso, projetos que levem em consideração meios de operação mais eficientes têm se tornado mais comuns, seja por meio de programas voluntários, ou estabelecidos por meio de legislação com caráter obrigatório.

Os sistemas de certificação ambiental e/ou energética são normativas geralmente desenvolvidas para avaliação do desempenho de empreendimentos novos ou pré-existent

nas etapas de planejamento, construção/reforma ou na fase de operação. As certificações ambientais de edifícios são aplicáveis em diversas tipologias arquitetônicas como residências, condomínios, loteamentos, escolas, unidades comerciais e indústrias. Entre os principais objetivos dos sistemas de certificação ambiental de edifícios está a fixação de parâmetros que definam uma edificação como sustentável (PÉREZ-LOMBARD *et al.*, 2009; REY; VELASCO; VARELA, 2007; STANKEVICIUS; KARBAUSKAITE; MONSTVILAS, 2007). Um outro aspecto é o estímulo à práticas sustentáveis no setor da construção civil, seja por meio do aumento da sensibilização do consumidor sobre os benefícios financeiros, seja em relação à qualidade de vida proporcionada pelas edificações sustentáveis.

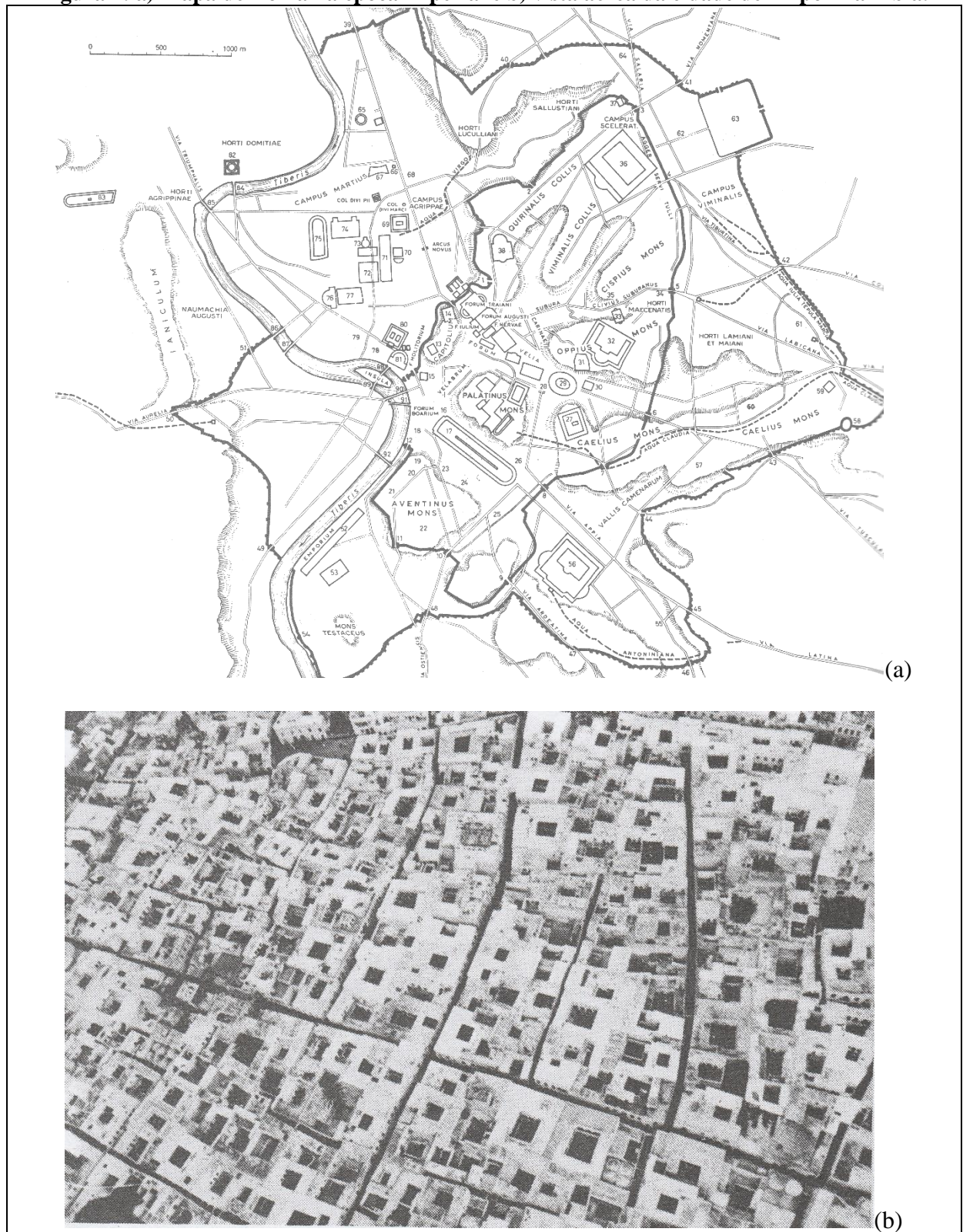
Com a aprovação da Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001 (BRASIL, 2001b), que criou a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e a regulamentação desta, através do Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001 (BRASIL, 2001a), foram instituídas medidas visando à redução do desperdício de energia e de recursos naturais no país através da otimização do uso da eletricidade e de combustíveis. A partir da publicação das Portarias nº 372/2010 e nº 50/2013 pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - Inmetro (2010; 2013), possibilitou-se a aplicação da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE de Edifícios e estabeleceu-se os parâmetros técnicos e processuais para que fossem avaliados os edifícios comerciais, de serviço e públicos em caráter voluntário, responsáveis por 4,7% do consumo de todas as fontes de energia consumidas no país (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015b). A publicação da Instrução Normativa nº 2, de 4 de junho de 2014 (MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO, 2014), tornou compulsória para as instituições públicas federais, a adequação às regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia e o uso da ENCE nos projetos de edificações públicas federais novas ou que sejam reformadas. A desobrigação da avaliação das edificações por meio da ENCE, por um determinado período, justificou-se para que se permitisse ao mercado da construção civil no Brasil e ao poder público, o tempo necessário à adequação dessas novas exigências por meio da capacitação de profissionais e da criação e desenvolvimento da infraestrutura de inspeção necessária.

A arquitetura bioclimática invoca um conceito novo de arquitetura, com enfoque principal relacionado à sustentabilidade. Mas as soluções adaptadas ao contexto climático são tradicionalmente utilizadas desde a antiguidade. Observa-se que o desenho urbano das cidades romanas (Figura 1a), jardins e outros monumentos possui relação com a orientação solar para

promoção de luz e salubridade (BENEVOLO, 2015). A utilização de pátios internos nos edifícios e o desenho de centros urbanos compactos, constituídos de ruas estreitas (Figura 1b), característicos dos povos que habitaram as regiões áridas da península arábica, do norte da África e da América Central são exemplos de configurações espaciais que visam à adequação dos espaços habitáveis às condições climáticas. Outros elementos que corroboram com esta perspectiva são a adição de fontes e espelhos d'água nestes ambientes para proporcionar o resfriamento evaporativo (ROMERO, 2013).

A utilização dos sistemas construtivos para adequação da temperatura do ar no interior dos edifícios é o ponto mais comum a se referir quando salientada a influência da arquitetura bioclimática na eficiência energética dos edifícios. Um bom exemplo de arquitetura resultante desta preocupação pode ser verificado nos edifícios com fachadas e coberturas revestidos ou pintados em cor branca, localizados na costa mediterrânea e do Mar Egeu (Figura 2a). Devido à alta refletividade da cor branca, permite-se que haja uma menor absorção da radiação solar pela construção (DORNELLES; RORIZ, 2007; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; SZOKOLAY, 2008). Outro arquétipo de arquitetura adequada às condições climáticas são as residências e os chalés encontrados nas regiões com inverno rigoroso, cujos telhados possuem altas inclinações (Figura 2b). A cobertura íngreme dessas edificações facilita o caimento da neve e amplifica a captação de calor pelo aumento da área de exposição aos raios solares (JUANICÓ, 2009).

Figura 1: a) Mapa de Roma na época imperial e b) vista aérea da cidade de Trípoli na Líbia.



Fonte: Benevolo (2015).



**Figura 2: a) Edificações cujos revestimentos se caracterizam pelo uso de cores claras, localizadas na ilha grega de Santorini e b) residência com cobertura de alta inclinação, situada na Suécia.**



Fonte: a) Barrison (2009) e b) Lindman.

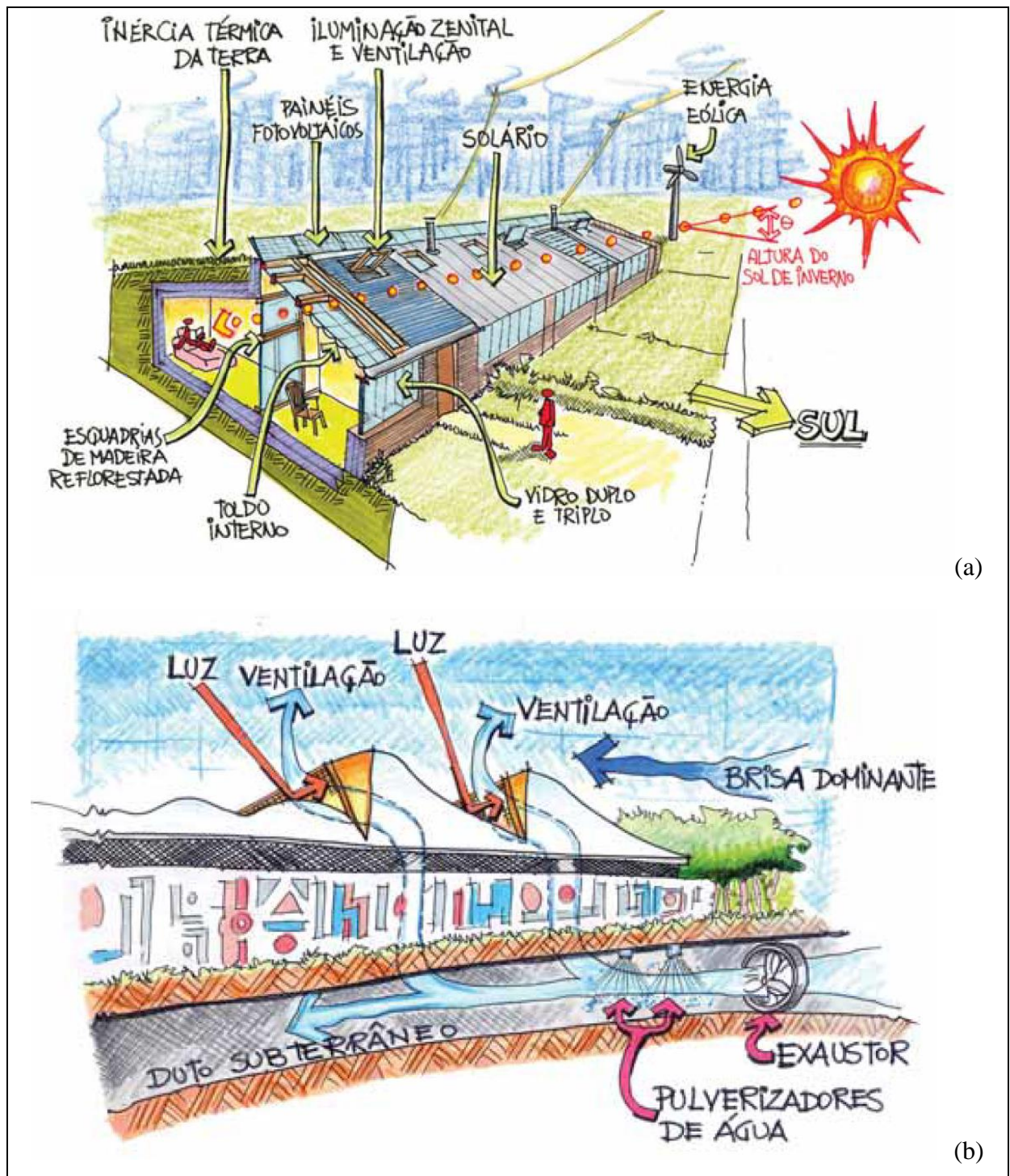
Durante a Revolução Industrial, foi possível o aperfeiçoamento técnico dos sistemas de condicionamento artificial de ar. Com os sistemas de condicionamento ativos, houve o decréscimo da importância dos elementos arquitetônicos para o desempenho térmico da edificação (GIVONI, 1969). Mas no decorrer do século XX, percebeu-se que o custo de operação das edificações se tornava uma despesa relevante durante as décadas de funcionamento de uma edificação. É possível verificar que em edifícios de escritórios em países desenvolvidos, o custo com a manutenção e a energia elétrica está entre 10 e 20% do custo total do empreendimento durante o ciclo de vida. Este custo pode representar até 10 vezes o montante investido inicialmente para construção da edificação, que normalmente

representa entre 1 e 2% do custeio total. Desse modo, as despesas com eletricidade são superadas apenas pelas despesas com os recursos humanos envolvidos no processo, se considerarmos todos os custos presentes desde o planejamento do edifício até a sua demolição (KATS, 2014).

A arquitetura bioclimática pode ser entendida como o tipo de arquitetura que objetiva o *design* de edifícios de modo a adaptá-los eficazmente ao contexto climático do local onde estas construções estão situadas. Neste tipo de arquitetura, as condições climáticas são os principais elementos definidores do *design* da edificação durante o processo de concepção e desenvolvimento do projeto arquitetônico (SZOKOLAY, 2008). Nesse percurso, objetiva-se a maximização da utilização dos recursos naturais disponíveis para minimizar os potenciais impactos ambientais negativos provocados pelo edifício, entre estes, o consumo energético durante o ciclo de vida da construção/edifício. Para obtenção de desempenho térmico satisfatório, devem ser exploradas configurações arquitetônicas que otimizem a utilização dos recursos naturais disponíveis tais como, a insolação, o uso de vegetação (Figura 3a), o aproveitamento das águas das chuvas, o uso da ventilação e da iluminação natural (Figura 3b). Estas conformações têm a finalidade de melhorar o aproveitamento do condicionamento térmico na promoção do conforto ambiental no interior desses edifícios (BECKER; POTCHTER; YAAKOV, 2003; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; SZOKOLAY, 2008). Com estas adequações arquitetônicas é possível reduzir os impactos ambientais negativos provocados pelo edifício e também a utilização de sistemas mecânicos de condicionamento de ar, diminuindo o consumo de eletricidade para adequação da temperatura interna dos ambientes às condições de conforto térmico (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). A adoção de configurações arquitetônicas ou técnicas que representem acréscimos no valor inicialmente investido para a construção do edifício pode ser compensada pelo decréscimo de gastos de custeio da energia elétrica utilizada ao longo das décadas de uso da edificação (FAY; TRELOAR; IYER-RANIGA, 2000). Desse modo, a edificação torna-se adaptada ao clima, financeiramente e ambientalmente sustentável (KATS, 2014).



Figura 3: a) Esquema da utilização dos recursos naturais disponíveis em uma moradia semienterrada, situada no Grã-Bretanha e b) esquema do aproveitamento da ventilação e da iluminação natural no Hospital Sarah Kubitschek em Salvador/BA.



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

Os princípios da arquitetura bioclimática implicam em adequar o *design* do projeto arquitetônico às condições climáticas do local onde está inserido o edifício, sendo possível otimizar o consumo de energia com sistemas de condicionamento de ar e de iluminação

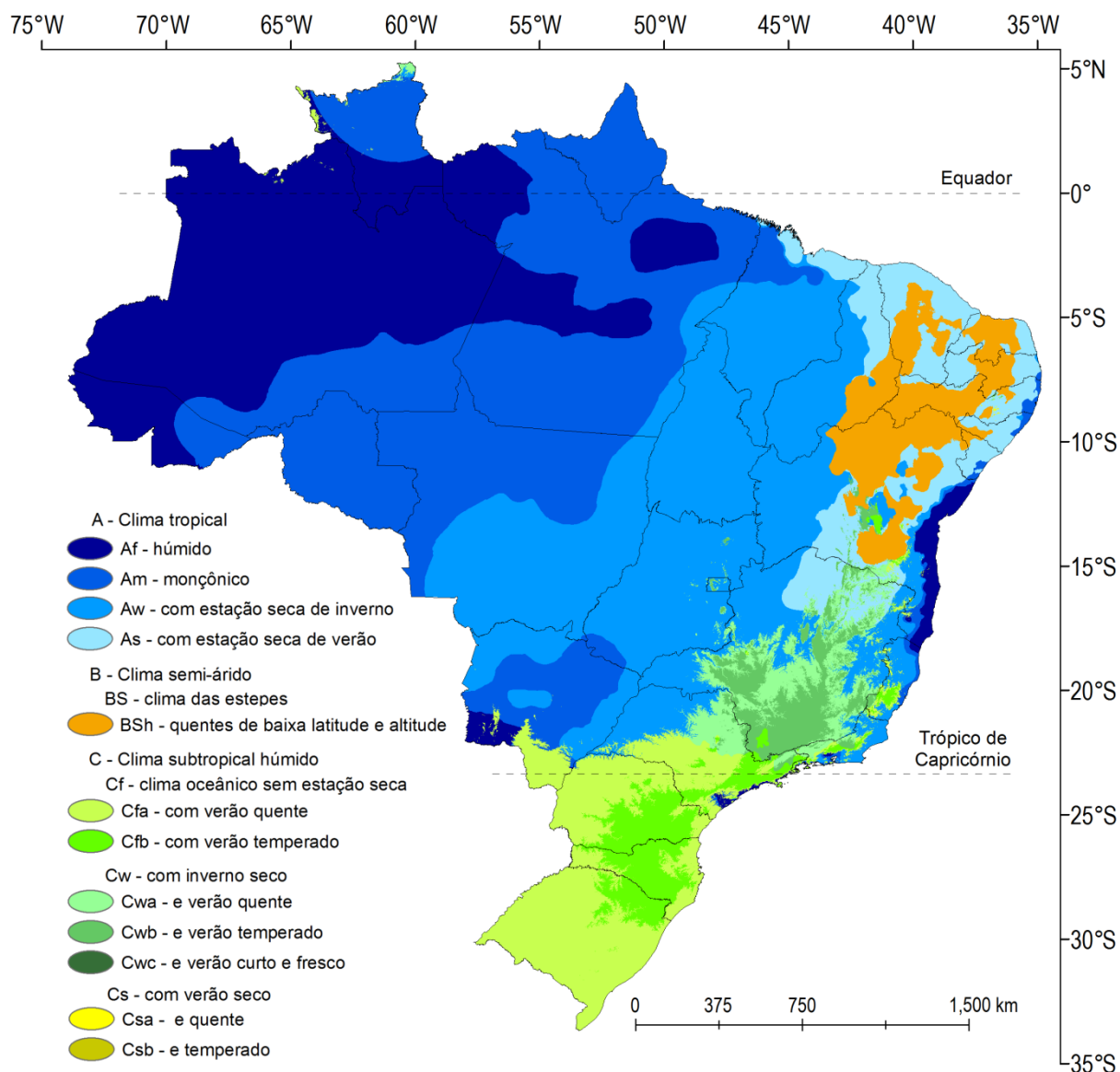
artificial. Quando o contexto climático induz a alterações das condições ambientais no interior do edifício, é necessária a utilização de meios ativos de obtenção do conforto térmico, como sistemas de ventilação, aquecimento ou refrigeração dos ambientes, e é nesses processos que é consumida grande parcela da energia elétrica destinada aos edifícios (KATS, 2014; LAMBERTS *et al.*, 2007). Algumas estratégias podem ser utilizadas no projeto arquitetônico, visando à redução dos impactos das intempéries climáticas no edifício. A depender do tipo de clima, o uso de ventilação natural noturna e de componentes construtivos massivos são indicados nos edifícios situados em climas do tipo quente e seco (GIVONI, 1992). Portanto, as características construtivas podem ser combinadas de modo a evitar situações indesejadas quanto ao conforto térmico dos ocupantes e quanto ao consumo excessivo de eletricidade.

No Brasil, a porção do território caracterizada pelo clima semiárido (Figura 4) ainda possui poucos profissionais e poucas experiências direcionadas à eficiência energética e à aplicação da ENCE de Edifícios. Para esse contexto climático específico, normativas apresentam recomendações arquitetônicas diferenciadas em relação ao restante do país no que se refere ao uso otimizado da eletricidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b). Desse modo, a quase inexistência de estudos relacionados aos edifícios nesse contexto, pode resultar na ocorrência de atrasos na disseminação de informações estratégicas para o planejamento e produção de edifícios mais adequados ao clima tropical semiárido. Tendo como base a conservação dos recursos naturais e a política brasileira de eficiência energética atualmente disponível, busca-se investigar neste estudo, os aspectos que interferem na eficiência do sistema de envoltória da edificação<sup>1</sup> e que estão diretamente relacionados ao desempenho do edifício quanto ao consumo de energia elétrica (ver FROTA; SCHIFFER, 2001; GIVONI, 1969; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; SZOKOLAY, 2008). Na análise dos componentes construtivos dos edifícios, objetos deste estudo, será investigada a relação entre as propriedades térmicas destes e o comportamento térmico resultante das características arquitetônicas nas condições de conforto ambiental no interior do edifício e no consumo de eletricidade.

---

<sup>1</sup> Envoltória do edifício é o conjunto de elementos construtivos que estão em contato direto com o meio exterior, ou seja, que compõe os fechamentos dos ambientes (PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2013). São exemplos de elementos de envoltória, telhas e forros, paredes externas, janelas e portas.

**Figura 4: Distribuição climática do Brasil segundo a classificação de Köppen.**

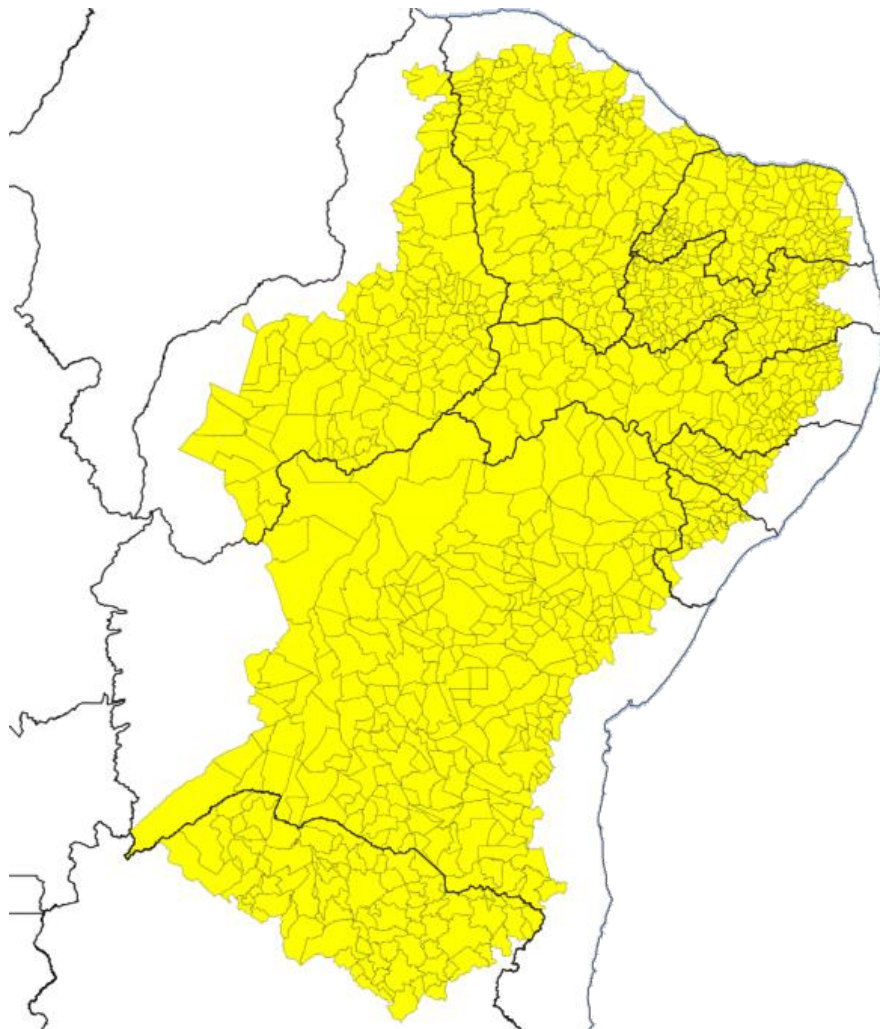


Fonte: Alvares, *et al.* (2013).

A investigação que se pretende desenvolver objetiva analisar como a configuração arquitetônica influencia no consumo de energia elétrica de edifícios situados no clima semiárido de Mossoró/RN, e o quanto o *design* do edifício pode ser determinante no consumo de energia elétrica dessas edificações localizadas no clima tropical semiárido (Figura 5). Espera-se que o resultado obtido possa ser utilizado como uma das bases para a elaboração de diretrizes construtivas para edificações públicas localizadas em regiões do país semelhantes ao município de Mossoró/RN (Figura 6) de modo a otimizar o consumo de eletricidade e para identificar os aspectos determinantes para a classificação “Nível A” quanto à aplicação Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE.

Conforme é especificado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005a), zona bioclimática é a região geográfica homogênea, na qual os elementos climáticos interferem de modo semelhante nas relações entre ambiente construído e conforto humano. Portanto, o zoneamento bioclimático brasileiro delimita regiões semelhantes quanto ao clima e quanto às recomendações arquitetônico-construtivas, o que permite a aplicabilidade dos resultados a serem obtidos nessa pesquisa na região do país com clima tropical semiárido e de baixa latitude, denominada de zona bioclimática 7 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b).

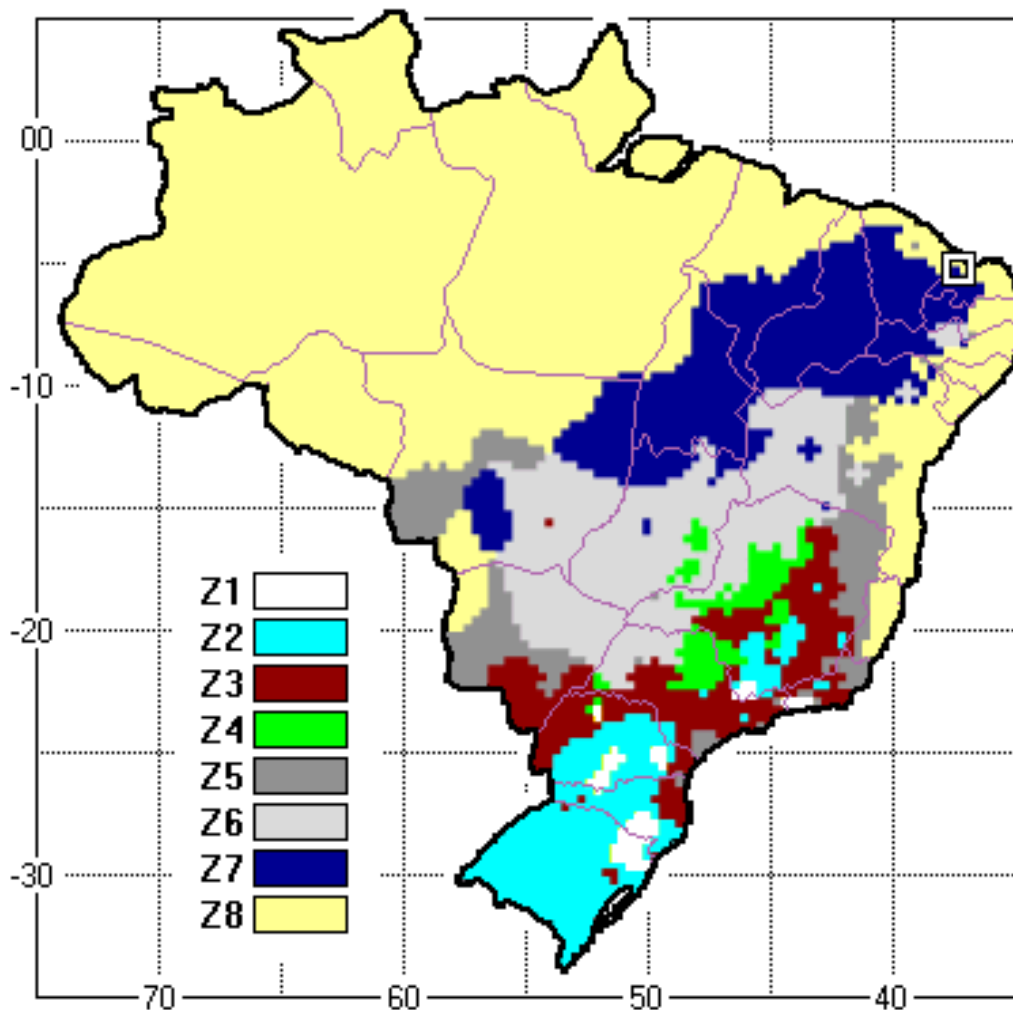
**Figura 5: Municípios brasileiros situados em clima tropical semiárido.**



Fonte: Ministério da Integração Nacional.



**Figura 6: Localização do município de Mossoró/RN (quadrado) em relação ao zoneamento bioclimático brasileiro proposto na NBR 15220-3.**



Fonte: adaptado a partir do programa ZBBR 1.0.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A PRODUÇÃO ENERGÉTICA NO BRASIL

O entendimento de desenvolvimento sustentável pressupõe que haja equilíbrio no conjunto de relações socioambientais durante o processo de aperfeiçoamento tecnológico e científico pelo qual as sociedades se destinam. Para tanto, devem ser considerados todos os aspectos e elementos capazes de modificar ou serem afetados pela ação humana. A sustentabilidade, portanto, influencia diretamente as escolhas que pressupõem os padrões de consumo, as formas de produção, a seguridade social e alimentar e os valores éticos capazes de permitir

plenas condições de desenvolvimento às gerações futuras (DOS SANTOS, 2004). A emissão de poluentes provenientes de atividades produtivas, como o uso de fontes matrizes poluidoras, tem se intensificado de maneira crescente desde a Revolução Industrial (ZHU, 2006).

O fornecimento e a produção energética no Brasil, entre a segunda metade do século XX e o início do século XXI, adquiriram importância para a manutenção da saúde econômica nacional. Em âmbito global, a eletricidade tornou-se o principal motor da indústria e o meio determinante para o modo de vida que se estabeleceu a partir do século XX, com a intensificação do processo de urbanização demográfica no país (GOLDEMBERG, 1998; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007). No Brasil, durante o ano de 2014, aproximadamente 63,2% da geração de eletricidade, entre todas as fontes, foi proveniente de usinas hidroelétricas (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015a). Ou seja, o país possui uma matriz energética majoritariamente renovável, mas este tipo de matriz energética é dependente do regime de chuvas que reabastece os reservatórios das usinas hidrelétricas. Portanto, em um período de estiagem prolongada, podem ocorrer problemas de produção de energia elétrica, devido à diminuição do nível dos reservatórios, sendo necessário o uso de fontes poluentes para manter as atividades econômicas em sua plenitude (PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015).

No início da década de 2000, ocorreu no Brasil um colapso no sistema de geração e distribuição de eletricidade, no qual foi possível observar as consequências econômicas negativas que podem resultar de uma crise na cadeia de produção e no abastecimento de energia, sendo necessário nesse contexto, o racionamento e, até mesmo, a restrição do uso de eletricidade no país. Esse período de racionamento de energia elétrica, ocorrido em 2001, no qual o governo federal precisou instituir diversas ações para reduzir o consumo energético, é considerado como um marco para o desenvolvimento das políticas nacionais de conservação de energia (PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015).

A aprovação da Lei nº 10.295/2001 no Congresso Nacional, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia configurou a primeira de uma série de medidas tomadas para evitar colapsos no sistema de abastecimento de energia. A partir desta lei, foram estabelecidas algumas diretrizes que visavam a economia e a racionalização do uso de energia em meio ao crescente consumo ocorrido nas últimas décadas (BRASIL, 2001b). Ainda durante o ano de 2001, foi aprovado o Decreto nº 4.059, que regulamenta algumas das diretrizes criadas pela Lei nº 10.295, entre as quais, a que institui a criação do Comitê Gestor

de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE e do Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País – GT-Edificações (BRASIL, 2001a). Este último teve a missão de elaborar os procedimentos para avaliação da eficiência energética dos edifícios construídos no Brasil. A importância estratégica que o GT-Edificações assumira, possui relação direta com a destinação final da energia elétrica no Brasil, pois é sabido que as edificações brasileiras foram responsáveis por 49,9% do consumo de energia elétrica no ano de 2014 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015a).

O consumo de energia elétrica no Brasil tem apresentado índices constantes de crescimento desde os anos 1990 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007). Dados do Ministério de Minas e Energia (2015a) demonstram que as fontes de energia utilizadas no país para geração de eletricidade contribuem para que a matriz energética brasileira seja majoritariamente renovável e que produza, proporcionalmente, menos gás carbônico por unidade de eletricidade gerada. Isso ocorre porque grande percentual de toda a energia produzida no país provém de fontes menos poluentes, destacando-se a eletricidade produzida por usinas hidrelétricas. O país teve no ano de 2014, 44% da sua oferta interna de energia elétrica e combustíveis, proveniente de fontes renováveis (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015b), enquanto que no mundo, cerca de 22,8% da matriz energética provém de fontes renováveis (RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY, 2015). No Brasil, o uso de combustíveis fósseis como fonte energética é primordialmente destinado para combustível de veículos e para a indústria, sendo este tipo de fonte, pouco utilizado em edifícios, diferentemente dos países de clima temperado e frio que fazem uso de derivados do petróleo e do gás natural para o aquecimento predial nos meses de inverno (GOLDEMBERG, 1998; POOLE; HOLLANDA; TOLMASQUIM, 1998). Os edifícios podem ser considerados como elementos estratégicos para o equilíbrio entre os níveis de produção energética e o consumo previsto nas próximas décadas (GOLDEMBERG, 1998). O consumo de eletricidade nas edificações é geralmente proveniente de causas conhecidas, como o uso de condicionamento artificial de ar, aquecimento de água, e as soluções arquitetônicas adotadas (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Assim, é possível otimizar o uso da eletricidade em edifícios por meio da adequação destes aspectos conhecidos. É nesse contexto que a otimização do uso de energia elétrica no espaço construído é de extrema relevância para que se evitem os desequilíbrios entre a produção e o consumo de eletricidade, tornando o país capaz de direcionar uma fração maior da eletricidade produzida para a indústria e o comércio (POOLE; GELLER, 1997).

## 2.2 CLIMA, ARQUITETURA E CONFORTO TÉRMICO HUMANO

O clima no qual se insere o edifício é o fator primordialmente responsável pelas ações dos fluxos de calor que ocorrem nos elementos construtivos. Os ganhos e as perdas de calor, resultantes das interações termodinâmicas, são produzidas diretamente pela ação dos fatores climáticos globais e locais e de como estes interagem com o espaço construído (GIVONI, 1969; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Portanto, a adequação dos sistemas construtivos às trocas térmicas impostas pelo clima, afeta a condição de temperatura do ar no interior do edifício.

A temperatura do ar é um fator que possui relação direta com as exigências humanas de conforto térmico (FROTA; SCHIFFER, 2001). De acordo com as condições de temperatura no interior do edifício há o acionamento dos mecanismos termorreguladores do organismo humano, que produzem reações ao frio e ao calor (BECKER; POTCHTER; YAAKOV, 2003). Além da temperatura do ar, o conforto térmico humano é influenciado pela umidade relativa do ar, a exposição à radiação, a velocidade do vento, as vestimentas utilizadas e pela atividade metabólica do indivíduo, pois este conjunto de processos combinam todas as formas de transmissão de calor entre o corpo humano e o ambiente no qual se insere (OLGYAY, 1953 apud SZOKOLAY, 2008).

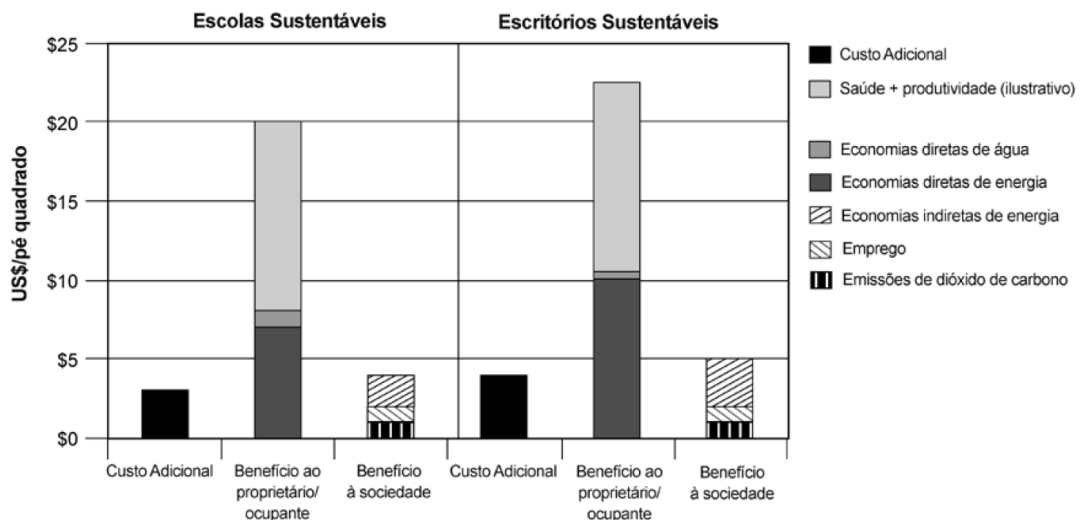
As trocas térmicas podem ser classificadas em duas categorias, de acordo com os aspectos físico-químicos dos materiais envolvidos (FROTA; SCHIFFER, 2001). Os fenômenos de transferência de energia térmica são diferenciados em: trocas térmicas secas ou úmidas. As trocas térmicas secas são aquelas onde não existe alteração de estado físico do material, sendo alterada apenas a temperatura dos meios envolvidos. São exemplos de trocas térmicas secas, a convecção, a condução e a emissão de calor por radiação. Nas trocas térmicas úmidas, ocorre a mudança de fase da matéria, como por exemplo na evapotranspiração, onde o suor liberado pelo corpo evapora e no processo de evaporação é absorvida certa quantidade de energia térmica do corpo.

De acordo com as interações térmicas entre o edifício e o ambiente no qual se insere, se faz necessário que haja a utilização de equipamentos mecânicos para condicionamento de ar, tornando a temperatura interna do ar nos ambientes do edifício adequada às condições exigidas para o conforto térmico dos usuários (FROTA; SCHIFFER, 2001; GIVONI, 1969). Nesses processos para modificar a temperatura interna da edificação, ocorre grande parte dos gastos de energia elétrica destinada ao uso predial (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).



Edificações com o mesmo tipo de uso podem apresentar desempenhos divergentes em relação ao nível de consumo de energia elétrica (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Esse fator pode ser relevante para o custeio com a operação de um edifício ao longo de seu ciclo de vida (FAY; TRELOAR; IYER-RANIGA, 2000; KATS, 2014). Os gastos operacionais de uma edificação convencional, em relação a um edifício com consumo energético otimizado, tendem a ser maiores e no caso de edificações sustentáveis, boa parte destas acabam gerando receita através da produção de energia elétrica. No Gráfico 1 é demonstrado o retorno financeiro para proprietários e/ou ocupantes que pode ser obtido investindo-se em edifícios sustentáveis e eficientes energeticamente, considerando-se os primeiros 20 anos do ciclo de vida da edificação.

**Gráfico 1: Custos e retornos financeiros para o período de 20 anos para Escolas Sustentáveis e Escritórios Sustentáveis.**



Fonte: Kats (2014).

O consumo energético dos sistemas prediais possui influência direta ou indireta das configurações arquitetônicas utilizadas, pois, quando consideradas especificidades do contexto climático e urbano, uma edificação que se utiliza de conceitos bioclimáticos aliados ao seu *design*, pode conseguir grandes economias de energia e, inclusive, obter uma edificação sustentável na totalidade do conceito. Quando o clima em que se localiza o edifício é do tipo quente e seco, tradicionalmente as paredes deveriam ser mais espessas, independentemente do tipo de sistema construtivo utilizado. Com isso, é possível aproveitar a

inércia térmica<sup>2</sup> provocada pela grande massa que constitui a própria parede. O uso de telhados e fachadas com cores claras, para minimizar os ganhos de calor pela radiação solar, deve ser usual, assim como o emprego de elementos para sombrear os vãos, como varandas, a utilização de vidros que bloqueiem grande parcela da radiação solar incidente e um aproveitamento adequado da ventilação natural (ver GIVONI, 1992). No caso da utilização de sistemas de condicionamento de ar, recomenda-se ainda, a ampliação da resistência térmica por meio da aplicação de materiais isolantes nas paredes externas e coberturas, pois desse modo, reduz-se as trocas de calor entre o interior e o exterior do edifício (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Nas edificações de uso comercial ou de serviço, o consumo de energia elétrica com sistemas de condicionamento artificial ganha em significância, pois em alguns casos, este uso final pode representar mais da metade do consumo de energia elétrica do edifício (WESTPHAL; LAMBERTS, 2007). Isso se deve pela concepção de uma arquitetura que remete a formas prismáticas envidraçadas, muito comum em edifícios corporativos, o que implica na geração de uma série de problemas relacionados ao excessivo consumo energético. Isso ocorre pela exposição direta dos elementos translúcidos à radiação solar. A radiação solar que atravessa os elementos translúcidos é absorvida pelos componentes construtivos no interior da construção, o que provoca o acúmulo de calor no interior do edifício. Nesse contexto, é recomendável que se incentive o uso de elementos que minimizem o ganho térmico gerado pelas fachadas envidraçadas expostas à radiação, tais como *brise-soleil*, marquises e varandas (MARTINEZ *et al.*, 2009; MELO; LAMBERTS, 2009).

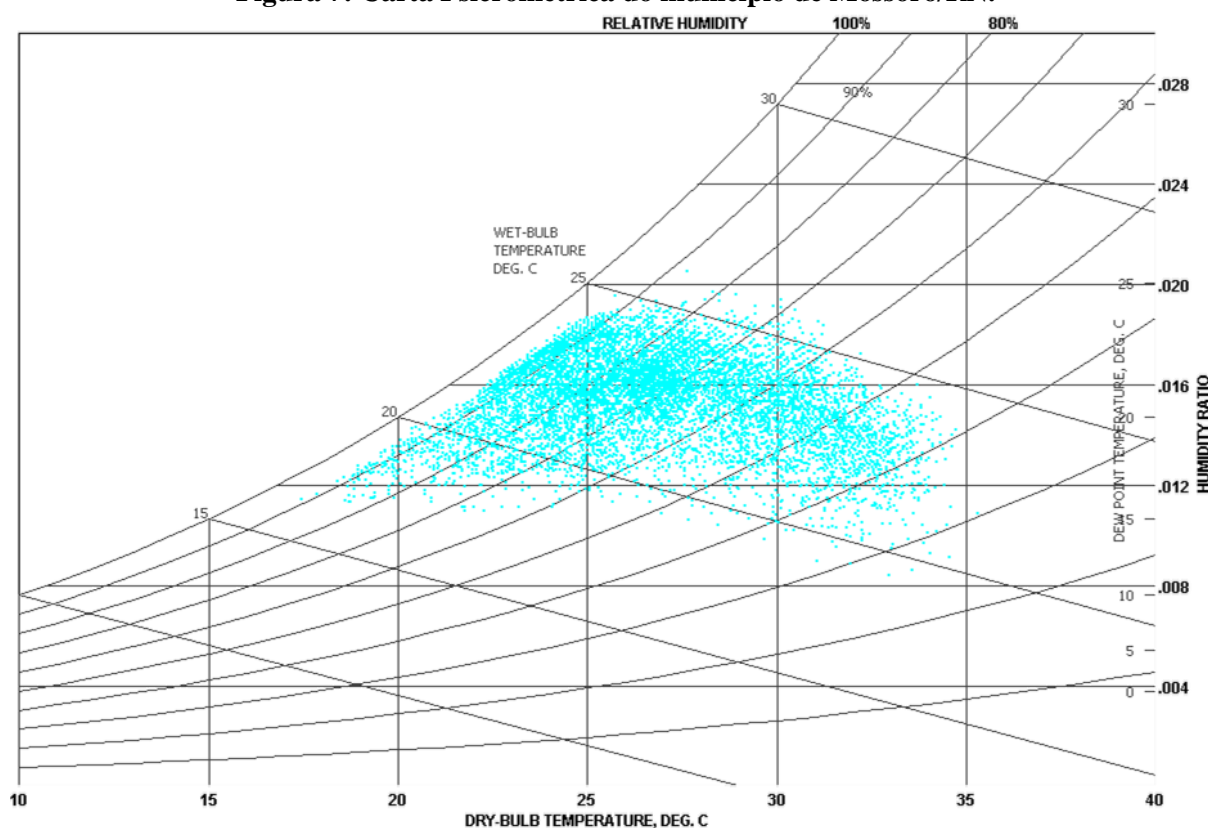
O comportamento térmico dos elementos de envoltória está diretamente associado à quantidade de calor que o edifício recebe ou que é removido para o meio externo de modo passivo, ou seja, desconsiderando-se o acionamento do sistema de condicionamento artificial de ar. As propriedades térmicas dos elementos externos da construção, como vidros e outras superfícies translúcidas, a proporção de áreas translúcidas nas fachadas, a transmitância térmica dos sistemas construtivos constituintes de paredes externas e da cobertura do edifício, e a absorvância térmica das superfícies externas contribuem para o aquecimento excessivo da edificação (DORNELLES; RORIZ, 2007; MARTINEZ *et al.*, 2009; MELO; LAMBERTS, 2009; SANTANA; GHISI, 2007; 2009).

---

<sup>2</sup> Inércia térmica é a capacidade de acumulação de calor de acordo com a quantidade de massa e da capacidade térmica dos materiais (CORGNATI; KINDINIS, 2007; SZOKOLAY, 2008).

O clima do tipo quente e seco, característico do município de Mossoró, é classificado como do tipo *BSh* na classificação de *Köppen-Geiger* que se fundamenta nas médias aritméticas das temperaturas anuais, nas relações entre temperaturas e a quantidade de precipitação, e nas amplitudes térmicas diárias para qualificar os climas existentes nos continentes. O clima semiárido brasileiro é típico da porção nordeste do território brasileiro em áreas afastadas do litoral, cuja precipitação pluviométrica anual é geralmente inferior a 800mm e cujo bioma predominante é a caatinga (AB'SÁBER, 1977 apud ALVARES *et al.*, 2013). No estado do Rio Grande do Norte, há uma faixa do litoral de aproximadamente 150km cuja pluviosidade anual é inferior a 650mm, sendo esta área, a região costeira mais seca e quente de todo o litoral brasileiro (ALVARES *et al.*, 2013). É nessa região próxima à costa que está situado o município de Mossoró/RN, onde é comum a ocorrência de temperaturas atmosféricas médias anuais acima de 26,5°C. Na Figura 7 é demonstrada numa carta psicrométrica<sup>3</sup>, os dados climáticos de umidade e temperatura de bulbo seco no município de Mossoró ao longo de um ano típico (RORIZ, 1999; 2012).

**Figura 7: Carta Psicrométrica do município de Mossoró/RN.**



Fonte: adaptado a partir do software Climate Consultant 6.0.

<sup>3</sup> Carta psicrométrica é um diagrama que relaciona temperatura de bulbo seco, umidade, densidade e entalpia; permitindo análises das características físicas do ar seco/úmido e sua relação com o conforto térmico humano.

Em climas quentes e secos, as condições de temperatura e umidade tendem a promover o desconforto térmico humano (BECKER; POTCHTER; YAAKOV, 2003). Climas quentes e secos requerem a utilização de elementos construtivos de grande inércia térmica combinados ao uso de ventilação natural noturna para promover a remoção do calor acumulado pela construção (GIVONI, 1992). A NBR 15220-3 estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro e diferencia a região de clima tropical semiárido, denominando-a como Zona Bioclimática 7 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b). A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005b) recomenda que na Zona Bioclimática 7 sejam utilizadas pequenas aberturas para ventilação, com o uso de elementos de sombreamento para estas aberturas e que os elementos construtivos sejam possuidores de grande inércia térmica (CORGNATI; KINDINIS, 2007; GIVONI, 1992).

As estratégias de condicionamento passivo presentes na NBR 15220-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b) são o estado da arte no que se refere a diretrizes construtivas no Brasil. Porém, algumas localidades podem apresentar divergências quanto às recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005b) relacionadas à indicação das melhores características construtivas. O enquadramento de uma cidade em uma determinada zona bioclimática é decorrente da disponibilidade de dados meteorológicos e, portanto, pode haver imprecisões na norma devido à escassez de informações climatológicas do território brasileiro (MARTINS; BITTENCOURT; KRAUSE, 2012). Muitas informações ainda serão complementadas no processo de aprimoramento do zoneamento bioclimático brasileiro, pois, devido à ausência de dados climatológicos em muitas regiões, é possível que haja distorções quanto às recomendações adequadas em virtude das aproximações aplicadas na delimitação proposta pela NBR 15220-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b). Desse modo, o zoneamento bioclimático brasileiro nem sempre pode estar adequado ao local a que se refere, gerando equívocos quanto às recomendações de sistemas construtivos que visem à otimização do desempenho térmico das edificações e, conseqüentemente, o consumo de energia elétrica conforme as condições climatológicas (MARTINS; BITTENCOURT; KRAUSE, 2012; RORIZ, 1999).

### 2.3 ETIQUETA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA PARA EDIFÍCIOS

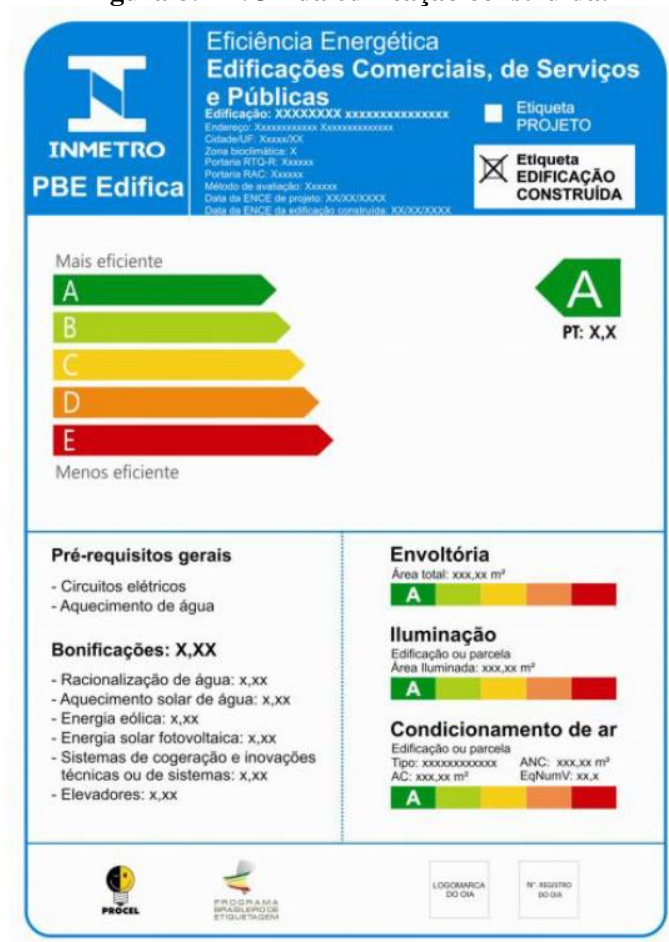
Como já ocorre em alguns países da União Europeia, nos Estados Unidos, na Austrália e no Japão (LAMBERTS *et al.*, 2007), foi criado no Brasil, por meio do Instituto Nacional de

Metrologia, Qualidade e Tecnologia - Inmetro e do GT-Edificações, a ENCE de Edifícios. A ENCE de edificações é um instrumento proveniente da Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia que, a partir da Lei nº 10.295/2001, estabeleceu diretrizes para otimização da produção, da distribuição e do uso final da energia elétrica no Brasil para as primeiras décadas do século XXI. A ENCE tem como objetivo difundir boas práticas que incentivem a redução do desperdício energético nas edificações existentes e, também, que oriente o planejamento das novas edificações para que estas possibilitem o uso mais racional da energia no futuro (CARLO; LAMBERTS, 2010a). A aplicação da ENCE de Edifícios tornou-se possível a partir da publicação do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C e do Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios – RAC (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2010; 2013) pelo Inmetro. O RTQ-C estabelece os parâmetros técnicos de avaliação da eficiência energética de edificações comerciais e institucionais, e o RAC define os procedimentos e agentes necessários à realização da avaliação de edifícios. Estudos anteriores, que consideraram o contexto climático no projeto arquitetônico da edificação, identificaram relações diretas entre as características prediais e a influência destas propriedades nos ganhos e perdas térmicas, e conseqüentemente, no consumo de energia elétrica (CARLO; LAMBERTS, 2008; GIVONI, 1992; MARTINEZ *et al.*, 2009; SANTANA; GHISI, 2007; 2009). Foram esses conceitos que subsidiaram a elaboração do RTQ-C (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2010), que podem ser considerados como o estado da arte enquanto instrumento legal para classificação das edificações quanto ao nível de eficiência energética em âmbito nacional (CARLO; LAMBERTS, 2008; LAMBERTS *et al.*, 2007). Esta regulamentação tornou-se aplicável a edifícios com área igual ou superior a 500m<sup>2</sup> e/ou que possuem contratos tarifários diferenciados com as concessionárias de energia.

A etiqueta de edifícios estabelece cinco níveis de eficiência (Figura 8), organizados em uma sequência que classifica como “nível A” os edifícios considerados mais eficientes, e “nível E”, os menos eficientes quanto ao consumo de energia elétrica. Os edifícios são avaliados separadamente por três sistemas principais: envoltória, iluminação artificial e condicionamento de ar. Em edificações, dois métodos são possíveis para a verificação da eficiência: i) o método prescritivo e ii) o método que utiliza simulação computacional (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE

INDUSTRIAL, 2010). No método prescritivo são utilizadas equações definidas pelo Inmetro (2010) para definir o nível de eficiência do edifício. No método por simulação computacional são inseridas as informações do edifício em um *software* capaz de estimar o consumo de energia e que atende aos requisitos do próprio RTQ-C (CARLO; LAMBERTS, 2010b; INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2010).

**Figura 8: ENCE da edificação construída.**



Fonte: Inmetro (2013).

No método prescritivo, os dados dos sistemas de envoltória, iluminação e condicionamento de ar são calculados separadamente, sendo posteriormente inseridos em uma equação geral, que determina a pontuação total do edifício. Os três sistemas possuem pesos diferentes para determinação da eficiência do edifício, sendo 30% para o sistema de envoltória e para o sistema de iluminação e 40% para o sistema de condicionamento de ar. No método prescritivo, ainda são computadas bonificações, caso haja a utilização de mecanismos que

umentem a eficiência energética da edificação, como a cogeração de energia, o reuso de água e/ou a utilização de energias renováveis (PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2013).

O método de avaliação por simulação computacional utiliza programas de análise térmica e energética, configurando o processo de avaliação na comparação dos dados relativos aos consumos de energia estimados. São utilizados modelos virtuais, sendo: i) um modelo semelhante ao edifício quanto às propriedades térmicas e aos sistemas prediais, e ii) modelos de referência com parâmetros equivalentes às especificações contidas no RTQ-C (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2010).

Para que um edifício receba a ENCE, é necessário, além da avaliação dos sistemas prediais, o atendimento de requisitos, cuja exigência aumenta de acordo com o nível de eficiência almejado. Um dos requisitos obrigatórios para obtenção dos níveis A e B, é que a edificação possua medidores que possibilitem medições por uso final, ou seja, naquelas edificações onde é possível verificar separadamente o consumo da iluminação, do condicionamento de ar e dos equipamentos. Para obter a classificação nível “A”, edificações com demanda por água quente devem apresentar sistemas de aquecimento de água classificados com eficiência “A”, pelo programa de etiquetagem do Inmetro para aparelhos de aquecimento de água. Outras exigências como os edifícios com elevadores é que estes aparelhos devem possuir um sistema de controle inteligente de tráfego e nas edificações equipadas com bombas de água centrífugas, estes dispositivos devem ser etiquetados pelo Inmetro (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2010). Os equipamentos elétricos também são considerados na avaliação, sendo previsto também, que as edificações possuidoras de sistemas de produção de energia elétrica sejam bonificadas com o aumento da pontuação e, conseqüentemente, com a melhora da classificação, o que funciona como um incentivo para essas iniciativas (PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2013).

Os parâmetros estabelecidos nos regulamentos para avaliação da envoltória de edifícios associam as características climáticas com a influência que estas representam no contexto onde se insere o edifício, e em concordância com as diretrizes estabelecidas pela NBR 15220-3: Desempenho Térmico de Edificações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b). Para a análise do desempenho termo-energético de edificações, são consideradas as peculiaridades climáticas existentes no território brasileiro, fato que

determina diferentes comportamentos quanto ao desempenho térmico para um mesmo elemento construtivo, de acordo com a localização geográfica. Por esta razão, as exigências de desempenho energético e de conforto térmico variam de acordo com o clima ou zona bioclimática em que se situa a edificação. Os regulamentos técnicos utilizam o zoneamento bioclimático brasileiro estabelecido na NBR 15.220-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b), que divide o país em oito zonas distintas.

As características da envoltória do edifício, em dependência às condições climáticas locais, são fatores determinantes para adequação do desempenho termo-energético na arquitetura (GIVONI, 1992; LAMBERTS *et al.*, 2007). A eficiência de uma envoltória se baseia no quanto ela protege o edifício da ação provocada pelas trocas térmicas entre o exterior e o interior (CARLO; LAMBERTS, 2010a; 2010b; LAMBERTS *et al.*, 2007; MELO; LAMBERTS, 2009). No caso dos climas quentes, as trocas térmicas normalmente representam ganhos de calor, portanto, as envoltórias que não possuem proteção adequada a essas trocas térmicas tenderão a diminuir a eficiência do edifício quanto ao consumo de energia elétrica, devido ao superaquecimento da edificação.

Além das características arquitetônicas, são considerados na análise de eficiência pelo RTQ-C, os sistemas prediais que estão diretamente relacionados ao consumo de energia, como o condicionamento artificial de ar e o sistema de iluminação artificial. A qualificação de eficiência dos sistemas prediais de iluminação e condicionamento de ar leva em consideração a eficiência dos próprios sistemas prediais. No caso do sistema de iluminação artificial, a eficiência considera as atividades realizadas no edifício avaliado que determinam o nível de iluminamento necessário segundo a NBR 5413 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), relacionando esta variável à potência elétrica instalada em todas as luminárias. O desempenho do sistema de condicionamento artificial é obtido a partir da classificação dos aparelhos instalados, que é determinada pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE-Inmetro. No caso de equipamentos diferenciados, como são as centrais de ar, utilizadas para climatizar grandes espaços como *shoppings centers*, aeroportos, grandes edifícios de escritórios, são necessárias análises em conformidade com as exigências propostas pela American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers – ASHRAE (2010). Além disso, estes sistemas devem atender às recomendações da NBR 16401-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008; INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2010; PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2013).



## 2.4 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO PROGRAMA *ENERGYPLUS*

As simulações computacionais de desempenho termo-energético de edifícios processam informações quanto às características da edificação e realizam o cálculo do consumo de energia elétrica, baseado nos valores resultantes dos ganhos e perdas de calor por meio dos componentes construtivos, sistemas de iluminação e de condicionamento artificial. Essas propriedades térmicas da edificação são combinadas às características climáticas para que se obtenha o comportamento térmico do edifício durante o ano, segundo os dados climáticos considerados (BATISTA; LAMBERTS; WESTPHAL, 2005).

O programa *EnergyPlus* (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2015a) é utilizado por engenheiros, arquitetos e pesquisadores para simulação de consumo de energia em edifícios por meio da confecção de modelos virtuais dos empreendimentos. Nestes modelos, são configurados os equipamentos responsáveis pelo consumo de energia para aquecimento, refrigeração, ventilação, iluminação e quanto ao uso da água nos edifícios, além das propriedades térmicas e geométricas dos elementos construtivos que compõem a edificação. Com a simulação computacional no programa *EnergyPlus*, é possível calcular de modo integrado e simultâneo, as condições térmicas e como o sistema de condicionamento artificial responde a demanda por refrigeração de acordo com a carga térmica incidente. Paralelamente ao cálculo total da quantidade de energia térmica absorvida ou perdida pelo edifício, se determina o consumo de energia elétrica para condicionamento, e é calculado também, o consumo pelos outros usos finais, como a operação de equipamentos e o sistema de iluminação artificial (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2015b).

A simulação computacional de desempenho termo-energético de edificações permite a configuração de modelos computacionais com as características prediais relevantes ao que se pretende analisar quanto ao consumo de eletricidade. Através dessas modelagens virtuais, obtêm-se estimativas precisas referentes ao consumo de energia elétrica e quanto ao comportamento térmico da edificação (CARLO; LAMBERTS, 2008; 2010b). Além das características do edifício, é necessário que seja referenciada uma base de dados climáticos padronizados contendo as informações climatológicas para o cálculo e verificação dos impactos resultantes das características arquitetônicas de acordo com o contexto climático no qual estão inseridos os edifícios (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2010; U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2015b).

## REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. ISSN 0941-2948

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**. Atlanta: 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413: Iluminância de Interiores**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1: Desempenho Térmico de Edificações. Parte 1: Definições, Símbolos e Unidades**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Desempenho Térmico de Edificações. Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT, 2005b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-1: Instalações de ar-condicionado - sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projeto das instalações**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT, 2008.

BATISTA, J. O.; LAMBERTS, R.; WESTPHAL, F. S. **Avaliação de desempenho térmico de componentes construtivos utilizando o EnergyPlus**. Anais do VII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e IV Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído (ELACAC). Maceió, AL: 2005. p.145-154.

BECKER, S.; POTCHTER, O.; YAAKOV, Y. Calculated and observed human thermal sensation in an extremely hot and dry climate. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 8, p. 747-756, 2003. ISSN 0378-7788

BENEVOLO, L. **História da cidade**. 6ª Ed. São Paulo: Perspectiva, 2015. ISBN 978-85-273-0100-8.

BRASIL. **Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001**. Brasília, 2001a. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/2001/D4059.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/D4059.htm) >. Acesso em: 28 abr. 2015.

BRASIL. **Lei nº 10.295, de 17 de Outubro de 2001**. Brasília, 2001b. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/LEIS\\_2001/L10295.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10295.htm) >. Acesso em: 28 abr. 2015.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Development of envelope efficiency labels for commercial buildings: Effect of different variables on electricity consumption. **Energy and Buildings**, n. 40, p. 2002-2008, 2008. ISSN 0378-7788

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 2, p. 7-26, abr. / jun. 2010a. ISSN 1678-8621

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 2: método de simulação. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 2, p. 27-40, abr. / jun. 2010b. ISSN 1678-8621

CASALS, X. G. Analysis of building energy regulation and certification in Europe: Their role, limitations and differences. **Energy and Buildings**, v. 38, p. 381-392, 2006. ISSN 0378-7788

CORGNATI, S. P.; KINDINIS, A. Thermal mass activation by hollow core slab coupled with night ventilation to reduce summer cooling loads. **Building and Environment**, v. 42, n. 9, p. 3285-3297, 2007. ISSN 0360-1323

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. **A ilusão das cores na identificação da absorptância solar de superfícies opacas**. Anais do IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e V Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído (ELACAC). Ouro Preto/MG: 2007. p.590-599.

DOS SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de textos, 2004. ISBN 978-85-86238-62-8.

FAY, R.; TRELOAR, G.; IYER-RANIGA, U. Life-cycle energy analysis of buildings: a case study. **Building Research & Information**, v. 28, n. 1, p. 31-41, 2000. ISSN 0961-3218

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5ª ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. ISBN 85-85445-39-4.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. Elsevier Science Ltd, 1969. 377p. ISBN 978-0444200396.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992. ISSN 0378-7788

GOLDEMBERG, J. Energia e desenvolvimento. **Estudos Avançados**, v. 12, n. 33, p. 7-15, 1998. ISSN 0103-4014

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Portaria n.º 372, de 17 de setembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Portaria n.º 50, de 01 de fevereiro de 2013. Requisitos da Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, 2013.

JUANICÓ, L. E. A new design of configurable solar awning for managing cooling and heating loads. **Energy and Buildings**, v. 41, n. 12, p. 1381-1385, 2009. ISSN 0378-7788

KATS, G. **Tornando Nosso Ambiente Construído Mais Sustentável. Custos, Benefícios e Estratégias**. São Paulo: Island Press, 2014. ISBN 978-1-59726-668-0.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Ed. São Paulo: Eletrobrás/Procel, 2014.

LAMBERTS, R. *et al.* **Regulamentação de Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais e Públicos**. Anais do IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e V Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído (ELACAC). Ouro Preto, MG: 2007. p.1019-1028.

MARTINEZ, M. F. *et al.* Redução de consumo de energia elétrica através de conceitos green building. **Eletrônica de Potência**, v. 14, n. 2, p. 141-148, maio 2009. ISSN 1414-8862

MARTINS, T. A.; BITTENCOURT, L. S.; KRAUSE, C. M. Contribuição ao Zoneamento Bioclimático Brasileiro: reflexões sobre o semiárido nordestino. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 2, p. 59-75, abr. / jun. 2012. ISSN 1678-8621

MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Envelope insulation and heat balance in commercial buildings**. Building Simulation 2009. 11th International IBPSA Conference. Glasgow, Escócia: 2009. p.2243-2250.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Energia 2030. Análise retrospectiva**. Brasília: Eletrobrás, 2007.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015. Ano base 2014**. Rio de Janeiro, 2015a. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anu%20C3%A1rio%20Estat%20ADstico%20de%20Energia%20El%20C3%A9trica%202014.pdf> >. Acesso em: 2 fev. 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balço Energético Nacional 2015. Ano base 2014**. 2015b. Disponível em: < <https://ben.epe.gov.br/default.aspx> >. Acesso em: 28 jul. 2015.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO ORÇAMENTO E GESTÃO. **Instrução Normativa nº 2, de 4 de junho de 2014**. Brasília: 2014.

PÉREZ-LOMBARD, L. *et al.* A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. **Energy and Buildings**, v. 41, p. 272-278, 2009. ISSN 0378-7788

POOLE, A. D.; GELLER, H. **O novo mercado de serviços de eficiência energética no Brasil**. Rio de Janeiro: INEE, 1997.

POOLE, A. D.; HOLLANDA, J.; TOLMASQUIM, M. T. **Conservação de energia e emissões de gases do efeito estufa no Brasil**. Rio de Janeiro: INEE, 1998.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MOSSORÓ. **Lei Complementar nº 12/2006. Plano de Diretor do Município de Mossoró**. Mossoró, RN: 2006.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Manual de aplicação do RTQ-C**. Rio de Janeiro: Procel Edifica/Eletrobrás, 2013.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resultados PROCEL 2015. Ano base 2014**. Rio de Janeiro: Procel Edifica/Eletrobrás, 2015.

RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY. **Renewables Global Status Report 2015**. 2015. Disponível em: < [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12-GSR2015\\_Onlinebook\\_low1.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12-GSR2015_Onlinebook_low1.pdf) >. Acesso em: 21 out. 2015.

REY, F. J.; VELASCO, E.; VARELA, F. Building Energy Analysis (BEA): A methodology to assess building energy labelling. **Energy and Buildings**, n. 39, p. 709-716, 2007. ISSN 0378-7788

ROMERO, M. A. B. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. Brasília: UnB, 2013. ISBN 9788523010904.

RORIZ, M. **Um método para interpolação de dados climáticos**. Anais do V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído (ELACAC). Fortaleza/CE: 1999.

RORIZ, M. **Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Arquivos climáticos em formato EPW**. 2012. Disponível em: < <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw> >. Acesso em: 29 jun. 2015.

SANTANA, M. V.; GHISI, E. **Influência do percentual de área de janela na fachada e da absortância de paredes externas no consumo de energia em edifícios de escritório da cidade de Florianópolis-SC**. Anais do IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e V Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído (ELACAC). Ouro Preto/MG: 2007. p.1668-1676.

SANTANA, M. V.; GHISI, E. **Influência de parâmetros construtivos relacionados ao envelope no consumo de energia em edifícios de escritório da cidade de Florianópolis**. Anais do X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e VI Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído (ELACAC). Natal: 2009. p.1164-1173.

STANKEVICIUS, V.; KARBAUSKAITE, J.; MONSTVILAS, E. The development of reference values for energy certification of buildings in Lithuania. **Energy and Buildings**, n. 39, p. 284-288, 2007. ISSN 0378-7788

SZOKOLAY, S. V. **Introduction to architectural science: the basis of sustainable design**. 2ª ed. Routledge, 2008. 358p. ISBN 1317918592.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus**. Versão 8.3.0. 2015a. Disponível em: < <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/> >. Acesso em: 15 jun. 2015.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Input Output Reference. The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output**. 2015b. Disponível em: < [https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel\\_custom/pdfs/pdfs\\_v8.3.0/InputOutputReference.pdf](https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v8.3.0/InputOutputReference.pdf) >. Acesso em: 18 jun. 2015.

WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. **Análise do impacto de variáveis arquitetônicas e cargas internas no consumo de energia em condicionamento de ar de edificações comerciais**. Anais do IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e V Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído (ELACAC). Ouro Preto, MG: 2007. p.2049-2059.

ZHU, Y. Applying computer-based simulation to energy auditing: A case study. **Energy and Buildings**, n. 38, p. 421-428, 2006. ISSN 0378-7788

### **3 MANUSCRITO: INFLUÊNCIA DOS ELEMENTOS DE ENVOLTÓRIA NO DESEMPENHO TERMO-ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS INSTITUCIONAIS NO CLIMA TROPICAL SEMIÁRIDO**

#### **Resumo**

A eficiência energética em edifícios está relacionada com a arquitetura bioclimática, que é a adequação da edificação ao clima local. Com a implantação de instrumentos que estabelecem recomendações arquitetônicas diferenciadas de acordo com a situação climática, se faz necessário o planejamento e a construção de edificações mais adequadas ao uso otimizado da eletricidade. Este estudo analisa a influência das variáveis arquitetônicas no consumo de energia elétrica de edificações institucionais situadas no Campus UFERSA, Mossoró/RN, cujo clima é tropical semiárido. Para tanto, foram coletados dados relativos às características térmicas e geométricas dos elementos arquitetônicos. Para avaliação de desempenho termo-energético dos parâmetros identificados, utilizou-se o programa EnergyPlus, que simula o consumo de eletricidade predial ao longo do ano, baseado em modelos similares aos edifícios alvos deste estudo. A partir destes procedimentos, identificou-se que as variáveis arquitetônicas estudadas influenciaram diretamente o consumo de energia elétrica de edificações.

Palavras-chave: arquitetura bioclimática, eficiência energética, simulação computacional.

#### **Abstract**

Energy efficiency in buildings is related to the bioclimatic architecture, which is the adaptation of the building to the local climate. With the implementation of instruments establishing differentiated architectural recommendations according to the climatic situation, the planning and building more suitable for optimal use of electricity buildings is necessary. This study analyzes the influence of the architectural variables in the electricity consumption of institutional buildings located on the campus UFERSA, Mossoró/RN, whose climate is tropical semi-arid. information relating to the thermal and geometrical characteristics of architectural elements were collected. For evaluation of thermal energy of the identified performance parameters was used EnergyPlus, that estimates the electricity consumption of

land throughout the year using similar models simulating the target buildings in this study. From these procedures, it was found that the architectural variables directly influence the energy consumption of buildings.

Keywords: bioclimatic architecture, energy efficiency, computational simulation.

## **Resumen**

La eficiencia energética en los edificios está relacionada con la arquitectura bioclimática, que es la adaptación del edificio al clima local. Con la implementación de instrumentos que establecen recomendaciones arquitectónicas diferenciados de acuerdo a la situación climática, la planificación y construcción más adecuadas para un uso óptimo de los edificios de la electricidad es necesario. Este estudio analiza la influencia de las variables arquitectónicas en el consumo de electricidad de los edificios institucionales ubicados en el campus UFERSA, Mossoró/RN, cuyo clima es tropical semiárido. Por lo tanto, se recogieron datos sobre las características térmicas y geométricas de los elementos arquitectónicos. Fue utilizado EnergyPlus, que simula el consumo de electricidad durante el año de construcción, basado en diseños similares a los edificios estudiados para la evaluación del desempeño de los parámetros identificados. A partir de estos procedimientos, se identificó que las variables arquitectónicas influenciaron directamente el consumo energético de los edificios.

Palabras clave: arquitectura bioclimática, eficiencia energética, simulación computacional.

## **Introdução**

O entendimento de desenvolvimento sustentável pressupõe que haja equilíbrio no conjunto de relações socioambientais durante o processo de aperfeiçoamento tecnológico e científico pelo qual as sociedades se destinam. Para tanto, devem ser considerados todos os aspectos e elementos capazes de modificar ou serem afetados pela ação humana. O conceito de sustentabilidade, portanto, deve influenciar diretamente as escolhas que definem os padrões de consumo, as formas de produção, a seguridade social e alimentar e os valores éticos capazes de permitir plenas condições de desenvolvimento às gerações futuras (DOS SANTOS, 2004).

Após a Revolução Industrial, o rápido desenvolvimento técnico e científico transformou a eletricidade no principal motor da indústria e no meio de produção essencial para manutenção



do modo de vida que se estabeleceu nas sociedades modernas a partir do início do século XX. A energia elétrica consumida ao longo da vida útil da edificação representa um dos maiores custos operacionais de um empreendimento e a ineficiência no consumo colabora para a necessidade de ampliação dos investimentos necessários para geração e distribuição da eletricidade. Outro efeito econômico, resultante da ampliação da demanda por eletricidade devido ao consumo ineficiente, é que este processo provoca o aumento do preço da eletricidade, por criar pressões inflacionárias quanto à oferta por mais energia elétrica (KATS, 2014). A depender do tipo de fonte, o consumo de eletricidade também é potencialmente responsável por uma parcela relevante das emissões de gases que potencializam o efeito estufa (CASALS, 2006; FAY; TRELOAR; IYER-RANIGA, 2000). Nesse aspecto, instituíram-se os sistemas de certificação ambiental e/ou energética. Para avaliação do desempenho de edifícios, essas certificações são aplicáveis em diversas tipologias arquitetônicas como residências, condomínios, loteamentos, escolas, unidades comerciais e indústrias. Entre os principais objetivos dos sistemas de certificação ambiental de edifícios está a fixação de parâmetros que definem uma edificação como sustentável (GRÜNBERG; DE MEDEIROS; TAVARES, 2014; PÉREZ-LOMBARD et al., 2009; REY; VELASCO; VARELA, 2007; STANKEVICIUS; KARBAUSKAITE; MONSTVILAS, 2007).

Como já ocorre em alguns países da União Europeia, Estados Unidos, Austrália e Japão, foi criado também no Brasil a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE de edifícios com o objetivo de difundir boas práticas que incentivem a redução do desperdício energético nas edificações e orientar o planejamento das novas edificações quanto ao uso racional de eletricidade (CARLO; LAMBERTS, 2010a; GRÜNBERG et al., 2014). Os parâmetros técnicos considerados na aplicação da ENCE de edifícios comerciais e institucionais foram estabelecidos por meio do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2010). Estudos anteriores identificaram relações diretas entre as características prediais e a influência destas propriedades nos ganhos e perdas térmicas, e conseqüentemente, no consumo de energia elétrica nesses edifícios de acordo com o contexto climático (CARLO; LAMBERTS, 2008; GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998; MARTINEZ et al., 2009). Foram esses conceitos que subsidiaram a elaboração do RTQ-C. A utilização dos sistemas construtivos para adequação da temperatura do ar no interior dos edifícios é o ponto mais comum a se referir quando salientada a influência da arquitetura bioclimática na eficiência

energética dos edifícios. A arquitetura bioclimática é um tipo de arquitetura que objetiva o design de edifícios de modo a adaptá-los eficazmente ao contexto climático do local onde estas construções estão situadas (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; SZOKOLAY, 2008).

Nas edificações de uso comercial ou de serviço, o consumo de energia elétrica com sistemas de condicionamento artificial ganha em significância, pois em alguns casos, este uso final pode representar mais da metade do consumo de energia elétrica do edifício (KATS, 2014; LAMBERTS et al., 2014). Isso se deve pela concepção de uma arquitetura que remete a formas prismáticas envidraçadas, muito comum em edifícios corporativos, o que implica na geração de uma série de problemas relacionados ao excessivo consumo energético, causados pela exposição direta dos elementos translúcidos à radiação solar. A radiação solar que atravessa os elementos translúcidos é absorvida pelos componentes construtivos no interior da construção, o que provoca o acúmulo de calor no interior do edifício. Nesse contexto, é recomendável que se incentive o uso de elementos que minimizem o ganho térmico gerado pelas fachadas envidraçadas expostas à radiação, tais como brise-soleil, marquises e varandas (MARTINEZ et al., 2009; SZOKOLAY, 2008). As características da envoltória do edifício, em dependência às condições climáticas locais, são fatores determinantes para adequação do desempenho termo-energético na arquitetura (DE OLIVEIRA et al., 2016; GIVONI, 1992; GOULART et al., 1998). Portanto, a eficiência de uma envoltória se baseia no quanto ela protege o edifício da ação provocada pelas trocas térmicas entre o exterior e o interior (CARLO; LAMBERTS, 2010a; 2010b).

O clima do tipo quente e seco, característico do município de Mossoró, é classificado como BSh na classificação de Köppen-Geiger (ALVARES et al., 2013). Para esse contexto climático específico, normativas apresentam recomendações arquitetônicas diferenciadas em relação ao restante do país no que se refere ao uso otimizado da eletricidade e ao conforto térmico humano (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b). Em climas quentes e secos, as condições de temperatura e umidade tendem a promover o desconforto térmico humano, pois estes são aspectos que possuem relação direta com as exigências humanas de conforto térmico (BECKER; POTCHTER; YAAKOV, 2003; FROTA; SCHIFFER, 2001). Climas quentes e secos requerem a utilização de elementos construtivos de grande inércia térmica, combinados ao uso de ventilação natural noturna para promover a remoção do calor acumulado pela construção sem a utilização de equipamentos de condicionamento artificial de ar (CORGNATI; KINDINIS, 2007; GIVONI, 1992).

A simulação computacional de desempenho termo-energético de edificações pode ser muito útil para melhoria da qualidade ambiental no espaço edificado, podendo ser utilizada desde as fases iniciais de elaboração do projeto arquitetônico até o desenvolvimento e definição de diretrizes que subsidiem a elaboração ou revisão de leis e normas relacionadas à parâmetros arquitetônicos e construtivos (CARLO; LAMBERTS, 2008; GRÜNBERG et al., 2014; MENDES et al., 2005; PEDRINI; SZOKOLAY, 2005). Este tipo de instrumento é bastante útil no processo de aperfeiçoamento da qualidade da edificação, visando à otimização do consumo de eletricidade e a adequação de sistemas construtivos que minimizem a ação do clima nas condições de conforto térmico da edificação.

A geração de eletricidade é um fator estratégico e decisivo para o rumo das perspectivas financeiras e quanto ao grau de competitividade de um país no cenário macroeconômico. Desse modo, o contínuo fornecimento de energia elétrica é fundamental para que a sociedade aliada ao poder público possam fomentar o crescimento da atividade industrial e o desenvolvimento econômico. Nesse contexto, as edificações possuem grande representatividade quanto ao consumo de eletricidade, pois, aproximadamente metade da utilização da eletricidade no Brasil ocorre em edificações comerciais, institucionais e residenciais (LAMBERTS et al., 2014). Na análise dos componentes construtivos dos edifícios, objetos deste estudo, são investigadas as relações entre as propriedades térmicas destes e o comportamento térmico resultante das características arquitetônicas nas condições de conforto ambiental no interior do edifício e no consumo de eletricidade. Assim, este estudo visa analisar como a configuração arquitetônica influencia no consumo de energia elétrica de edifícios situados no clima semiárido de Mossoró/RN, e o quanto o design do edifício pode ser determinante no consumo de energia elétrica dessas edificações.

## **Material e Métodos**

Para atendimento aos objetivos, a coleta de dados foi organizada em duas etapas: a) levantamento das características das edificações a serem estudadas e determinação de parâmetros a serem testados por meio de modelos comparativos e b) inserção das características das edificações estudadas e dos modelos propostos no programa EnergyPlus (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2015) para, por meio da simulação computacional, obter-se os dados referentes ao consumo anual de energia elétrica nessas edificações. Por meio da análise comparativa dos dados referentes aos consumos de eletricidade simulados,

demonstram-se quais aspectos arquitetônicos são determinantes para o consumo de energia elétrica em edifícios dentro do contexto climático estudado.

#### Caracterização das edificações alvo

Para a amostragem deste estudo, foram selecionados três edifícios localizados no Campus da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA em Mossoró, ocupando uma área que se estende entre as zonas urbana e rural do município de Mossoró/RN. Neste campus está situada a estação climatológica na qual se coletou os dados climatológicos do município de Mossoró, que foram formatados e disponibilizados por Roriz (2012) para utilização no programa EnergyPlus. Os três edifícios analisados foram: i) Central de Aulas 3, ii) Central de Aulas 6 e iii) Laboratório de Química, Física e Matemática - QFM. O edifício Central de Aulas 3 é utilizado para realização de aulas teóricas e caracteriza-se por possuir um único pavimento com grande extensão horizontal. O edifício Central de Aulas 6 também é usado para aulas teóricas e possui dois pavimentos com área de projeção horizontal menor, sendo, portanto, uma edificação volumetricamente mais compacta. O Laboratório de Química, Física e Matemática possui um formato muito semelhante ao edifício Central de Aulas 6, com dois pavimentos e área horizontal compacta, porém, é utilizado de modo distinto dos demais objetos desse estudo, por se tratar de um edifício de laboratórios com equipamentos específicos e número de usuários menor que os edifícios onde são ministradas aulas teóricas (Central de Aulas).

#### Simulação Computacional

A simulação computacional de desempenho termo-energético é uma ferramenta utilizada para estimar o consumo de energia de edificações. O cálculo do consumo de energia é realizado a partir do computo da quantidade de calor que a edificação recebe ou expulsa ao longo do tempo. Essa estimativa é obtida a partir dos efeitos que são determinados em função das condicionantes climáticas, pelas características arquitetônicas da envoltória da edificação e dos sistemas que compõem as instalações prediais e pela dinâmica de funcionamento da edificação (FUMO; MAGO; LUCK, 2010; PEDRINI; WESTPHAL; LAMBERTS, 2002).

Para modelagem virtual, utilizou-se a simulação computacional de desempenho termo-energético de edifícios, configurando-se modelos computacionais com as características relativas ao que se pretendeu analisar. Através dessas modelagens virtuais, obteve-se as

estimativas referentes ao consumo anual de energia elétrica por edificação e ao comportamento térmico da edificação, de acordo com as características arquitetônicas simuladas. Os modelos e parâmetros testados foram agrupados em: i) caso base: modelos análogos aos edifícios estudados; ii) modelos de referência: modelos configurados conforme os parâmetros estabelecidos pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (2010) para os níveis de qualificação “A”, “B”, “C” e “D” e iii) modelos para teste de variáveis: modelos semelhantes ao “caso base”, com alterações referentes aos aspectos arquitetônicos considerados para o teste de hipóteses. Estes últimos foram agrupados conforme as variáveis testadas: a) transmitância térmica de paredes externas e b) transmitância térmica de elementos de cobertura, calculados conforme a NBR 15220-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a); c) absorptância térmica de paredes externas e d) absorptância térmica de elementos de cobertura, conforme valores indicados no Anexo V do RAC (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2013); e) percentual de superfícies translúcidas nas fachadas; f) sombreamento de elementos translúcidos nas fachadas e g) orientação cardeal das edificações.

No Quadro 1 são apresentados os períodos de funcionamento geral das edificações. Nos dias úteis que compõem o período letivo, os modelos foram configurados segundo os horários de funcionamento estabelecidos pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA. Durante o período de férias, no qual a população que ocupa os espaços é mínima, adotou-se que o número de usuários e o intervalo de ocupação representa apenas 1/20 (um vigésimo) do que é habitual durante o período letivo.

**Quadro 1: Rotina de uso e ocupação adotada nas simulações das edificações estudadas na Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró, RN, no programa *EnergyPlus*.**

	Período	Dias úteis (de segunda-feira à sexta-feira)	Sábados e domingos
<b>Férias</b>	Entre 16 de dezembro e 15 de fevereiro	Ocupação mínima entre 07:00h e 11:30h e 13:00h e 17:30h	
<b>1º semestre letivo</b>	Entre 16 de fevereiro e 30 de junho	Ocupado entre 07:00h e 11:30h, 13:00h e 17:30h e 18:30h e 22:00h	Desocupado
<b>Férias</b>	Entre 1º e 31 de julho	Ocupação mínima entre 07:00h e 11:30h e 13:00h e 17:30h	
<b>2º semestre letivo</b>	Entre 1º de agosto e 15 de dezembro	Ocupado entre 07:00h e 11:30h, 13:00h e 17:30h e 18:30h e 22:00h	

Fonte: Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

## Resultados e Discussão

Na análise comparativa entre os modelos análogos às edificações estudadas e os demais modelos, verificou-se que, naqueles cujo uso principal é constituído de salas de aula (Central de Aulas 3 e Central de Aulas 6), a influência dos elementos de envoltória no consumo anual de eletricidade possui menor patamar de representatividade do que é constatado em relação a edificação de laboratórios (Lab. de Química, Física e Matemática). Esse fato pode ser associado aos diferentes tipos de uso destas edificações e, conseqüentemente, às cargas energéticas dissipadas nos espaços internos da edificação. Na Tabela 1 são apresentados os valores referentes ao consumo de energia elétrica anual nas edificações estudadas e os valores referentes ao consumo dos sistemas de iluminação, de condicionamento de ar e demais equipamentos existentes. Nas edificações de salas de aula, percebe-se que o consumo do sistema de condicionamento de ar prevaleceu, representando aproximadamente 80% do consumo de eletricidade, enquanto que na edificação de laboratórios, predominou o consumo de eletricidade anual dos equipamentos, que equivaleu a 49,70% do consumo anual da edificação, ante os 34,78% representado pelo sistema de condicionamento de ar.

**Tabela 1: Dados do consumo de energia elétrica simulado no programa *EnergyPlus* em relação às três edificações investigadas na Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró, RN: Central de Aulas 3 (CA3), Central de Aulas 6 (CA6) e Laboratório de Química, Física e Matemática (QFM).**

Edificações	Sistema de iluminação		Equipamentos		Sistemas de condicionamento de ar		Total MWh/ano
	MWh/ano	%	MWh/ano	%	MWh/ano	%	
CA3	35,20	14,31	9,44	3,84	201,36	81,85	246,00
CA6	49,20	16,77	11,25	3,83	232,97	79,40	293,42
QFM	49,20	15,51	157,65	49,70	110,33	34,78	317,17

Fonte: dados da pesquisa.

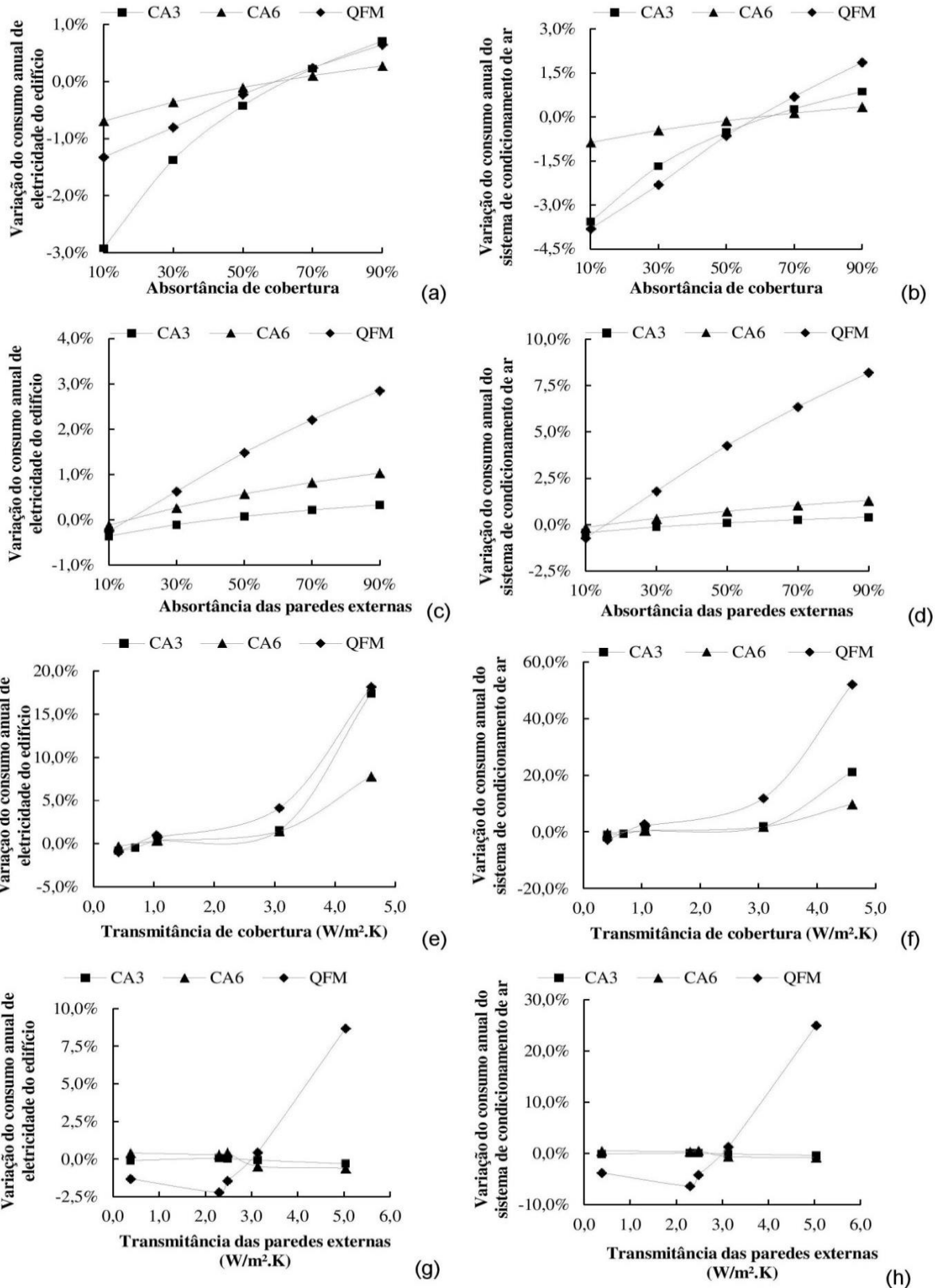
Comparativamente aos três casos expostos na Tabela 1, os modelos para teste de variáveis e os modelos de referência parametrizados, conforme o RTQ-C para avaliação da envoltória, apresentaram variações quanto ao consumo anual de eletricidade em relação aos respectivos casos base. Quanto ao consumo representado pelo sistema de iluminação e pelos equipamentos, todos os modelos apresentaram consumos de eletricidade idênticos aos respectivos casos base. Portanto, o sistema de condicionamento de ar foi o responsável por toda a variação de consumo anual de eletricidade, ocorrida em função das variáveis arquitetônicas testadas. No estudo comparativo, verificou-se também que a edificação de

laboratórios foi mais suscetível a variações de consumo de energia elétrica, em função das características arquitetônicas que a constitui.

Quando analisados modelos com diferentes valores de absorvância solar das superfícies de revestimento externo, verificou-se que há variação do consumo anual de eletricidade de modo diretamente relacionado a esta característica. No Gráfico 2 é demonstrado que a variação do consumo de eletricidade, de acordo com a absorvância dos revestimentos das paredes externas e/ou cobertura, foi mais volátil nos modelos referentes à edificação de laboratórios em relação às edificações de salas de aula. Entre as duas edificações de salas de aula, verificou-se que o Central de Aulas 3, que é uma edificação térrea, apresentou maior variância do consumo anual de eletricidade, conforme o valor do gradiente de absorvância solar da cobertura (Gráficos 2a e 2b), enquanto que o Central de Aulas 6, que possui dois pavimentos, foi mais suscetível à absorvância das paredes externas (Gráficos 2c e 2d). Estes últimos exemplos demonstram que a combinação entre a geometria da edificação e a absorvância térmica das superfícies são determinantes quanto ao nível de calor absorvido pela envoltória da edificação, devido a distribuição das maiores áreas expostas à radiação solar e quanto ao gradiente de absorção de calor superficial a partir da insolação.

A análise comparativa de modelos configurados com diferentes sistemas construtivos de cobertura e das paredes externas demonstrou que há variação do consumo de energia elétrica anual em função das propriedades térmicas desses elementos arquitetônicos. No Gráfico 2 (e, f), demonstra-se que quanto maior o valor da transmitância da cobertura, maior será o consumo de eletricidade. A transmitância térmica das paredes externas apresentou variações relevantes apenas no exemplo da edificação de laboratórios, com a redução de até 1,31% e, acréscimos de até 8,39% do consumo de eletricidade anual (Gráficos 2g e 2h). Nos casos das edificações de salas de aula, houve pouca variação do consumo anual de energia elétrica (menor que 0,7%). Verificou-se também, que a variação do consumo de energia elétrica total ou consumo pelo condicionamento de ar tendeu a ser menor, nos casos em que a transmitância de cobertura é inferior a  $2,0\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$  e nos casos em que a transmitância das paredes externas é inferior a  $3,0\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ .

**Gráfico 2: Influência da absorvância e da transmitância térmica dos elementos de envoltória no consumo de eletricidade anual e do sistema de condicionamento de ar em relação às três edificações investigadas na Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFRS, Mossoró, RN: Central de Aulas 3 (CA3), Central de Aulas 6 (CA6) e Laboratório de Química, Física e Matemática (QFM).**



Fonte: dados da pesquisa.



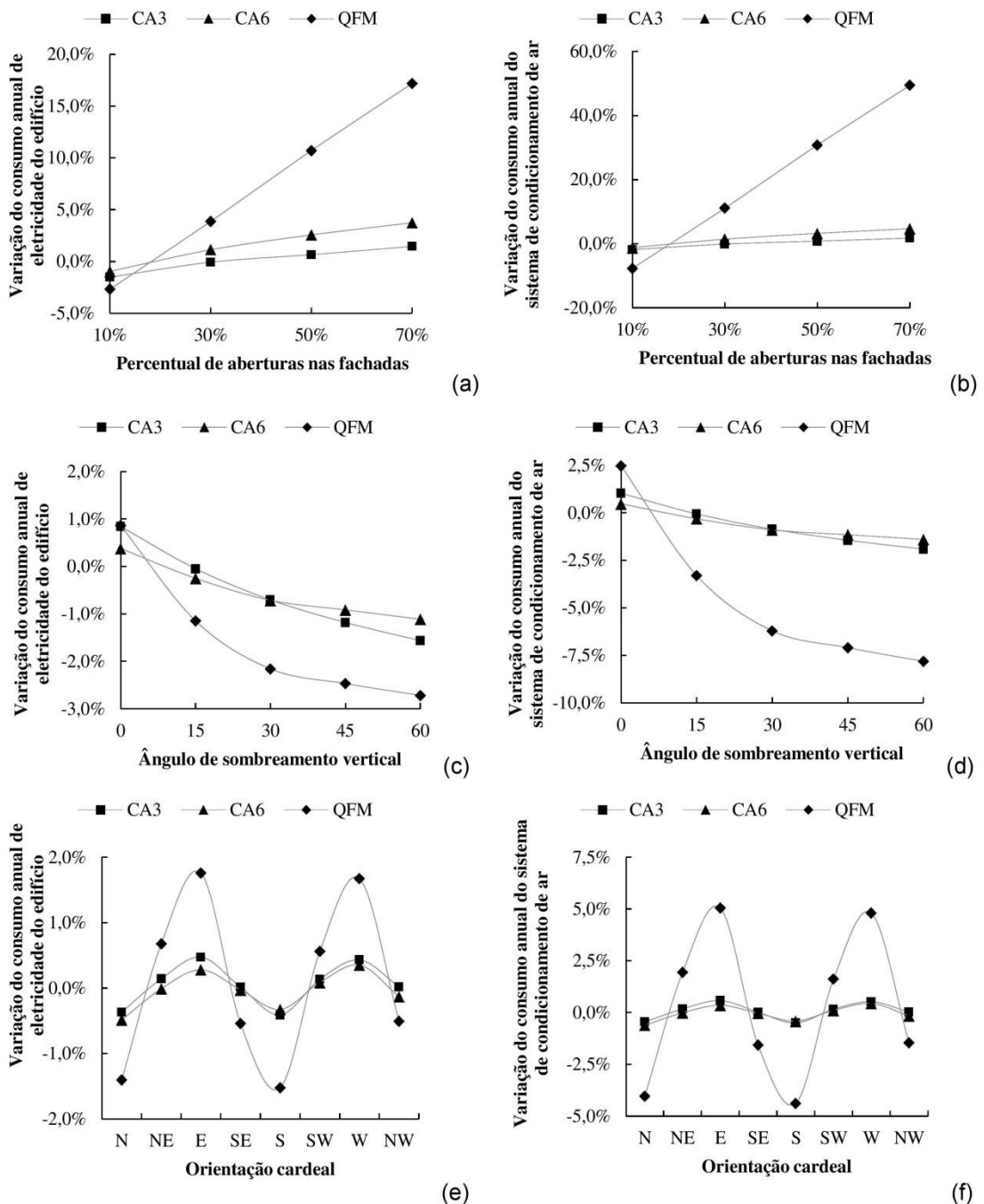
O percentual de aberturas nas fachadas - PAF está associado diretamente ao aumento das cargas térmicas nas edificações, pois os elementos arquitetônicos translúcidos permitem que haja incidência direta da radiação solar para o interior da edificação (LAMBERTS et al., 2014; SZOKOLAY, 2008). Nos casos estudados, os modelos demonstraram que quanto maior o percentual de áreas translúcidas na fachada, maior será o consumo de energia elétrica predial, devido ao consumo de eletricidade para condicionamento de ar (Gráficos 3a e 3b). A variação do consumo anual de energia elétrica foi observada de modo mais relevante na edificação de laboratórios, com redução de 2,68% do consumo de eletricidade anual no modelo com PAF de 10,0%, e acréscimos de até 17,19% no modelo de PAF igual a 70,0%. Nos casos das edificações de salas de aula, houve menor variância do consumo anual de energia elétrica em comparação aos casos base, com acréscimos menores que 3,80% e reduções de até 1,0% no que se refere ao consumo anual de eletricidade. Verificou-se também, que a variação do consumo de energia elétrica total e/ou consumo pelo condicionamento de ar nos casos estudados cresce de modo linear à medida que a proporção de áreas envidraçadas nas fachadas é ampliada.

No que se refere ao sombreamento das áreas envidraçadas das edificações estudadas, verificou-se que quando são considerados maiores ângulos verticais de sombreamento obtém-se maior redução do consumo anual de eletricidade (ver LAMBERTS et al., 2014; SZOKOLAY, 2008). Nos Gráficos 3c e 3d demonstra-se que a redução do consumo de eletricidade ocorreu em conformidade com o valor do ângulo de sombreamento vertical nos estudos de caso realizados. Deve-se destacar novamente o caso do Lab. de Química, Física e Matemática, no qual se observou a redução de até 7,81% no consumo anual de eletricidade do sistema de condicionamento de ar, com a utilização de elementos arquitetônicos com 60° de ângulo de sombreamento vertical.

A orientação cardinal está relacionada com a implantação da edificação e a distribuição geométrica desta em relação ao norte geográfico e, conseqüentemente, à distribuição da incidência de radiação solar na edificação ao longo do ano (AL ANZI; SEO; KRARTI, 2009; LAMBERTS et al., 2014; SZOKOLAY, 2008). Desse modo, o estudo realizado demonstrou que existem variações de consumo anual de energia elétrica, de acordo com a disposição das fachadas mais extensas da edificação em relação ao terreno. Nos Gráficos 3e e 3f demonstra-se que o alinhamento ao norte ou ao sul das fachadas mais extensas propicia a redução do consumo anual de eletricidade, comparativamente às demais orientações. Verifica-se também que, em orientações cujo alinhamento das maiores fachadas é direcionado à leste ou à oeste,

há acréscimos no consumo de energia elétrica, e que o consumo de eletricidade é intermediário quando a maior dimensão da edificação está direcionada aos pontos colaterais: nordeste, noroeste, sudeste e sudoeste.

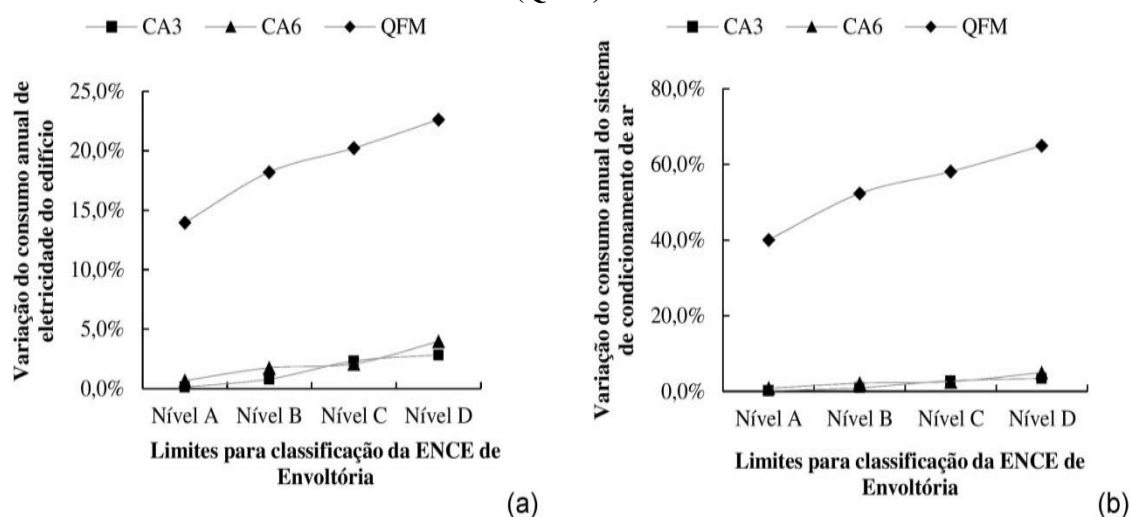
**Gráfico 3: Influência das características geométricas e de implantação da edificação no consumo de eletricidade anual e do sistema de condicionamento de ar em relação às três edificações investigadas na Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró, RN: Central de Aulas 3 (CA3), Central de Aulas 6 (CA6) e Laboratório de Química, Física e Matemática (QFM).**



Fonte: dados da pesquisa.

No Gráfico 4 são apresentados os desempenhos referentes aos modelos parametrizados conforme os quatro benchmarks referentes aos níveis de classificação previstos no RTQ-C em relação as respectivas edificações estudadas. Em todas as edificações estudadas, verificou-se que os sistemas de envoltória apresentaram desempenho superior aos benchmarks definidos pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (2010), e que, portanto, os três seriam qualificados como “Nível A”. Esse desempenho se justifica porque as edificações, objetos deste estudo, são constituídas por revestimentos e sistemas construtivos (ver Gráfico 2) com gradientes de absorvância e transmitância térmica majoritariamente inferiores às exigências do RTQ-C. Portanto, esses revestimentos e sistemas construtivos contribuem para a redução dos efeitos do clima tropical semiárido nos ganhos térmicos da construção. Quanto às características geométricas dos elementos de envoltória, as edificações estudadas possuem baixo percentual de aberturas nas fachadas (entre 14 e 31%) e possuem elementos de sombreamento como as marquises de cobertura, enquanto que os modelos de referência desconsideram estes elementos.

**Gráfico 4: Consumo de eletricidade anual e do sistema de condicionamento de ar dos modelos de referência conforme a classificação de eficiência energética em relação as três edificações investigadas na Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFRS, Mossoró, RN: Central de Aulas 3 (CA3), Central de Aulas 6 (CA6) e Laboratório de Química, Física e Matemática (QFM).**



Fonte: dados da pesquisa.

### Considerações finais

A análise realizada por meio de simulação computacional de desempenho termo-energético demonstrou que as variáveis arquitetônicas influenciaram diretamente o consumo de energia

elétrica de edificações situadas no clima tropical semiárido do estado do Rio Grande do Norte. Os modelos para teste de variáveis e os modelos de referência, propostos pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (2010) para avaliação da envoltória quanto ao nível de eficiência energética, apresentaram variações quanto ao consumo anual de eletricidade em relação às três edificações estudadas. Estas variações estão diretamente relacionadas às características arquitetônicas de envoltória da edificação e à influência destes elementos no ganho térmico da construção e, conseqüentemente, nos efeitos deste ganho no consumo de eletricidade pelos sistemas de condicionamento artificial de ar. Nos três estudos de caso, em função das variáveis arquitetônicas testadas, o condicionamento artificial de ar foi o principal responsável pela variação de consumo anual de eletricidade, enquanto que o consumo resultante de sistemas de iluminação artificial e de equipamentos permaneceu constante em todos os cenários simulados.

A partir da análise das três edificações abrangidas pelo estudo, verificou-se que existem aspectos que contribuem para a otimização do desempenho da envoltória no clima tropical semiárido e, conseqüentemente, para a redução do consumo de eletricidade pelo sistema de condicionamento artificial de ar. As seguintes características contribuíram para minimizar os efeitos da radiação solar no aquecimento das edificações: (i) os revestimentos das edificações estudadas, compostos majoritariamente de cores claras e refletivas, (ii) o baixo percentual de áreas envidraçadas nas fachadas e (iii) a existência de marquises que sombreiam as paredes externas e as aberturas envidraçadas das fachadas nos períodos mais quentes dos dias, ao longo do ano. Estes aspectos positivos são suficientes para compensação das características que não atendem aos parâmetros recomendados pelo Inmetro, ou que demonstraram desempenho mediano, como o que foi apresentado pela excessiva absorção de calor pela cobertura da edificação, devido à absorção térmica de 60%. Esta contrapartida das características e dos elementos construtivos que contribuem para a redução do consumo de energia elétrica predial foi suficiente para que a envoltória das três edificações estudadas obtivesse o desempenho melhor do que os *benchmarks* propostos pelo Inmetro na avaliação de eficiência energética de edifícios.

Com base no estudo realizado e objetivando a redução do consumo de eletricidade em edificações institucionais climatizadas no clima tropical semiárido, bem como a obtenção da classificação “Nível A” da ENCE de Envoltória, recomenda-se que os projetos arquitetônicos destas atentem ou priorizem os seguintes aspectos:

- a) Utilizar sistemas construtivos de cobertura, cuja transmitância térmica seja inferior a  $1,0\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ;
- b) Utilizar sistemas construtivos em paredes externas, cuja transmitância térmica seja inferior a  $3,0\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ;
- c) Dar preferência à utilização de cores claras nos revestimentos de fachadas e de elementos de cobertura, em geral, com baixa absorvância térmica (inferior a 50%);
- d) Adequar as áreas envidraçadas para que estejam protegidas da radiação solar direta, seja pela utilização de elementos de sombreamento ou pela redução da área translúcida, desde que não se prejudique a iluminação natural dos ambientes;
- e) Planejar ruas, lotes e quarteirões de modo a permitir que, na implantação das edificações, as fachadas com maiores dimensões estejam orientadas para o norte e/ou para o sul, estendendo essas edificações longitudinalmente de leste para oeste.

## Referências

AL ANZI, A.; SEO, D.; KRARTI, M. Impact of building shape on thermal performance of office buildings in Kuwait. **Energy Conversion and Management**, v. 50, p. 822-828, 2009.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT, 2005b.

BECKER, S.; POTCHTER, O.; YAAKOV, Y. Calculated and observed human thermal sensation in an extremely hot and dry climate. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 8, p. 747-756, 2003.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Development of envelope efficiency labels for commercial buildings: Effect of different variables on electricity consumption. **Energy and Buildings**, n. 40, p. 2002-2008, 2008.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 2, p. 7-26, abr./jun. 2010a.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 2: método de simulação. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 2, p. 27-40, abr./jun. 2010b.

CASALS, X. G. Analysis of building energy regulation and certification in Europe: Their role, limitations and differences. **Energy and Buildings**, v. 38, p. 381-392, 2006.

CORGNATI, S. P.; KINDINIS, A. Thermal mass activation by hollow core slab coupled with night ventilation to reduce summer cooling loads. **Building and Environment**, v. 42, n. 9, p. 3285-3297, 2007.

DE OLIVEIRA, E. A. S. et al. Human thermal comfort and architectural volume. **Acta Scientiarum - Technology**, v. 38, n. 2, p. 129-135, 2016.

DOS SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de textos, 2004.

FAY, R.; TRELOAR, G.; IYER-RANIGA, U. Life-cycle energy analysis of buildings: a case study. **Building Research & Information**, v. 28, n. 1, p. 31-41, 2000.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5ª ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

FUMO, N.; MAGO, P.; LUCK, R. Methodology to estimate building energy consumption using EnergyPlus Benchmark Models. **Energy and Buildings**, v. 42, p. 2331-2337, 2010.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. 2ª Ed. Florianópolis: Eletrobrás/Procel, 1998. 350

GRÜNBERG, P. R. M.; DE MEDEIROS, M. H. F.; TAVARES, S. F. Environmental certification for habitations: comparison between LEED for Homes, Aqua process and "Selo Casa Azul". **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 2, p. 209-226, 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Portaria n.º 372, de 17 de setembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Portaria n.º 50, de 01 de fevereiro de 2013. Requisitos da Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, 2013.

KATS, G. **Tornando nosso ambiente construído mais sustentável. Custos, benefícios e estratégias**. São Paulo: Island Press, 2014.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª Ed. São Paulo: Eletrobrás/Procel, 2014.

MARTINEZ, M. F. et al. Redução de consumo de energia elétrica através de conceitos green building. **Eletrônica de Potência**, v. 14, n. 2, p. 141-148, maio 2009.

MENDES, N. et al. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, v. 5, n. 4, p. 47-68, out./dez. 2005.

PEDRINI, A.; SZOKOLAY, S. V. Recomendações para o desenvolvimento de uma ferramenta de suporte às primeiras decisões projetuais visando ao desempenho energético de edificações de escritório em clima quente. **Ambiente Construído**, v. 5, n. 1, p. 39-54, jan./mar. 2005.

PEDRINI, A.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. A methodology for building energy modelling and calibration in warm climates. **Building and Environment**, v. 37, n. 8, p. 903-912, ago./set. 2002.

PÉREZ-LOMBARD, L. et al. A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. **Energy and Buildings**, v. 41, p. 272-278, 2009.

REY, F. J.; VELASCO, E.; VARELA, F. Building Energy Analysis (BEA): A methodology to assess building energy labelling. **Energy and Buildings**, n. 39, p. 709-716, 2007.

RORIZ, M. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Arquivos climáticos em formato EPW. 2012. Disponível em: < <http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw> >. Acesso em: 29 jun. 2015.

STANKEVICIUS, V.; KARBAUSKAITE, J.; MONSTVILAS, E. The development of reference values for energy certification of buildings in Lithuania. **Energy and Buildings**, n. 39, p. 284-288, 2007.

SZOKOLAY, S. V. **Introduction to architectural science: the basis of sustainable design**. 2ª ed. Routledge, 2008.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus**. Versão 8.3.0. 2015. Disponível em: < <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/> >. Acesso em: 15 jun. 2015.





## FICHA PARA COLETA DE DADOS ARQUITETÔNICOS

Edifício: \_\_\_\_\_

Nome do registrador: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

REVESTIMENTO	LOCAIS	DESCRIÇÃO	OBSERVAÇÕES:	NÚMERO DA FOTO:
FACHADA 1				
FACHADA 2				
FACHADA 3				
FACHADA 4				
FACHADA 5				
FACHADA 6				
FACHADA 7				
FACHADA 8				
FACHADA 9				
FACHADA 10				
COBERTURA 1				
COBERTURA 2				
COBERTURA 3				
COBERTURA 4				
COBERTURA 5				
COBERTURA 6				
COBERTURA 7				

## FICHA PARA COLETA DE DADOS ARQUITETÔNICOS

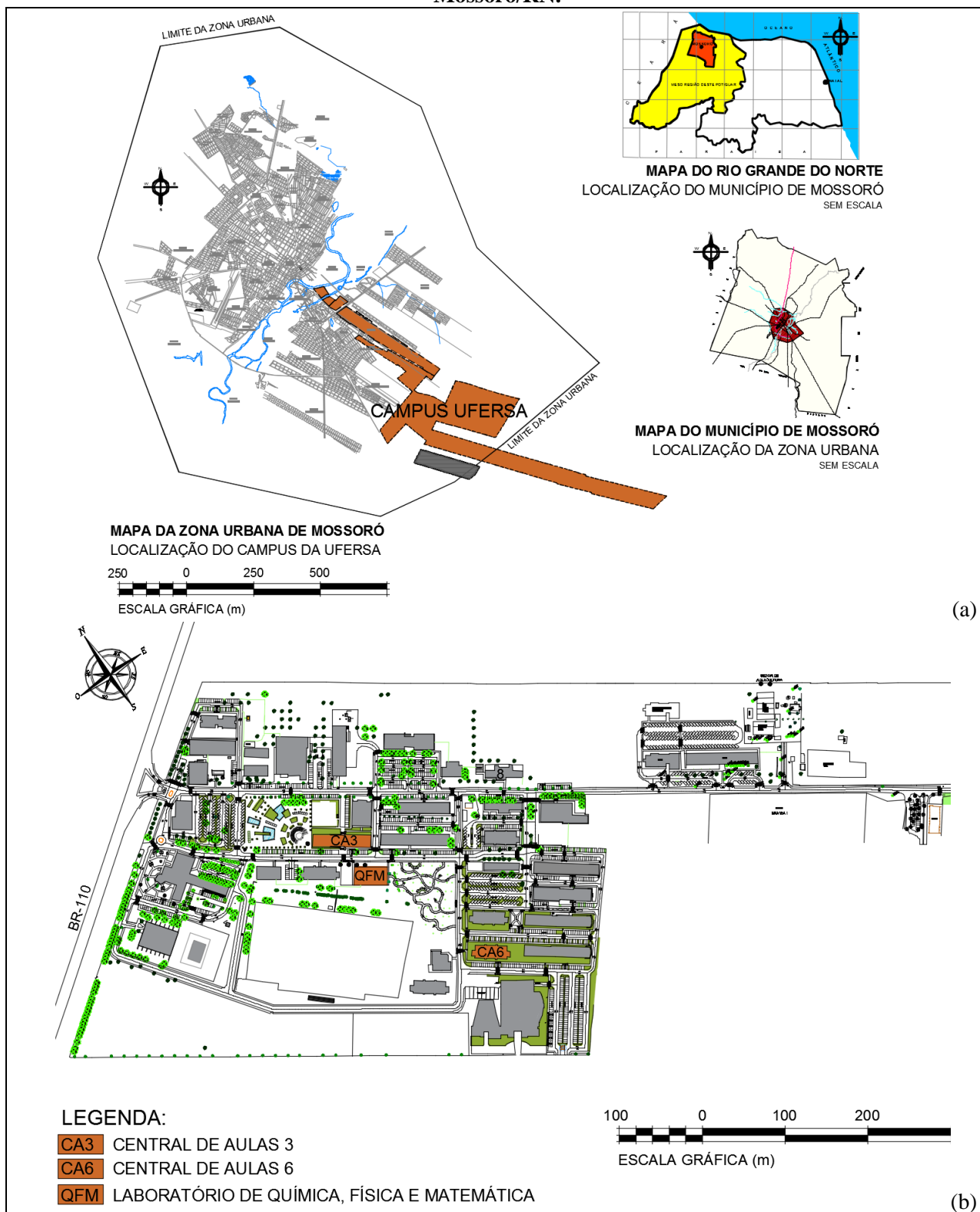
Edifício: \_\_\_\_\_ Nome do registrador: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

ABERTURA	LARG.	ALT.	PEIT.	QUANT.	AZIMUTE	TIPO DE VIDRO	OBSERVAÇÕES
J1							
J2							
J3							
J4							
J5							
J6							
J7							
J8							
J9							
J10							
J11							
J12							
J13							
P1							
P2							
P3							
P4							



## APÊNDICE B: ÁREA DE ESTUDO

Figura 9: a) Localização do Campus da UFERSA em relação à Zona Urbana do Município de Mossoró/RN e b) localização das três edificações estudadas no Campus Leste da UFERSA em Mossoró/RN.



Fonte: adaptado a partir de dados da Superintendência de Infraestrutura – SIN/UFERSA

**Figura 10: Edifícios estudados – a) Central de Aulas 3, b) Central de Aulas 6 e c) Laboratório de Química, Física e Matemática.**

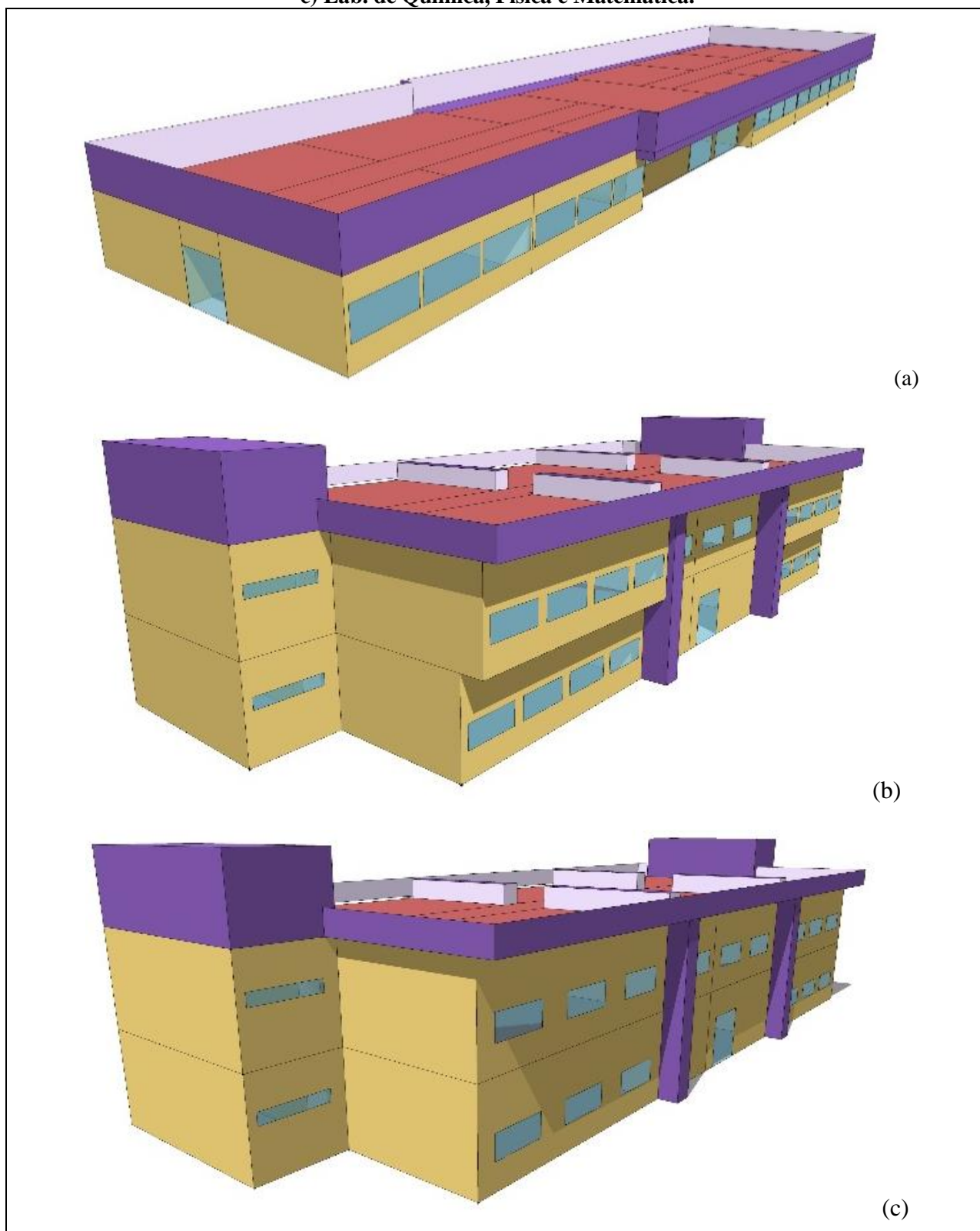


Fonte: dados da pesquisa, 2016..



## APÊNDICE C: IMAGENS DOS MODELOS SIMULADOS

Figura 11: Modelos simulados dos três Casos Base – a) Central de Aulas 3, b) Central de Aulas 6 e c) Lab. de Química, Física e Matemática.



Fonte: dados da pesquisa, 2016.

## APÊNDICE D: RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

### CONSUMO DE ELETRICIDADE: CASOS BASE

#### Edifício Central de Aulas 3

**Tabela 2: Consumo de eletricidade por uso final no Central de Aulas 3.**

Período de referência*	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	..... Condicionamento de ar .....			Consumo total (kWh)
			Total (kWh)	Ventiladores (kWh)	Refrigeração (kWh)	
<b>Jan</b>	50,49	39,68	1485,63	158,03	1327,60	1575,80
<b>Fev</b>	1669,98	457,40	10958,60	1052,65	9905,95	13085,98
<b>Mar</b>	3847,12	1025,00	22526,78	2321,96	20204,82	27398,90
<b>Abr</b>	4002,41	1064,40	22115,40	2268,43	19846,97	27182,21
<b>Mai</b>	4180,24	1111,40	22962,88	2347,44	20615,44	28254,53
<b>Jun</b>	3669,29	978,00	19180,83	2242,94	16937,89	23828,12
<b>Jul</b>	50,49	39,68	821,93	158,03	663,91	912,11
<b>Ago</b>	4013,68	1068,20	20837,99	2334,70	18503,29	25919,87
<b>Set</b>	3835,85	1021,20	21698,77	2255,69	19443,08	26555,82
<b>Out</b>	4180,24	1111,40	23605,73	2347,44	21258,28	28897,37
<b>Nov</b>	3835,85	1021,20	22960,51	2255,69	20704,83	27817,56
<b>Dez</b>	1860,70	509,48	12206,68	1203,03	11003,65	14576,87
<b>Anual</b>	35196,35	9447,04	201361,75	20946,04	180415,71	246005,14
<b>Mín.</b>	50,49	39,68	821,93	158,03	663,91	912,11
<b>Máx.</b>	4180,24	1111,40	23605,73	2347,44	21258,28	28897,37

\*Os períodos se fundamentam nos dados processados por Roriz (2012), para identificação do ano climático de referência, obtido a partir dos dados climáticos coletados entre os anos de 2000 e 2010.

Fonte: dados da pesquisa, 2016.

## Edifício Central de Aulas 6

**Tabela 3: Consumo de eletricidade por uso final no Central de Aulas 6.**

Período de referência*	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	..... Condicionamento de ar .....			Consumo total (kWh)
			Total (kWh)	Ventiladores (kWh)	Refrigeração (kWh)	
<b>Jan</b>	49,63	40,18	1647,52	190,08	1457,44	1737,34
<b>Fev</b>	2327,15	542,16	12792,48	1266,21	11526,27	15661,79
<b>Mar</b>	5384,09	1222,56	26100,61	2793,02	23307,59	32707,26
<b>Abr</b>	5602,89	1270,08	25581,78	2728,63	22853,15	32454,75
<b>Mai</b>	5852,04	1326,24	26544,90	2823,68	23721,23	33723,19
<b>Jun</b>	5134,94	1166,40	21985,22	2697,97	19287,25	28286,56
<b>Jul</b>	49,63	40,18	907,31	190,08	717,22	997,12
<b>Ago</b>	5618,07	1274,40	23948,07	2808,35	21139,73	30840,54
<b>Set</b>	5368,91	1218,24	25132,79	2713,30	22419,48	31719,94
<b>Out</b>	5852,04	1326,24	27441,63	2823,68	24617,96	34619,92
<b>Nov</b>	5368,91	1218,24	26721,74	2713,30	24008,43	33308,89
<b>Dez</b>	2593,09	603,94	14166,73	1447,10	12719,63	17363,75
<b>Anual</b>	49201,41	11248,85	232970,79	25195,40	207775,38	293421,04
<b>Mín.</b>	49,63	40,18	907,31	190,08	717,22	997,12
<b>Máx.</b>	5852,04	1326,24	27441,63	2823,68	24617,96	34619,92

\*Os períodos se fundamentam nos dados processados por Roriz (2012), para identificação do ano climático de referência, obtido a partir dos dados climáticos coletados entre os anos de 2000 e 2010.

Fonte: dados da pesquisa, 2016.



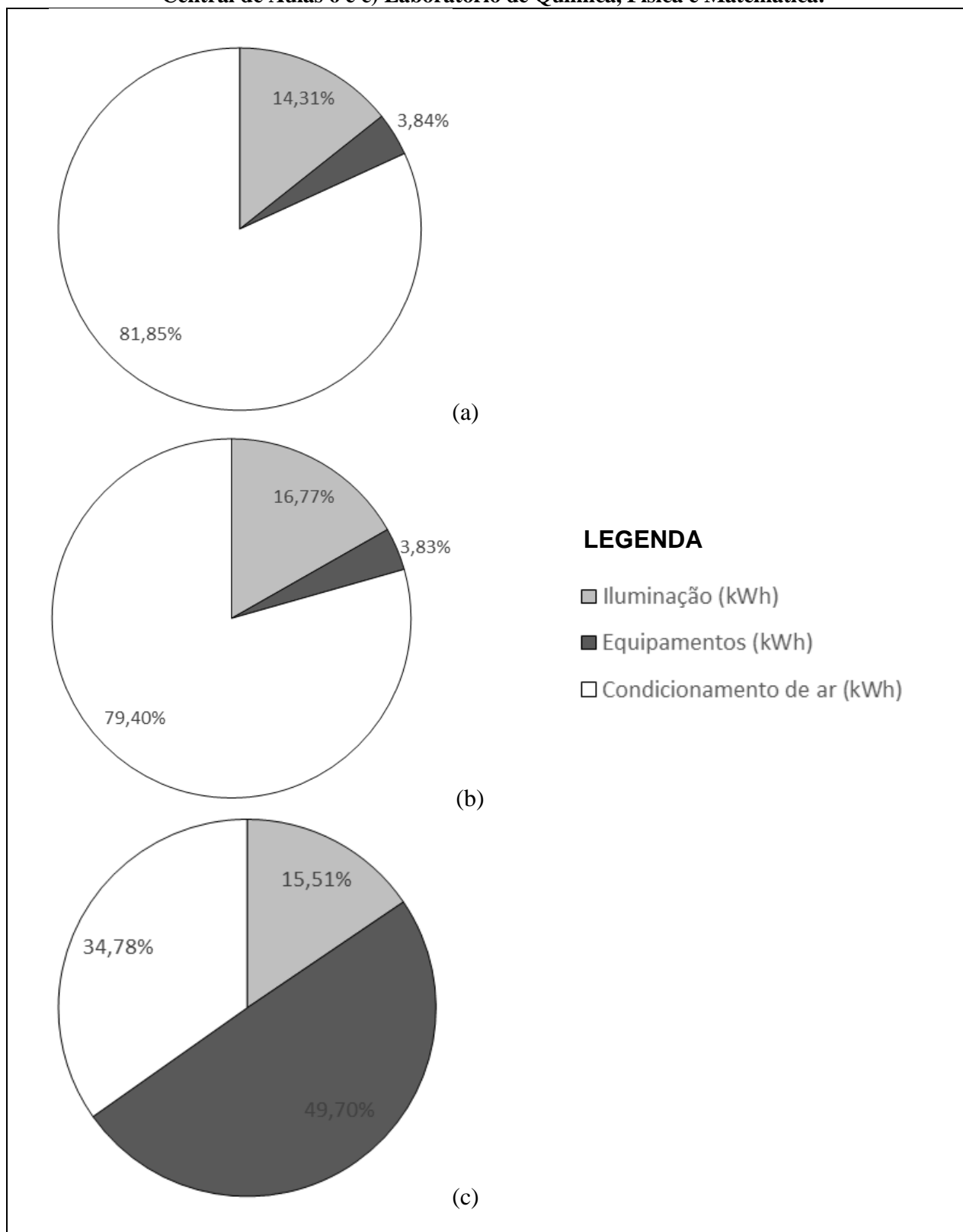
## Edifício Laboratório de Química, Física e Matemática

**Tabela 4: Consumo de eletricidade por uso final no Laboratório de Química, Física e Matemática.**

Período de referência*	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	..... Condicionamento de ar .....			Consumo total (kWh)
			Total (kWh)	Ventiladores (kWh)	Refrigeração (kWh)	
<b>Jan</b>	49,63	80,48	850,95	80,95	770,00	981,06
<b>Fev</b>	2327,15	7428,91	5806,68	539,22	5267,46	15562,74
<b>Mar</b>	5384,09	17274,31	12292,20	1189,42	11102,79	34950,61
<b>Abr</b>	5602,89	17981,58	12009,25	1162,00	10847,26	35593,72
<b>Mai</b>	5852,04	18781,99	12517,96	1202,47	11315,49	37151,99
<b>Jun</b>	5134,94	16473,90	11107,67	1148,94	9958,73	32716,51
<b>Jul</b>	49,63	80,48	512,17	80,95	431,22	642,28
<b>Ago</b>	5618,07	18028,15	11816,76	1195,94	10620,82	35462,98
<b>Set</b>	5368,91	17227,74	11912,03	1155,47	10756,56	34508,68
<b>Out</b>	5852,04	18781,99	12670,27	1202,47	11467,80	37304,31
<b>Nov</b>	5368,91	17227,74	12270,57	1155,47	11115,10	34867,22
<b>Dez</b>	2593,09	8278,49	6561,15	616,25	5944,90	17432,72
<b>Anual</b>	49201,41	157645,75	110327,66	10729,55	99598,12	317174,82
<b>Mín.</b>	49,63	80,48	512,17	80,95	431,22	642,28
<b>Máx.</b>	5852,04	18781,99	12670,27	1202,47	11467,80	37304,31

\*Os períodos se fundamentam nos dados processados por Roriz (2012), para identificação do ano climático de referência, obtido a partir dos dados climáticos coletados entre os anos de 2000 e 2010.

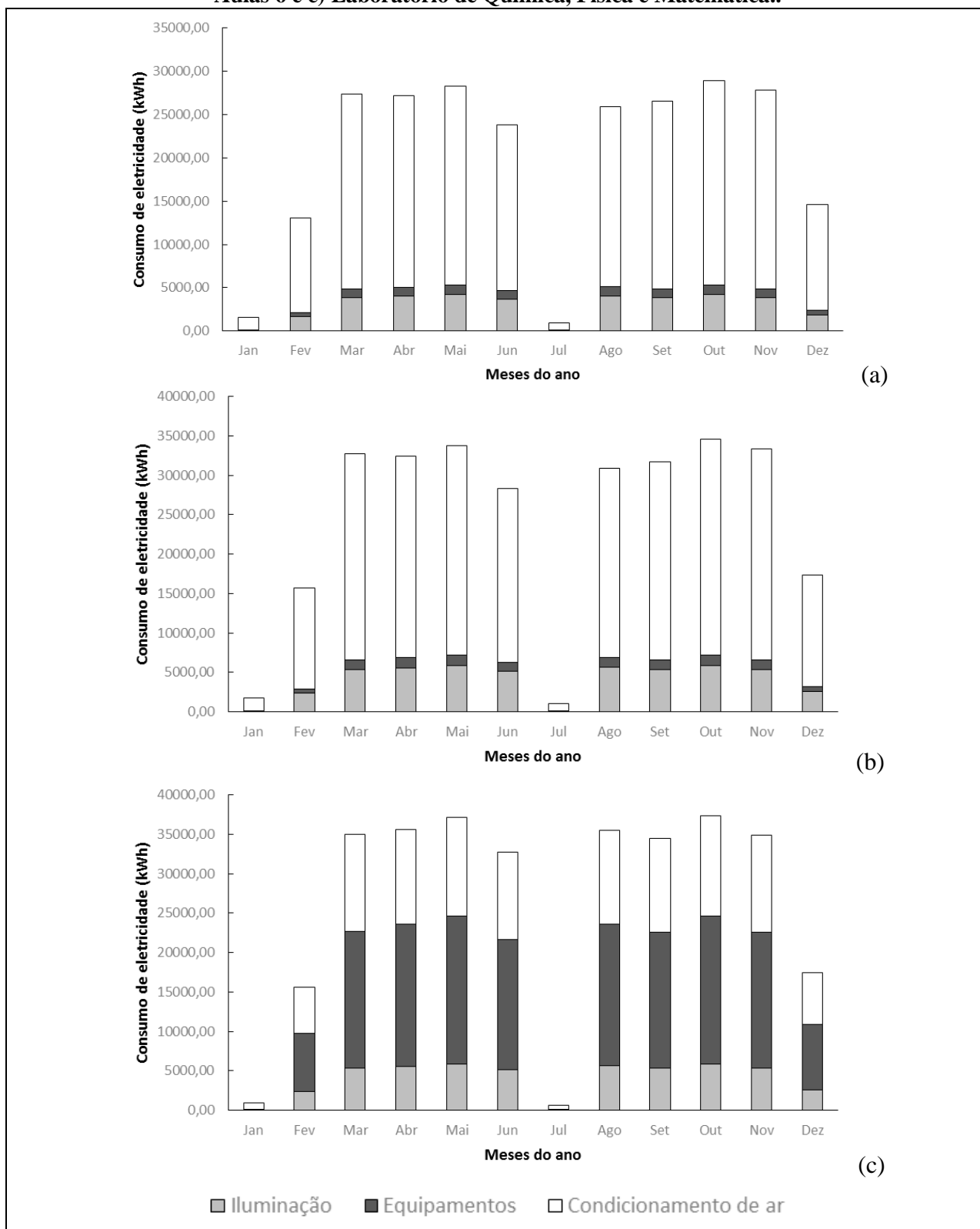
Fonte: dados da pesquisa, 2016.

**CONSUMO ANUAL DE ELETRICIDADE POR USO FINAL: CASOS BASE****Gráfico 5: Percentual de consumo anual de eletricidade por uso final – a) Central de Aulas 3, b) Central de Aulas 6 e c) Laboratório de Química, Física e Matemática.**

Fonte: dados da pesquisa, 2016.

## CONSUMO MENSAL DE ELETRICIDADE POR USO FINAL: CASOS BASE

**Gráfico 6: Consumo mensal de eletricidade por uso final - a) Central de Aulas 3, b) Central de Aulas 6 e c) Laboratório de Química, Física e Matemática..**



Fonte: dados da pesquisa, 2016.

## ABSORTÂNCIA TÉRMICA DE COBERTURA

**Tabela 5: Absortância térmica de cobertura - Central de Aulas 3**

Modelos simulados	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Condicionamento de ar (kWh)	Consumo total (kWh)	... Variação do consumo de eletricidade em relação ao caso base ...			
					..... Total .....	.....	.... Condicionadores de ar ....	.....
					(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
Caso Base*	35196,35	9447,04	201361,75	246005,14	-	-	-	-
Absort Cob 10%	35196,35	9447,04	194181,63	238825,02	-7180,12	-2,92	-7180,12	-3,57
Absort Cob 30%	35196,35	9447,04	197988,37	242631,76	-3373,38	-1,37	-3373,38	-1,68
Absort Cob 50%	35196,35	9447,04	200318,39	244961,78	-1043,36	-0,42	-1043,36	-0,52
Absort Cob 70%	35196,35	9447,04	201920,51	246563,90	558,76	0,23	558,76	0,28
Absort Cob 90%	35196,35	9447,04	203109,50	247752,89	1747,75	0,71	1747,75	0,87

\*Absortância da cobertura de 59,3%.

Fonte: dados da pesquisa, 2016.

**Tabela 6: Absortância térmica de cobertura - Central de Aulas 6**

Modelos simulados	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Condicionamento de ar (kWh)	Consumo total (kWh)	... Variação do consumo de eletricidade em relação ao caso base ...			
					..... Total .....	.....	.... Condicionadores de ar ....	.....
					(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
Caso Base*	49201,41	11248,85	232970,79	293421,04	-	-	-	-
Absort Cob 10%	49201,41	11248,85	230934,38	291384,64	-2036,40	-0,69	-2036,41	-0,87
Absort Cob 30%	49201,41	11248,85	231907,90	292358,15	-1062,89	-0,36	-1062,89	-0,46
Absort Cob 50%	49201,41	11248,85	232668,72	293118,98	-302,06	-0,10	-302,07	-0,13
Absort Cob 70%	49201,41	11248,85	233278,61	293728,87	307,83	0,10	307,82	0,13
Absort Cob 90%	49201,41	11248,85	233775,32	294225,58	804,54	0,27	804,53	0,35

\*Absortância da cobertura de 59,3%.

Fonte: dados da pesquisa, 2016.

**Tabela 7: Absortância térmica de cobertura - Laboratório de Química, Física e Matemática**

Modelos simulados	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Condicionamento de ar (kWh)	Consumo total (kWh)	... Variação do consumo de eletricidade em relação ao caso base ...			
					..... Total .....	.....	.... Condicionadores de ar ....	.....
					(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
Caso Base*	49201,41	157645,75	110327,66	317174,82	-	-	-	-
Absort Cob 10%	49201,41	157645,75	106125,39	312972,55	-4202,27	-1,32	-4202,27	-3,81
Absort Cob 30%	49201,41	157645,75	107780,37	314627,53	-2547,29	-0,80	-2547,29	-2,31
Absort Cob 50%	49201,41	157645,75	109615,81	316462,96	-711,86	-0,22	-711,85	-0,65
Absort Cob 70%	49201,41	157645,75	111092,04	317939,19	764,37	0,24	764,38	0,69
Absort Cob 90%	49201,41	157645,75	112376,36	319223,52	2048,70	0,65	2048,70	1,86

\*Absortância da cobertura de 59,3%.

Fonte: dados da pesquisa, 2016.

## ABSORTÂNCIA TÉRMICA DE PAREDES EXTERNAS

**Tabela 8: Absortância térmica de paredes externas - Central de Aulas 3**

Modelos simulados	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Condicionamento de ar (kWh)	Consumo total (kWh)	... Variação do consumo de eletricidade em relação ao caso base ...			
					..... Total .....	.....	.... Condicionadores de ar ....	.....
					(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
Caso Base*	35196,35	9447,04	201361,75	246005,14	-	-	-	-
Absort Par 10%	35196,35	9447,04	200477,21	245120,59	-884,55	-0,36	-884,54	-0,44
Absort Par 30%	35196,35	9447,04	201099,56	245742,95	-262,19	-0,11	-262,19	-0,13
Absort Par 50%	35196,35	9447,04	201547,03	246190,42	185,28	0,08	185,28	0,09
Absort Par 70%	35196,35	9447,04	201894,45	246537,84	532,70	0,22	532,70	0,26
Absort Par 90%	35196,35	9447,04	202170,78	246814,17	809,03	0,33	809,03	0,40

\*Absortância de paredes externas entre 15,8 e 73,3%.

Fonte: dados da pesquisa, 2016.

**Tabela 9: Absortância térmica de paredes externas - Central de Aulas 6**

Modelos simulados	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Condicionamento de ar (kWh)	Consumo total (kWh)	... Variação do consumo de eletricidade em relação ao caso base ...			
					..... Total .....	.....	.... Condicionadores de ar ....	.....
					(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
Caso Base*	49201,41	11248,85	232970,79	293421,04	-	-	-	-
Absort Par 10%	49201,41	11248,85	232627,69	293077,94	-343,10	-0,12	-343,10	-0,15
Absort Par 30%	49201,41	11248,85	233751,08	294201,34	780,30	0,27	780,29	0,33
Absort Par 50%	49201,41	11248,85	234646,74	295096,99	1675,95	0,57	1675,95	0,72
Absort Par 70%	49201,41	11248,85	235388,19	295838,44	2417,40	0,82	2417,40	1,04
Absort Par 90%	49201,41	11248,85	235998,80	296449,05	3028,01	1,03	3028,01	1,30

\*Absortância de paredes externas entre 15,8 e 73,3%.

Fonte: dados da pesquisa, 2016.

**Tabela 10: Absortância térmica de paredes externas - Laboratório de Química, Física e Matemática**

Modelos simulados	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Condicionamento de ar (kWh)	Consumo total (kWh)	... Variação do consumo de eletricidade em relação ao caso base ...			
					..... Total .....	.....	.... Condicionadores de ar ....	.....
					(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
Caso Base*	49201,41	157645,75	110327,66	317174,82	-	-	-	-
Absort Par 10%	49201,41	157645,75	109521,09	316368,24	-806,58	-0,25	-806,57	-0,73
Absort Par 30%	49201,41	157645,75	112318,27	319165,42	1990,60	0,63	1990,61	1,80
Absort Par 50%	49201,41	157645,75	115027,69	321874,85	4700,03	1,48	4700,03	4,26
Absort Par 70%	49201,41	157645,75	117325,33	324172,48	6997,66	2,21	6997,67	6,34
Absort Par 90%	49201,41	157645,75	119364,45	326211,60	9036,78	2,85	9036,79	8,19

\*Absortância de paredes externas entre 15,8 e 73,3%.

Fonte: dados da pesquisa, 2016.

## TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DE COBERTURA

### Tabela 11: Transmitância térmica de cobertura - Central de Aulas 3

Modelos simulados	Transmitância térmica (W/m <sup>2</sup> .K)	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Condicionamento de ar (kWh)	Consumo total (kWh)	Variação do consumo de eletricidade em relação ao caso base			
						..... Total .....		Condicionadores de ar	
						(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
<b>Caso Base*</b>	1,04	35196,35	9447,04	201361,75	246005,14	-	-	-	-
<b>Telha sanduíche, laje ceram. e forro lâ vidro</b>	0,41	35196,35	9447,04	199391,94	244035,33	-1969,81	-0,80	-1969,81	-0,98
<b>Telha de fibroc., laje cerâmica, forro lâ vidro</b>	0,69	35196,35	9447,04	200151,54	244794,93	-1210,21	-0,49	-1210,21	-0,60
<b>Telha de fibroc., laje concreto e Forro de gesso</b>	1,06	35196,35	9447,04	202122,12	246765,51	760,37	0,31	760,37	0,38
<b>Laje de concreto sem forro</b>	3,08	35196,35	9447,04	205155,47	249798,86	3793,72	1,54	3793,72	1,88
<b>Telha de fibroc. sem forro</b>	4,60	35196,35	9447,04	244175,93	288819,32	42814,18	17,40	42814,18	21,26

\* Telha de fibrocimento, laje cerâmica e forro de PVC.

Fonte: dados da pesquisa, 2016.

### Tabela 12: Transmitância térmica de cobertura - Central de Aulas 6

Modelos simulados	Transmitância térmica (W/m <sup>2</sup> .K)	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Condicionamento de ar (kWh)	Consumo total (kWh)	Variação do consumo de eletricidade em relação ao caso base			
						..... Total .....		Condicionadores de ar	
						(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
<b>Caso Base*</b>	0,69	49201,41	11248,85	232970,79	293421,04	-	-	-	-
<b>Telha Sanduíche, Laje Ceram. e Forro Lã Vidro</b>	0,41	49201,41	11248,85	232159,74	292609,99	-811,05	-0,28	-811,05	-0,35
<b>Telha de Fibroc., Laje Cerâmica, Forro PVC</b>	1,04	49201,41	11248,85	233996,97	294447,22	1026,18	0,35	1026,18	0,44
<b>Telha de Fibroc., Laje Concreto e Forro de gesso</b>	1,06	49201,41	11248,85	234176,41	294626,67	1205,63	0,41	1205,62	0,52
<b>Laje de Concreto sem forro</b>	3,08	49201,41	11248,85	237224,45	297674,70	4253,66	1,45	4253,66	1,83
<b>Telha de Fibroc. sem forro</b>	4,60	49201,41	11248,85	255929,33	316379,58	22958,54	7,82	22958,54	9,85

\* Telha de fibrocimento, laje cerâmica e forro de lâ de vidro.

Fonte: dados da pesquisa, 2016.

### Tabela 13: Transmitância térmica de cobertura - Laboratório de Química, Física e Matemática

Modelos simulados	Transmitância térmica (W/m <sup>2</sup> .K)	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Condicionamento de ar (kWh)	Consumo total (kWh)	Variação do consumo de eletricidade em relação ao caso base			
						..... Total .....		Condicionadores de ar	
						(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
<b>Caso Base*</b>	0,69	49201,41	157645,75	110327,66	317174,82	-	-	-	-
<b>Telha Sanduíche, Laje Ceram. e Forro Lã Vidro</b>	0,41	49201,41	157645,75	107321,10	314168,25	-3006,57	-0,95	-3006,56	-2,73
<b>Telha de Fibroc., Laje Cerâmica, Forro PVC</b>	1,04	49201,41	157645,75	113553,60	320400,75	3225,93	1,02	3225,94	2,92
<b>Telha de Fibroc., Laje Concreto e Forro de gesso</b>	1,06	49201,41	157645,75	112714,12	319561,28	2386,46	0,75	2386,46	2,16
<b>Laje de Concreto sem forro</b>	3,08	49201,41	157645,75	123445,17	330292,32	13117,50	4,14	13117,51	11,89
<b>Telha de Fibroc. sem forro</b>	4,60	49201,41	157645,75	167852,77	374699,92	57525,10	18,14	57525,11	52,14

\* Telha de fibrocimento, laje cerâmica e forro de lâ de vidro.

Fonte: dados da pesquisa, 2016.

## TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DE PAREDES EXTERNAS

**Tabela 14: Transmitância térmica de paredes externas - Central de Aulas 3**

Modelos simulados	Transmitância térmica (W/m <sup>2</sup> .K)	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Condicionam. de ar (kWh)	Consumo total (kWh)	Variação do consumo de eletricidade em relação ao caso base			
						..... Total .....		Condicionadores de ar	
						(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
<b>Caso Base*</b>	2,48	35196,35	9447,04	201361,75	246005,14	-	-	-	-
<b>Placa Isolante**</b>	0,38	35196,35	9447,04	201145,98	245789,37	-215,77	-0,09	-215,77	-0,11
<b>Tijolo 6 furos (assentado na maior dimensão)***</b>	2,02	35196,35	9447,04	201489,41	246132,80	127,66	0,05	127,66	0,06
<b>Tijolo maciço (dupla)***</b>	2,30	35196,35	9447,04	201552,08	246195,47	190,33	0,08	190,33	0,09
<b>Tijolo maciço***</b>	3,13	35196,35	9447,04	201198,24	245841,63	-163,51	-0,07	-163,51	-0,08
<b>Placa de concreto (5cm)</b>	5,04	35196,35	9447,04	200609,14	245252,53	-752,61	-0,31	-752,61	-0,37

\* Tijolo 8 furos (assentado na menor dimensão), rebocado dos dois lados.

\*\*Placa cimentícia, lâ de vidro (9,0cm de espessura) e gesso acartonado.

\*\*\*Rebocado dos dois lados com argamassa (2,5cm de espessura).

Fonte: dados da pesquisa, 2016.

**Tabela 15: Transmitância térmica de paredes externas - Central de Aulas 6**

Modelos simulados	Transmitância térmica (W/m <sup>2</sup> .K)	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Condicionam. de ar (kWh)	Consumo total (kWh)	Variação do consumo de eletricidade em relação ao caso base			
						..... Total .....		Condicionadores de ar	
						(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
<b>Caso Base*</b>	2,48	49201,41	11248,85	232970,79	293421,04	-	-	-	-
<b>Placa Isolante**</b>	0,38	49201,41	11248,85	234175,60	294625,85	1204,81	0,41	1204,81	0,52
<b>Tijolo 6 furos (assentado na maior dimensão)***</b>	2,02	49201,41	11248,85	234289,37	294739,62	1318,58	0,45	1318,58	0,57
<b>Tijolo maciço (dupla)***</b>	2,30	49201,41	11248,85	233866,22	294316,48	895,44	0,31	895,43	0,38
<b>Tijolo maciço***</b>	3,13	49201,41	11248,85	231597,53	292047,78	-1373,26	-0,47	-1373,26	-0,59
<b>Placa de concreto (5cm)</b>	5,04	49201,41	11248,85	231200,75	291651,00	-1770,04	-0,60	-1770,04	-0,76

\* Tijolo 8 furos (assentado na menor dimensão), rebocado dos dois lados.

\*\*Placa cimentícia, lâ de vidro (9,0cm de espessura) e gesso acartonado.

\*\*\*Rebocado dos dois lados com argamassa (2,5cm de espessura).

Fonte: dados da pesquisa, 2016.

**Tabela 16: Transmitância térmica de paredes externas - Laboratório de Química, Física e Matemática**

Modelos simulados	Transmitância térmica (W/m <sup>2</sup> .K)	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Condicionam. de ar (kWh)	Consumo total (kWh)	Variação do consumo de eletricidade em relação ao caso base			
						..... Total .....		Condicionadores de ar	
						(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
<b>Caso Base*</b>	2,48	49201,41	157645,75	110327,66	317174,82	-	-	-	-
<b>Placa Isolante**</b>	0,38	49201,41	157645,75	106174,97	313022,12	-4152,70	-1,31	-4152,69	-3,76
<b>Tijolo 6 furos (assentado na maior dimensão)***</b>	2,02	49201,41	157645,75	105736,51	312583,66	-4591,16	-1,45	-4591,15	-4,16
<b>Tijolo maciço (dupla)***</b>	2,30	49201,41	157645,75	103338,53	310185,68	-6989,14	-2,20	-6989,13	-6,33
<b>Tijolo maciço***</b>	3,13	49201,41	157645,75	111753,76	318600,92	1426,10	0,45	1426,10	1,29
<b>Placa de concreto (5cm)</b>	5,04	49201,41	157645,75	137894,31	344741,47	27566,65	8,69	27566,65	24,99

\* Tijolo 8 furos (assentado na menor dimensão), rebocado dos dois lados.

\*\*Placa cimentícia, lâ de vidro (9,0cm de espessura) e gesso acartonado.

\*\*\*Rebocado dos dois lados com argamassa (2,5cm de espessura).

Fonte: dados da pesquisa, 2016.

## PERCENTUAL DE ABERTURA DE FACHADAS

**Tabela 17: Percentual de abertura de fachada - Central de Aulas 3**

Modelos simulados	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Condicionamento de ar (kWh)	Consumo total (kWh)	... Variação do consumo de eletricidade em relação ao caso base ...			
					..... Total .....	.....	.... Condicionadores de ar ....	.....
					(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
<b>Caso Base*</b>	35196,35	9447,04	201361,75	246005,14	-	-	-	-
<b>PAF 10%</b>	35196,35	9447,04	197631,65	242275,04	-3730,10	-1,52	-3730,10	-1,85
<b>PAF 30%</b>	35196,35	9447,04	201188,34	245831,73	-173,41	-0,07	-173,41	-0,09
<b>PAF 50%</b>	35196,35	9447,04	202975,56	247618,95	1613,81	0,66	1613,81	0,80
<b>PAF 70%</b>	35196,35	9447,04	204928,61	249572,00	3566,86	1,45	3566,86	1,77

\*Percentual de aberturas nas fachadas de 31%.

Fonte: dados da pesquisa, 2016.

**Tabela 18: Percentual de abertura de fachada - Central de Aulas 6**

Modelos simulados	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Condicionamento de ar (kWh)	Consumo total (kWh)	... Variação do consumo de eletricidade em relação ao caso base ...			
					..... Total .....	.....	.... Condicionadores de ar ....	.....
					(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
<b>Caso Base*</b>	49201,41	11248,85	232970,79	293421,04	-	-	-	-
<b>PAF 10%</b>	49201,41	11248,85	230157,75	290608,01	-2813,03	-0,96	-2813,04	-1,21
<b>PAF 30%</b>	49201,41	11248,85	236287,67	296737,92	3316,88	1,13	3316,88	1,42
<b>PAF 50%</b>	49201,41	11248,85	240493,21	300943,47	7522,43	2,56	7522,42	3,23
<b>PAF 70%</b>	49201,41	11248,85	243942,25	304392,50	10971,46	3,74	10971,46	4,71

\*Percentual de aberturas nas fachadas de 18%.

Fonte: dados da pesquisa, 2016.

**Tabela 19: Percentual de abertura de fachada - Laboratório de Química, Física e Matemática**

Modelos simulados	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Condicionamento de ar (kWh)	Consumo total (kWh)	... Variação do consumo de eletricidade em relação ao caso base ...			
					..... Total .....	.....	.... Condicionadores de ar ....	.....
					(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
<b>Caso Base*</b>	49201,41	157645,75	110327,66	317174,82	-	-	-	-
<b>PAF 10%</b>	49201,41	157645,75	101837,86	308685,01	-8489,81	-2,68	-8489,80	-7,70
<b>PAF 30%</b>	49201,41	157645,75	122583,82	329430,98	12256,16	3,86	12256,16	11,11
<b>PAF 50%</b>	49201,41	157645,75	144287,79	351134,95	33960,13	10,71	33960,13	30,78
<b>PAF 70%</b>	49201,41	157645,75	164837,90	371685,05	54510,23	17,19	54510,24	49,41

\*Percentual de aberturas nas fachadas de 14%.

Fonte: dados da pesquisa, 2016.



## ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO DAS ABERTURAS

**Tabela 20: Ângulo vertical de sombreamento das aberturas - Central de Aulas 3**

Modelos simulados	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Condicionamento de ar (kWh)	Consumo total (kWh)	... Variação do consumo de eletricidade em relação ao caso base ...			
					..... Total .....	.....	.... Condicionadores de ar ....	.....
					(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
Caso Base*	35196,35	9447,04	201361,75	246005,14	-	-	-	-
AVS 0°	35196,35	9447,04	203428,79	248072,18	2067,04	0,84	2067,04	1,03
AVS 15°	35196,35	9447,04	201243,56	245886,95	-118,19	-0,05	-118,19	-0,06
AVS 30°	35196,35	9447,04	199627,96	244271,35	-1733,79	-0,70	-1733,79	-0,86
AVS 45°	35196,35	9447,04	198456,30	243099,69	-2905,45	-1,18	-2905,45	-1,44
AVS 60°	35196,35	9447,04	197512,23	242155,62	-3849,52	-1,56	-3849,52	-1,91

\*Ângulo vertical de sombreamento médio de 23°.

Fonte: dados da pesquisa, 2016.

**Tabela 21: Ângulo vertical de sombreamento das aberturas - Central de Aulas 6**

Modelos simulados	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Condicionamento de ar (kWh)	Consumo total (kWh)	... Variação do consumo de eletricidade em relação ao caso base ...			
					..... Total .....	.....	.... Condicionadores de ar ....	.....
					(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
Caso Base*	49201,41	11248,85	232970,79	293421,04	-	-	-	-
AVS 0°	49201,41	11248,85	234079,13	294529,38	1108,34	0,38	1108,34	0,48
AVS 15°	49201,41	11248,85	232235,00	292685,25	-735,79	-0,25	-735,79	-0,32
AVS 30°	49201,41	11248,85	230873,83	291324,09	-2096,95	-0,71	-2096,96	-0,90
AVS 45°	49201,41	11248,85	230284,42	290734,67	-2686,37	-0,92	-2686,37	-1,15
AVS 60°	49201,41	11248,85	229706,80	290157,06	-3263,98	-1,11	-3263,99	-1,40

\*Ângulo vertical de sombreamento médio de 22°.

Fonte: dados da pesquisa, 2016.

**Tabela 22: Ângulo vertical de sombreamento das aberturas - Laboratório de Química, Física e Matemática**

Modelos simulados	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Condicionamento de ar (kWh)	Consumo total (kWh)	... Variação do consumo de eletricidade em relação ao caso base ...			
					..... Total .....	.....	.... Condicionadores de ar ....	.....
					(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
Caso Base*	49201,41	157645,75	110327,66	317174,82	-	-	-	-
AVS 0°	49201,41	157645,75	113062,45	319909,61	2734,79	0,86	2734,79	2,48
AVS 15°	49201,41	157645,75	106685,67	313532,82	-3642,00	-1,15	-3641,99	-3,30
AVS 30°	49201,41	157645,75	103476,70	310323,86	-6850,96	-2,16	-6850,96	-6,21
AVS 45°	49201,41	157645,75	102497,06	309344,22	-7830,60	-2,47	-7830,60	-7,10
AVS 60°	49201,41	157645,75	101706,91	308554,06	-8620,76	-2,72	-8620,75	-7,81

\*Ângulo vertical de sombreamento médio de 12°.

Fonte: dados da pesquisa, 2016.

## ORIENTAÇÃO CARDEAL DA FACHADA PRINCIPAL

**Tabela 23: Orientação cardeal da fachada principal - Central de Aulas 3**

Modelos simulados	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Condicionamento de ar (kWh)	Consumo total (kWh)	Variação do consumo de eletricidade em relação ao caso base			
					..... Total .....	.....	.... Condicionadores de ar ....	.....
					(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
<b>Caso Base*</b>	35196,35	9447,04	201361,75	246005,14	-	-	-	-
<b>N (Azimute: 0°)</b>	35196,35	9447,04	200454,82	245098,21	-906,93	-0,37	-906,93	-0,45
<b>NE (Azimute: 45°)</b>	35196,35	9447,04	201710,01	246353,40	348,26	0,14	348,26	0,17
<b>E (Azimute: 90°)</b>	35196,35	9447,04	202526,87	247170,26	1165,12	0,47	1165,12	0,58
<b>SE (Azimute: 135°)</b>	35196,35	9447,04	201395,85	246039,24	34,10	0,01	34,10	0,02
<b>S (Azimute: 180°)</b>	35196,35	9447,04	200345,43	244988,82	-1016,32	-0,41	-1016,32	-0,50
<b>SW (Azimute: 225°)</b>	35196,35	9447,04	201690,21	246333,60	328,46	0,13	328,46	0,16
<b>W (Azimute: 270°)</b>	35196,35	9447,04	202422,23	247065,62	1060,48	0,43	1060,48	0,53
<b>NW (Azimute: 315°)</b>	35196,35	9447,04	201405,56	246048,95	43,81	0,02	43,81	0,02

\*Azimute da fachada principal: 36°.

Fonte: dados da pesquisa, 2016.

**Tabela 24: Orientação cardeal da fachada principal - Central de Aulas 6**

Modelos simulados	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Condicionamento de ar (kWh)	Consumo total (kWh)	Variação do consumo de eletricidade em relação ao caso base			
					..... Total .....	.....	.... Condicionadores de ar ....	.....
					(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
<b>Caso Base*</b>	49201,41	11248,85	232970,79	293421,04	-	-	-	-
<b>N (Azimute: 0°)</b>	49201,41	11248,85	231538,19	291988,45	-1432,59	-0,49	-1432,60	-0,61
<b>NE (Azimute: 45°)</b>	49201,41	11248,85	232940,19	293390,44	-30,60	-0,01	-30,60	-0,01
<b>E (Azimute: 90°)</b>	49201,41	11248,85	233791,64	294241,90	820,86	0,28	820,85	0,35
<b>SE (Azimute: 135°)</b>	49201,41	11248,85	232891,74	293342,00	-79,04	-0,03	-79,05	-0,03
<b>S (Azimute: 180°)</b>	49201,41	11248,85	232006,86	292457,11	-963,93	-0,33	-963,93	-0,41
<b>SW (Azimute: 225°)</b>	49201,41	11248,85	233219,19	293669,44	248,40	0,08	248,40	0,11
<b>W (Azimute: 270°)</b>	49201,41	11248,85	234002,11	294452,37	1031,33	0,35	1031,32	0,44
<b>NW (Azimute: 315°)</b>	49201,41	11248,85	232583,09	293033,34	-387,70	-0,13	-387,70	-0,17

\*Azimute da fachada principal: 217°.

Fonte: dados da pesquisa, 2016.

**Tabela 25: Orientação cardeal da fachada principal - Laboratório de Química, Física e Matemática**

Modelos simulados	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Condicionamento de ar (kWh)	Consumo total (kWh)	Variação do consumo de eletricidade em relação ao caso base			
					..... Total .....	.....	.... Condicionadores de ar ....	.....
					(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
<b>Caso Base*</b>	49201,41	157645,75	110327,66	317174,82	-	-	-	-
<b>N (Azimute: 0°)</b>	49201,41	157645,75	105866,21	312713,37	-4461,45	-1,41	-4461,45	-4,04
<b>NE (Azimute: 45°)</b>	49201,41	157645,75	112469,03	319316,18	2141,36	0,68	2141,37	1,94
<b>E (Azimute: 90°)</b>	49201,41	157645,75	115904,69	322751,84	5577,02	1,76	5577,03	5,05
<b>SE (Azimute: 135°)</b>	49201,41	157645,75	108605,37	315452,53	-1722,29	-0,54	-1722,29	-1,56
<b>S (Azimute: 180°)</b>	49201,41	157645,75	105487,03	312334,18	-4840,64	-1,53	-4840,63	-4,39
<b>SW (Azimute: 225°)</b>	49201,41	157645,75	112110,68	318957,84	1783,02	0,56	1783,02	1,62
<b>W (Azimute: 270°)</b>	49201,41	157645,75	115631,78	322478,93	5304,11	1,67	5304,12	4,81
<b>NW (Azimute: 315°)</b>	49201,41	157645,75	108712,61	315559,76	-1615,06	-0,51	-1615,05	-1,46

\*Azimute da fachada principal: 35°.

Fonte: dados da pesquisa, 2016.

## ENCE - ETIQUETA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

**Tabela 26: Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - Central de Aulas 3**

Modelos simulados	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Condicionamento de ar (kWh)	Consumo total (kWh)	... Variação do consumo de eletricidade em relação ao caso base ...			
					..... Total .....	.....	.... Condicionadores de ar ....	.....
					(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
<b>Caso Base</b>	35196,35	9447,04	201361,75	246005,14	-	-	-	-
<b>Nível A</b>	35196,35	9447,04	201681,99	246325,38	320,24	0,13	320,24	0,16
<b>Nível B</b>	35196,35	9447,04	203349,80	247993,19	1988,05	0,81	1988,05	0,99
<b>Nível C</b>	35196,35	9447,04	207098,56	251741,95	5736,81	2,33	5736,81	2,85
<b>Nível D</b>	35196,35	9447,04	208348,08	252991,47	6986,33	2,84	6986,33	3,47

Fonte: dados da pesquisa, 2016.

**Tabela 27: Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - Central de Aulas 6**

Modelos simulados	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Condicionamento de ar (kWh)	Consumo total (kWh)	... Variação do consumo de eletricidade em relação ao caso base ...			
					..... Total .....	.....	.... Condicionadores de ar ....	.....
					(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
<b>Caso Base</b>	49201,41	11248,85	232970,79	293421,04	-	-	-	-
<b>Nível A</b>	49201,41	11248,85	234993,03	295443,29	2022,25	0,69	2022,24	0,87
<b>Nível B</b>	49201,41	11248,85	238123,39	298573,65	5152,61	1,76	5152,60	2,21
<b>Nível C</b>	49201,41	11248,85	239106,59	299556,85	6135,81	2,09	6135,80	2,63
<b>Nível D</b>	49201,41	11248,85	244635,93	305086,18	11665,14	3,98	11665,14	5,01

Fonte: dados da pesquisa, 2016.

**Tabela 28: Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - Laboratório de Química, Física e Matemática**

Modelos simulados	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Condicionamento de ar (kWh)	Consumo total (kWh)	... Variação do consumo de eletricidade em relação ao caso base ...			
					..... Total .....	.....	.... Condicionadores de ar ....	.....
					(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
<b>Caso Base</b>	49201,41	157645,75	110327,66	317174,82	-	-	-	-
<b>Nível A</b>	49201,41	157645,75	154596,64	361443,80	44268,98	13,96	44268,98	40,13
<b>Nível B</b>	49201,41	157645,75	168087,00	374934,15	57759,33	18,21	57759,34	52,35
<b>Nível C</b>	49201,41	157645,75	174484,33	381331,48	64156,66	20,23	64156,67	58,15
<b>Nível D</b>	49201,41	157645,75	182050,06	388897,22	71722,40	22,61	71722,40	65,01

Fonte: dados da pesquisa, 2016.

## **APÊNDICE E: DIRETRIZES PARA OBTENÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO “NÍVEL A” DA ENCE DE EDIFICAÇÕES NOVAS E/OU REFORMADAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO**

Visando a classificação “Nível A” no processo de avaliação da ENCE Geral de Edifícios:

- a) Instalar medidores que possibilitem medições separadas do consumo por uso final do sistema de iluminação, do sistema de condicionamento artificial de ar e pelos equipamentos;
- b) Em edificações com demanda por aquecimento de água, os sistemas de aquecimento de água devem ser classificados com eficiência “A”, pelo programa de etiquetagem do Inmetro para aparelhos de aquecimento de água;
- c) Os edifícios com elevadores devem possuir sistema de controle inteligente de tráfego;
- d) Em edificações equipadas com bombas de água centrífugas, estes equipamentos devem ser etiquetados pelo Inmetro.

Visando a classificação “Nível A” no processo de avaliação da ENCE de Envoltória:

- e) Utilizar sistemas construtivos de cobertura, cuja transmitância térmica seja inferior a  $1,0\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ , geralmente compostos por elementos isolantes térmicos em telhas e/ou nos forros;
- f) Utilizar sistemas construtivos em paredes externas, cuja transmitância térmica seja inferior a  $3,0\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ , geralmente compostos blocos cerâmicos ou de concreto possuidores de câmaras de ar confinadas em seus interior, ou sistemas compostos por camada de elementos isolantes térmicos;
- g) Dar preferência à utilização de revestimentos de fachadas e de elementos de cobertura com absorvância térmica inferior a 50%; ou seja, majoritariamente compostos por cores claras ou por superfícies refletivas;
- h) Adequar as áreas envidraçadas para que estejam protegidas da radiação solar direta, seja pela utilização de elementos de sombreamento, como *brise-soleil*, marquises e beirais, ou pela redução da área translúcida nas fachadas, desde que não se prejudique a iluminação natural dos ambientes;
- i) Planejar ruas, lotes e quarteirões de modo a permitir que, na implantação das edificações, as fachadas com maiores dimensões estejam orientadas para o norte e/ou para o sul, estendendo essas edificações longitudinalmente de leste para oeste.