



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica
Programa de Engenharia Urbana

Cícero Furtado de Mendonça Lopes

ANÁLISE DO DESEMPENHO TERMO-ENERGÉTICO DE UM EDIFÍCIO
RESIDENCIAL CONCEBIDO A PARTIR DE CONTAINER NA CIDADE DO RIO DE
JANEIRO

Rio de Janeiro

2016



UFRJ

Cícero Furtado de Mendonça Lopes

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TERMO-ENERGÉTICO DE UM EDIFÍCIO
RESIDENCIAL CONCEBIDO A PARTIR DE CONTAINER NA CIDADE DO RIO DE
JANEIRO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientador: Armando Carlos de Pina Filho

Rio de Janeiro

2016

Lopes, Cícero Furtado de Mendonça.

Análise do Desempenho Termo-energético de um Edifício Residencial Concebido a partir de Container na Cidade do Rio de Janeiro/ Cícero Furtado de Mendonça Lopes – 2016.

75 f.: 34 il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Programa de Engenharia Urbana, Rio de Janeiro, 2016.

Orientador: Armando Carlos de Pina Filho

1. Eficiência Energética. 2. Simulação Energética. 3. Eficiência Térmica. 4. Habitação Popular. I. Pina Filho, Armando Carlos de. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica. III. Título.



UFRJ

ANÁLISE DO DESEMPENHO TERMO-ENERGÉTICO DE UM EDIFÍCIO
RESIDENCIAL CONCEBIDO A PARTIR DE CONTAINER NA CIDADE DO RIO DE
JANEIRO

Cícero Furtado de Mendonça Lopes

Orientador: Armando Carlos de Pina Filho

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Aprovada pela Banca:

Presidente, Prof. Armando Carlos de Pina Filho, D.Sc., PEU/POLI/UFRJ

Prof^ª. Elaine Garrido Vazquez, D.Sc., PEU/POLI/UFRJ

Prof^ª. Sylvia Meimaridou Rola, D.Sc., FAU/UFRJ

Rio de Janeiro

2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, namorada e amigos pelo suporte durante o mestrado.

Agradeço ao Professor Armando Carlos de Pina filho pela dedicação e orientação deste trabalho.

Agradecimento especial ao Franklin Iriarte e ao Frederico Cotia que em conjunto pudemos desenvolver este projeto integrado.

RESUMO

LOPES, Cícero Furtado de Mendonça. **Análise do Desempenho Termo-energético de um Edifício Residencial concebido a partir de Container na cidade do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2016. Dissertação (Mestrado) - Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

A presente dissertação tem como objetivo avaliar o desempenho térmico e energético de uma habitação construída a partir de container na cidade do Rio de Janeiro. Além disso, o estudo será direcionado à inserção desta tipologia arquitetônica em meio urbano, que consiga gerar sua própria energia com painéis fotovoltaicos e utilizando-se de estratégias bioclimáticas para evitar o consumo de energia com condicionamento artificial. Para avaliar a eficiência termo-energética foram definidos 11 casos distintos para a envoltória do edifício, sendo 10 casos para edifícios de container e 1 caso modelado de acordo com as características arquitetônicas utilizadas no programa Minha Casa Minha vida do Governo Federal. As variações da envoltória são em relação ao revestimento, isolamento térmico e proteção das paredes. Foi utilizado o software *EnergyPlus v8.4* para realizar a simulação, e neste é possível estimar o consumo mensal e anual em KWh para cada caso. A variante dos resultados será em relação ao consumo com ar condicionado. Os parâmetros utilizados referentes à ocupação, densidade de iluminação, equipamentos, atividades, vestimenta e sistemas de condicionamento de ar seguem as recomendações do Programa Brasileiro de Etiquetagem Edifica (PBE Edifica). Através deste estudo pretende-se expor à comunidade técnica (engenheiros e arquitetos) a importância do estudo termo-energético antes de se desenvolver um projeto, visando buscar soluções inovadoras para benefício das pessoas e do meio em que vivem. Dessa forma, este trabalho apresenta as escolhas de uma equipe de projeto para a melhor eficiência do ambiente construído, levando em consideração o tipo de utilização daquele ambiente, ocupação, equipamentos instalados, entre outros. Além disso, apresenta a tecnologia da geração de energia a partir de painéis fotovoltaicos, uma tecnologia ainda distante do consumidor de baixa renda no Brasil.

Palavras-chave: eficiência energética, fontes renováveis, geração de eletricidade, edifício sustentável.

ABSTRACT

LOPES, Cícero Furtado de Mendonça. **Analysis of the Thermal-energetic Performance of a Residential Building constructed from Container in Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2016. Dissertação (Mestrado) - Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

This paper aims to evaluate the thermal and energy performance of a container building in Rio de Janeiro. In addition, the study will be directed to the insertion of this architectural typology in an urban city, that can generate its own energy with photovoltaic panels and using bioclimatic strategies to avoid power consumption with air conditioning. To evaluate the thermal energy efficiency 11 separate cases have been defined for the building envelope, with 10 cases for container buildings and 1 case modeled according to the architectural features used in the Federal Government program Minha Casa Minha Vida. Envelope variations are in relation to the coating, thermal insulation and protection of the walls. The software used to simulate was *EnergyPlus v8.4* and in this it is possible to estimate the monthly and annual consumption in KWh of each case. The variant of the results will be the consumption with air conditioning. The parameters used for the occupation, density of lighting, equipment, activities, clothing and air conditioning systems follow the recommendations of the Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE Edifica). This study intends to shown to the technical community (engineers and architects) the importance of the thermo-energetic study before developing a project, aiming to seek innovative solutions to benefit people and the environment in which they live. Therefore, this work shows the choices of a design team for the best efficiency of the built, taking into account the type of use that environment, occupation, installed equipment and others. In addition, show the technology of power generation from photovoltaic panels, a technology still far from low-income consumers in Brazil.

Keywords: energy efficiency, renewable sources, electricity generation, green building.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	17
1.2	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	17
2	CONSUMO DE ENERGIA NO SETOR RESIDENCIAL	19
3	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	26
3.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS EDIFICAÇÕES	27
3.1.1	CERTIFICAÇÃO INTERNACIONAL: LEED	27
3.1.1.1	CERTIFICAÇÃO RESIDENCIAL LEED NO BRASIL	30
3.1.2	CERTIFICAÇÃO BRASILEIRA: PBE EDIFICA	30
3.1.3	ZONAS BIOCLIMÁTICAS E CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO	33
4	SOFTWARE DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: ENERGYPLUS	36
4.1	INTRODUÇÃO AO <i>SOFTWARE</i>	36
4.2	MÉTODO DE CÁLCULO	38
4.2.1	Balanço de Energia nas Superfícies Externas	38
4.2.2	Balanço de Energia nas Superfícies Internas	40
4.2.3	Condução pelas paredes	41
5	ESTUDO DE CASO: Análise do Desempenho Termo-energético da Edificação 45	
5.1	METODOLOGIA	49
5.2	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
	ANEXO A - GERAÇÃO LOCAL DE ELETRICIDADE EM MEIOS URBANOS ...	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Consumo de energia por tipo nas residências. Fonte: BEN 2015.....	19
Figura 2- Consumo de Eletricidade por Setor no ano de 2014. Fonte: BEN 2015	20
Figura 3 - Evolução do Consumo de Eletricidade no Setor Residencial no Brasil. Fonte: BEN 2015	21
Figura 4- Evolução do consumo de eletricidade no setor residencial por região do país. Fonte: BEN 2015.....	21
Figura 5 - Classificação da certificação LEED. Fonte: USGBC (2016)	28
Figura 6 - Categorias possíveis do LEED v4. Fonte: USGBC (2016)	28
Figura 7 - Configuração PBE Edifica. Fonte: site PBE Edifica (2016)	32
Figura 8 - Zonas Bioclimáticas Brasileiras. Fonte: NBR 15220 (2003)	34
Figura 9- Logomarca do Software Energyplus	36
Figura 10 - Esquema de solução integrada. Fonte: ENERGYPLUS (2015), traduzido pelo Autor.....	37
Figura 11 - Balanço de energia na superfície externa. Fonte: ENERGYPLUS (2015), traduzido pelo autor.....	39
Figura 12 - Balanço de energia na superfície interna. Fonte: ENERGYPLUS (2015), traduzido pelo Autor.....	40
Figura 13 - Método State Space com dois nós. Fonte: ENERGYPLUS (2015)	43
Figura 14 - Edificação Multifamiliar projetada a partir de containers. Fonte: A+F Projetos (2015)	46
Figura 15 - Corte da Edificação. Fonte: A+F Projetos (2015)	46
Figura 16 - Planta baixa (simplificada) de cada módulo.	47
Figura 17 - Gráfico do Consumo de energia elétrica para o caso 1	53
Figura 18 - Gráfico do Consumo de energia elétrica para o caso 2	54
Figura 19 - Gráfico do Consumo de energia elétrica para o caso 3	55
Figura 20 - Gráfico de Consumo de energia elétrica para o caso 4.....	56
Figura 21 - Gráfico do Consumo de energia elétrica para o caso 5	57
Figura 22 - Gráfico do Consumo de energia elétrica para o caso 6	58
Figura 23 - Gráfico do Consumo de energia elétrica para o caso 7	59
Figura 24 - Gráfico do Consumo de energia elétrica para o caso 8	60
Figura 25 - Gráfico do Consumo de energia elétrica para o caso 9	61
Figura 26 - Gráfico do Consumo de energia elétrica para o caso 10	62
Figura 27 - Gráfico do Consumo de energia elétrica para o caso 11	63
Figura 28 - Gráfico do Consumo mensal de todos os casos com Ar Condicionado	65
Figura 29 - Comparação da temperatura externa e interna nos casos 7 e 11.....	67
Figura 30 - Montante de eletricidade exportada para a rede.	73
Figura 31 - Energia consumida e produzida anualmente no caso 7. Fonte: produzido pelo Autor.....	73
Figura 32 - Especificação técnica dos equipamentos do sistema fotovoltaico.....	74
Figura 33 - Fluxo de caixa cumulativo (anos). Fonte: Simulação realizada no software Retscreen (2015).....	74
Figura 34 - Dados da Viabilidade Financeira do Sistema Fotovoltaico.	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Capacidade Instalada de Geração de energia elétrica no ano de 1999.....	14
Tabela 2 - Geração elétrica por fonte no Brasil.....	15
Tabela 3 - População nos Censos Demográficos de 1960/2010.....	20
Tabela 4 - Consumo médio residencial por região (KWh/mês).....	22
Tabela 5 – IDHM Ranking Estadual 2010.....	24
Tabela 6 - Ranking da renda per capita por Estado 2010.....	25
Tabela 7 - Horário de Ocupação dos Quartos e Sala.....	50
Tabela 8 - Taxa metabólica das atividades.....	50
Tabela 9 - Horário de Utilização da Iluminação.....	51
Tabela 10 - Densidade de Potência de Iluminação para cada cômodo.....	51
Tabela 11 - Densidade de potência para equipamentos por cômodo.....	51
Tabela 12 - Tipo de vestimenta de acordo com o período do ano.....	52
Tabela 13 - Consumo de energia elétrica para o caso 1.....	53
Tabela 14 - Consumo de energia elétrica para o caso 2.....	54
Tabela 15 - Consumo de energia elétrica para o caso 3.....	55
Tabela 16 - Consumo de energia elétrica para o caso 4.....	56
Tabela 17 - Consumo de energia elétrica para o caso 5.....	57
Tabela 18 - Consumo de energia elétrica para o caso 6.....	58
Tabela 19 - Consumo de energia elétrica para o caso 7.....	59
Tabela 20 - Consumo de energia elétrica para o caso 8.....	60
Tabela 21 - Consumo de energia elétrica para o caso 9.....	61
Tabela 22 - Consumo de energia elétrica para o caso 10.....	62
Tabela 23 - Consumo de energia elétrica para o caso 11.....	63
Tabela 24 - Consumo de energia elétrica anual em todos os casos e comparação dos resultados.....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 8.....	35
Quadro 2- Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 8.....	35
Quadro 3 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 8 .	35
Quadro 4- Composição construtiva das fachadas e cobertura da edificação.....	47
Quadro 5- Propriedades físicas e térmicas dos materiais	49

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

AEEE – Anuário Estatístico de Energia Elétrica
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN – Balanço Energético Nacional
BIG – Banco de Informação e Geração
Clo – Resistência térmica da roupa (1 clo = 0,155m² °C/W)
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
GW – Gigawatt
GWh – Gigawatt-hora
GWp – Gigawatt-pico
h – Hora
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Kg – Quilograma
Km² – Quilômetro quadrado
KW – Quilowatt
KWh – Quilowatt-hora
KWp – Quilowatt-pico
m – Metro
m/s – Metro por segundo
m² – Metro quadrado
Mm – Milímetro
MW – Megawatt
MWh – Megawatt-hora
MWp – Megawatt-pico
R\$ – Reais
W – Watt
Wh – Watt-hora
°C – Graus Celsius

1 INTRODUÇÃO

A Engenharia Urbana é o ramo da engenharia que direciona os estudos para a melhoria dos centros urbanos focando na otimização e eficiência dos processos, levando em consideração os aspectos ambientais, sociais e econômicos. O que compõe uma cidade física, além de definir a forma e a característica desta região, são as construções fundamentais, como prédios, casas e pavimentação. As estruturas físicas estão distribuídas pelo território da cidade e divididas em zonas, bairros, loteamentos e quadras. Sendo assim, as cidades são formadas por sistemas integrados que tem como finalidade facilitar o acesso aos serviços e atividades em seu território.

Para prover serviços ao cidadão, as redes de infraestrutura são instalações construídas para o funcionamento da cidade, além de satisfazer necessidades básicas e o bem estar da população. Isto inclui provedores públicos e privados de sistemas, tais serviços como gás, eletricidade, abastecimento de água, esgotamento sanitário, coleta, destinação de resíduos, obras públicas (estradas, pontes, barragens, canais, portos, aeroportos, metrô e ferrovias), equipamentos comunitários (escolas, parques, recreação, hospitais, bibliotecas) e telecomunicações (telefone, Internet, televisão, satélites). Logo, o conjunto de sistemas técnicos de equipamentos e serviços necessários ao desenvolvimento das funções do cotidiano do cidadão é conhecido como a rede de infraestrutura da cidade.

A rede de serviços é composta de sistemas que refletem como a cidade física irá funcionar. A ligação das diversas partes físicas, por exemplo, se dá através dos corredores da rede viária. A disponibilidade dos recursos é preponderante para o perfeito funcionamento das edificações, então é através da infraestrutura que se torna possível assegurar a eficiência desta concessão. Portanto, são necessários investimentos nestes sistemas para integrar cada vez mais a cidade, apresentando possibilidades de utilização da demanda dos recursos necessários ao atendimento dos padrões previstos.

Portanto, o planejamento de uma área urbana deve contemplar integração das redes de serviços e fluxos, através do meio ambiente natural e o construído, com uso consciente e eficiente dos recursos para promover a qualidade de vida dos seus habitantes e preservação ambiental daquele local. Elementos naturais devem ser vistos como parte do meio urbano e como potenciais geradores de energia e qualidade de vida.

O crescimento físico, em consequência do crescimento econômico e demográfico, resulta na expansão da área urbana e adensamento das cidades que se processam nas áreas

já urbanizadas e construídas. Em decorrência da falta de planejamento surgem os problemas da cidade. Muitas vezes a solução de um determinado problema de um sistema é a causa de outro em outro sistema. Com isso, muitas edificações e aparelhos públicos são construídos às pressas, sem que haja um planejamento desde a concepção dos projetos, construção e manutenção até o fim de sua vida útil.

A necessidade de utilizar insumos como água, energia e materiais extraídos do meio ambiente para produção e consumo de bens e serviço, ocasiona a geração de resíduos e, conseqüentemente, problemas ambientais e de saúde, se não forem bem cuidados. Com isso, corpos d'água, solo e o ar são degradados, muitos materiais são direcionados para aterros sanitários quando poderiam ser reaproveitados, além das más condições de mobilidade na malha urbana e uso indiscriminado de energia. Esses são apenas alguns dos problemas encontrados nas cidades.

O desenvolvimento da sociedade e crescimento urbano está superando a capacidade da maioria das cidades e centros urbanos para fornecer serviços adequados aos seus cidadãos, um exemplo disto é o crescimento da demanda de energia elétrica.

No início do século XXI, precisamente no ano de 2001, o então presidente do Brasil Fernando Henrique Cardoso, criou através de medida provisória a Câmara de Gestão da Crise de Energia (GCE), que tinha como finalidade administrar a crise que ameaçava o fornecimento de energia elétrica (BARDELIN, 2003). A causa que levou a este cenário crítico foi o aumento da demanda de energia sem que a geração de energia ofertada acompanhasse este crescimento. Neste ano, a capacidade instalada de geração de energia elétrica era proveniente de 86,53% de energia hidráulica, conforme tabela 1, criando uma dependência deste tipo de geração (BARDELIN, 2003). Este fato mostrou a necessidade emergencial de investir em energias alternativas, incentivar a melhoria na eficiência dos equipamentos, sistemas de transmissão e distribuição, maior controle dos gastos através do uso racional e consciente de energia elétrica, o que implica em um planejamento energético eficiente.

Tabela 1- Capacidade Instalada de Geração de energia elétrica no ano de 1999

TIPO DE ENERGIA	GW	%
HIDROELÉTRICA	58.997	86,53
TERMOELÉTRICA	8.507	12,48
EÓLICA	19	0,03
NUCLEAR	657	0,96
TOTAL	68.180	100,00

Fonte: Balanço Energético Nacional – BEN 2014

Para solucionar a crise energética do início dos anos 2000, o governo realizou pesados investimentos nas usinas térmicas, então foi criado o Programa Prioritário de Termelétricidade - PPT pelo Decreto Federal 3.371 de 24 de fevereiro de 2000 (BRASIL, 2000). O objetivo deste programa era criar incentivos ao setor privado para construir usinas termoelétricas a gás natural.

Para melhorar a eficiência do sistema energético são necessários, segundo Owens (1992), planejadores que compreendam a dinâmica do sistema energético, bem como a do espaço urbano. Pode ser visto ao longo das vias das cidades brasileiras sistemas de transmissão arcaicos, o que reflete a urbanização do local. Então, o sistema de fornecimento, a distribuição e o uso estão relacionados e interferem diretamente na organização da sociedade, ainda de acordo com Owens (1992). Logo, o engajamento e participação da população tem relação direta com o sucesso do planejamento urbano e, conseqüentemente, do planejamento energético.

Os planejadores devem levar em consideração as características daquele local, não há uma forma definida para todas as cidades, cada uma apresenta a sua realidade que demanda um estudo característico a partir de uma metodologia comum. Por isso, devem-se levar em consideração os recursos naturais disponíveis, quanto à possibilidade de geração de energia e a malha urbana disposta, e também à distribuição desta energia.

Hoje já existem diversas tecnologias para a captação e geração de energia elétrica a partir das energias renováveis (BORBA e GASPAR, 2010). Entende-se como energia renovável, as energias obtidas através do sol, vento, biomassa, água, variação das marés, onda do mar e geotérmicas. Conforme a tabela 2, em 2013 no Brasil 68,6% da energia elétrica foi gerada por usinas hidrelétricas espalhadas pelo território nacional. Apesar da capacidade instalada de energia elétrica a partir de usinas hidrelétricas ter aumentado em aproximadamente 2% do ano de 2012 para 2013, houve um decréscimo de 5,9% de geração de energia a partir deste energético. A justificativa está diante do cenário hidrológico crítico

em que o Brasil se encontra. Os níveis dos principais reservatórios de água destinados ao abastecimento de água e geração de energia estão abaixo dos limites alarmantes. De acordo com o Banco de Informação e Geração (BIG) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) a potência instalada de geração a partir de usinas hidrelétricas continua crescendo, atualmente são 87.309 MW e já estão em construção empreendimentos com potência de geração de 15.269 MW. Porém os dados de geração de energia já demonstram que o problema não está exclusivamente na quantidade de usinas hidrelétricas, mas sim na disponibilidade do recurso para gerar mais energia.

Tabela 2 - Geração elétrica por fonte no Brasil

Ano	2009	2010	2011	2012	2013	Δ % (2013/2012)	% Part (2013)
Total [GWh]	466.158	515.799	531.758	552.498	570.025	3,2	100,0
Gás Natural [GWh]	13.332	36.476	25.095	46.760	69.003	47,6	12,1
Hidráulica [GWh]	390.998	403.290	428.333	415.342	390.992	-5,9	68,6
Derivados do Petróleo [GWh]	12.724	14.216	12.239	16.214	22.090	36,2	3,9
Carvão [GWh]	5.429	6.992	6.485	8.422	14.801	75,7	2,6
Nuclear [GWh]	12.957	14.523	15.659	16.038	14.640	-8,7	2,6
Biomassa [GWh]	21.851	31.209	31.633	34.662	39.679	14,5	7,0
Eólica [GWh]	1.238	2.177	2.705	5.050	6.576	30,2	1,2
Outras [GWh]	7.640	6.916	9.609	10.010	12.244	22,3	2,1

Fonte: Balanço Energético Nacional – BEN 2014

Diante do exposto, o Brasil necessita investir em fontes alternativas aos energéticos já conhecidos e difundidos. A geração a partir de fontes alternativas é vantajosa, já que quando há escassez de algum recurso natural amplamente explorado, outro recurso natural disponível pode ser utilizado, ressaltando a importância da diversificação da matriz energética de um país.

Uma alternativa que está em destaque nacional e começa a ser explorada por consumidores locais é a geração elétrica a partir de painéis fotovoltaicos *on grid*. Neste tipo de tecnologia, a possibilidade de instalação e aproveitamento do recurso (energia solar), no próprio local de consumo é o grande atrativo. Outra tecnologia que serviu como aliada a esse

processo são os medidores bidirecionais, que registram o fluxo de corrente elétrica em ambos os sentidos, possibilitando a troca de energia com a rede elétrica nos momentos de *déficit*. Isto só foi possível devido a resolução normativa 482/12 da ANEEL, que estabelece as condições gerais para o acesso da micro e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica. Dessa forma, a tecnologia de painéis solares se tornou atrativa, já que há a possibilidade de injetar a energia excedente na rede e ficar com crédito junto às concessionárias para utilizar em períodos sem sol, além de os equipamentos armazenadores de energia (banco de baterias) serem altamente poluentes e inviabilizarem o projeto economicamente pelo elevado custo para aquisição. Mas para um projeto de energia solar fotovoltaico em um empreendimento ser viável é necessária uma área de captação da incidência solar direta. Logo, deve haver uma estimativa do consumo a fim de dimensionar o sistema proposto.

Dando continuidade ao pensamento da integração de iniciativas focadas no planejamento energético adequado, em relação às edificações, padrões de desempenho pré-dispostos condicionam a busca pela redução do consumo e custo com energia nas construções. As normas técnicas existem para orientar as boas práticas de engenharia e mais do que isso, ajudam a estabelecer padrões mínimos de qualidade, regras, diretrizes ou características específicas em relação a um produto, serviço, processo ou material. Para projetos de eficiência energética em edificações residenciais existem normas internacionalmente conhecidas, como a ASHRAE Standard 90.2 – *Energy-Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings* e no Brasil existe o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) que especifica requisitos técnicos, assim como os métodos para classificação de edificações residenciais quanto à eficiência energética, sendo uma compilação de normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) aplicáveis à construção, projeto e desenvolvimento deste tipo de empreendimento.

As unidades desenvolvidas são diferenciadas na metodologia de construção com redução de recursos utilizados e resíduos gerados, materiais de revestimento sustentáveis serão aplicados condizendo com uma técnica construtiva mais eficiente. Serão utilizadas estruturas de container reaproveitadas, com as fachadas norte e oeste ventiladas a partir de um anteparo de metal instalado a 15 cm dessas fachadas, o que proporcionará um melhor desempenho térmico. Além disso, medidas como aquecimento solar de água, iluminação

eficiente e ventilação natural serão adotadas, visando reduzir o consumo de energia elétrica durante a vida útil da edificação. Como diretriz na modelagem energética, os dados de entrada em relação à ocupação, iluminação, equipamentos domésticos e ventilação natural serão retirados do RTQ-R.

No âmbito internacional já existem alguns incentivos ao desenvolvimento de edifícios sustentáveis e eficientes, podendo citar algumas dessas certificações:

- LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) – Estados Unidos da América;
- HQE (*Haute Qualité Environnementale*) – França;
- BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) – Reino Unido;
- DGNB (*Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen*) – Alemanha.

No Brasil podemos destacar a certificação reconhecida e aplicada no mercado da construção civil, o PBE Edifica (Programa Brasileiro de Etiquetagem Edifica).

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral desse trabalho é avaliar o desempenho energético de edifícios residenciais construídos a partir de container na cidade do Rio de Janeiro, aprimorando a eficiência energética nas edificações em conjunto com os conceitos de desenvolvimento sustentável.

O objetivo específico será direcionado ao estudo da inserção do edifício no meio urbano utilizando as melhores práticas da regulação urbana, além de estratégias bioclimáticas, em prol da eficiência energética.

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O primeiro capítulo apresenta o conceito de engenharia urbana e a necessidade do planejamento urbano em uma cidade, para que promova assistência aos seus cidadãos. Além disso, relaciona a crise hídrica com a crise energética no Brasil e o problema de habitações nos grandes centros urbanos brasileiros.

O crescimento do consumo de eletricidade no setor residencial é exposto no segundo capítulo, mostrando que ao longo dos anos a eletricidade passou a ser a principal fonte de energia nas residências e hoje em dia, este setor é o segundo maior consumidor de eletricidade, ficando atrás somente do industrial.

O terceiro capítulo mostra a necessidade de investir em eficiência energética e como o setor residencial trata esta questão através das certificações de construções sustentáveis, incluindo a parte energética.

O quarto capítulo apresenta o *software* que será utilizado para realizar as simulações energéticas, o EnergyPlus. Também se apresenta o método de cálculo utilizado para gerar os resultados.

O quinto capítulo apresenta os casos, a aplicação do método especificado e os resultados simulados, além de discutir e compará-los.

O sexto capítulo apresenta as considerações deste estudo.

As referências bibliográficas são apresentadas em seguida.

Por fim, o anexo A consiste na apresentação de tecnologias capazes de gerar eletricidade nos centros urbanos. Este anexo é um complemento a essa dissertação, pois além de efficientizar uma edificação, é proposta uma forma de atender à demanda energética no local.

2 CONSUMO DE ENERGIA NO SETOR RESIDENCIAL

A energia é indispensável para a sociedade desfrutar das atividades básicas da rotina e das comodidades da vida moderna. A figura 1 apresenta o consumo de energia nas habitações brasileiras nos anos de 1984, 1994, 2004 e 2014, segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2015. Percebe-se, que ao longo das décadas o consumo com eletricidade vem se acentuado, enquanto o consumo com a lenha é reduzido, conforme apresentado na figura 1.

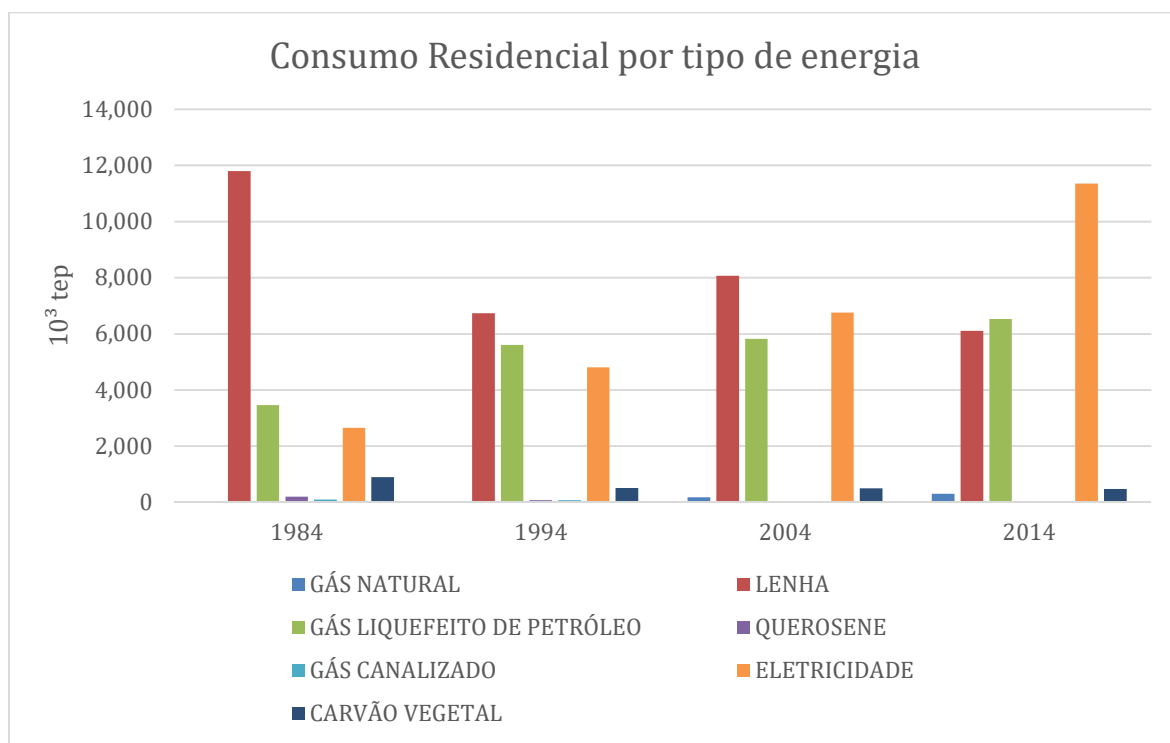


Figura 1- Consumo de energia por tipo nas residências. Fonte: BEN 2015

O aumento do consumo de eletricidade se dá basicamente pela migração em massa da população das áreas rurais para os centros urbanos, fazendo com que esses indivíduos tenham maior acesso à energia elétrica. No Brasil, esse êxodo rural ocorreu de maneira mais intensa nas décadas de 60 e 70, conforme ilustrado na tabela 3, com dados do CENSO do IBGE. Junto a isso, houve a impulsão ao consumo de eletrodomésticos que dependem da energia elétrica para seu funcionamento. Com o avanço tecnológicos, equipamentos eletrônicos ficaram mais acessíveis a toda população, além de tarefas domésticas que antes eram executadas manualmente, começaram a ser substituídas por equipamentos eletrônicos como, por exemplo, o aspirador de pó.

Tabela 3 - População nos Censos Demográficos de 1960/2010

Ano	Urbana [pessoa]	Rural [pessoa]	Total [pessoa]	Urbana [%]	Rural [%]
1960	32.004.817	38.987.526	70.992.343	45,08%	54,92%
1970	52.904.744	41.603.839	94.508.583	55,98%	44,02%
1980	82.013.375	39.137.198	121.150.573	67,70%	32,30%
1991	110.875.826	36.041.633	146.917.459	75,47%	24,53%
2000	137.755.550	31.835.143	169.590.693	81,23%	18,77%
2010	160.925.792	29.830.007	190.755.799	84,36%	15,64%

Fonte: IBGE, Censo Demográfico 1960, 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010.

A eletricidade nos últimos anos surge como a principal fonte de energia para as habitações, representando 45,8% da energia consumida no ano de 2014 no Brasil conforme BEN 2015.

Dentro da matriz energética brasileira, o setor residencial é responsável pelo consumo de aproximadamente 25% da eletricidade consumida no Brasil, como pode ser visto na figura 2, ficando atrás do setor industrial com 39%.

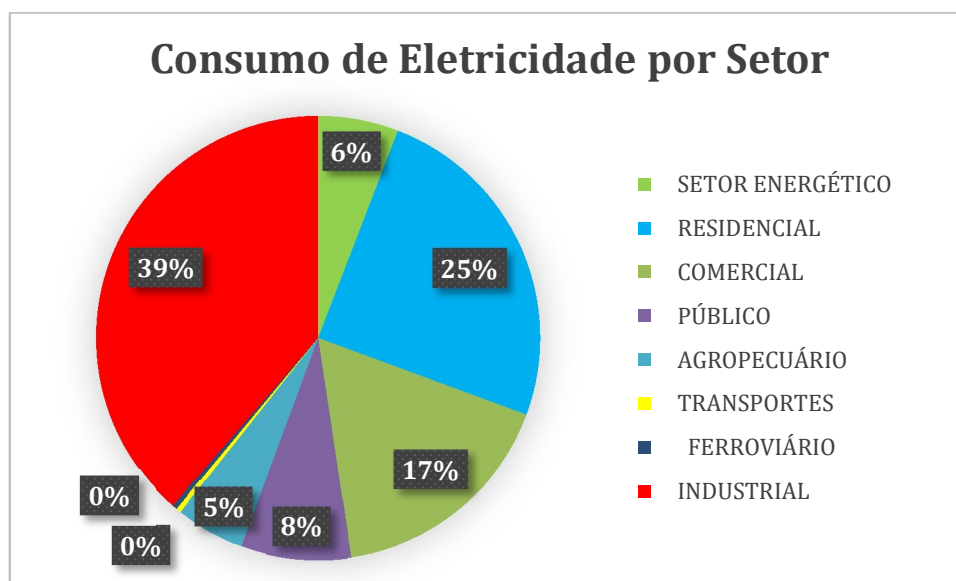


Figura 2- Consumo de Eletricidade por Setor no ano de 2014. Fonte: BEN 2015¹

O setor residencial apresenta um aumento no consumo de energia ao longo dos anos devido ao crescimento de eletrodomésticos nas residências, maior acesso à energia elétrica em áreas rurais, devido ao agronegócio e à mecanização da produção agrícola, além do

¹ O relatório consolidado do Balanço Energético Nacional – BEN documenta e divulga, anualmente, extensa pesquisa e a contabilidade relativas à oferta e consumo de energia no Brasil, contemplando as atividades de extração de recursos energéticos primários, sua conversão em formas secundárias, a importação e exportação, a distribuição e o uso final da energia.

crescimento populacional, adensado nos grandes centros urbanos. Este crescimento está explícito nas figuras 3 e 4.

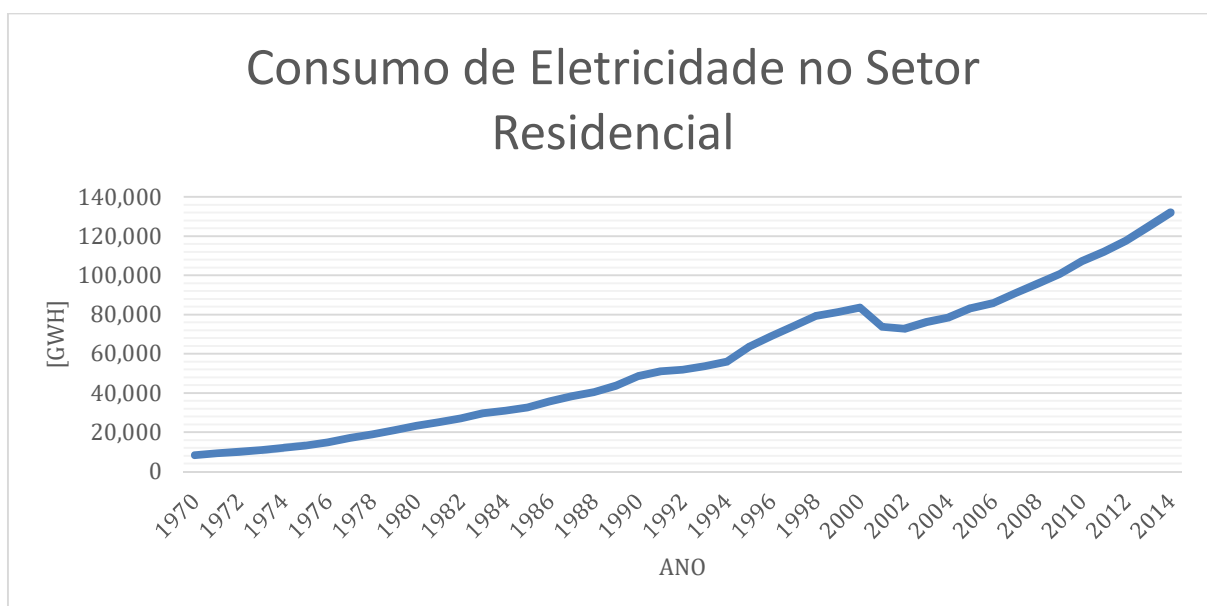


Figura 3 - Evolução do Consumo de Eletricidade no Setor Residencial no Brasil. Fonte: BEN 2015

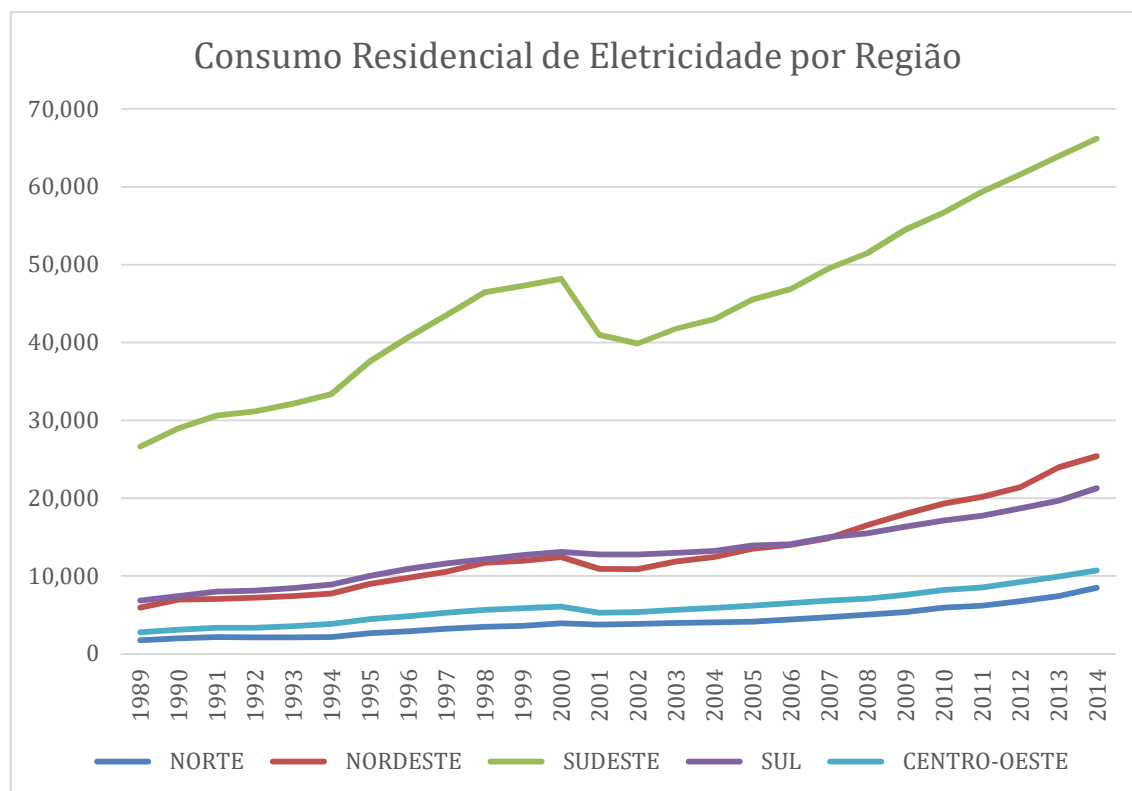


Figura 4- Evolução do consumo de eletricidade no setor residencial por região do país. Fonte: BEN 2015

No setor residencial, variáveis como o número de domicílios e o perfil de posse de equipamentos têm importante impacto na determinação do consumo de energia. Enquanto o consumo de eletricidade é significativo para o uso de eletrodomésticos e outros equipamentos de uso em residências, como chuveiros elétricos e lâmpadas, o consumo da lenha e do GLP tem uma aplicação importante no atendimento da demanda por cocção e aquecimento de água.

O consumo de energia elétrica residencial brasileiro, segundo BEN 2015, apresentou crescimento significativo de 5,73% em 2014 em relação ao ano de 2013, que era de 124.895,53 GWh. Parte desse crescimento justifica-se pelo aumento de ligações residenciais do Programa Luz Para Todos², que foi de 2,9%, enquanto o consumo médio residencial aumentou 2,6%, de 163 para 167,2 KWh/mês. Apesar da região Norte ter apresentado o menor consumo de eletricidade, como visto na figura 4, foi a que apresentou o maior crescimento no consumo médio residencial no ano de 2014, em relação a 2013, conforme apresentado na tabela 4.

Tabela 4 - Consumo médio residencial por região (KWh/mês)

	2010	2011	2012	2013	2014	$\Delta\%$ (2014/2013)
Brasil	154.0	155.8	158.9	163.0	167.2	2.6
Norte	156.5	155.2	160.5	167.1	179.4	7.4
Nordeste	105.7	106.4	108.9	117.8	121.0	2.7
Sudeste	173.0	176.6	179.8	181.1	183.1	1.1
Sul	174.0	174.8	178.5	181.6	190.3	4.8
Centro-Oeste	164.8	163.9	168.7	173.7	180.0	3.6

Fonte: BEN 2015

² Em novembro de 2003 foi lançado, por meio do Decreto 4.873 de 11/11/2003 o Programa Luz para Todos com o desafio de acabar com a exclusão elétrica no país com a meta de levar o acesso à energia elétrica, gratuitamente, para mais de 10 milhões de pessoas do meio rural até o ano de 2008.

Durante a execução do Luz para Todos, grande número de novas famílias sem energia elétrica foi identificado levando o Programa a ser prorrogado para permitir o atendimento.

Observa-se na tabela 4 que todas as regiões registraram aumento no consumo médio mensal, comparando com o ano de 2013, de acordo com o BEN 2015. É interessante notar que a região Nordeste foi responsável pela menor média mensal, de 121 kWh/mês, mesmo apresentando temperaturas maiores que as regiões sul, sudeste e centro-oeste, o que justificaria maior consumo com aparelhos condicionadores de ar. A discrepância na distribuição regional do consumo de eletricidade no Brasil, pode ser explicada pelas desigualdades socio-econômicas entre essas regiões. O índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM³), calculado utilizando a metodologia do PNUD (Programa de Nações Unidas para o Desenvolvimento), indica os menores valores para os estados das regiões Norte e Nordeste, conforme apresentado na tabela 5. O mesmo ocorre quando é analisada a renda per capita dos estados, apresentada na tabela 6. Minas Gerais que é o estado com a menor renda per capita da região Sudeste, com R\$ 749,69, é, aproximadamente 1,4 vez maior que o Rio Grande do Norte, com R\$ 545,42, que é o estado do Nordeste melhor classificado. Se a comparação for entre o estado da região Sudeste melhor colocado, São Paulo, com o da região Nordeste pior colocado, Maranhão, a renda é 3 vezes maior. Com isso, pode-se afirmar que quanto maior o poder aquisitivo de uma pessoa, mais acesso a novos equipamentos e tecnologias, ela terá e, conseqüentemente, utilizará mais energia.

³ O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) é uma medida composta de indicadores de três dimensões do desenvolvimento humano: longevidade, educação e renda. O índice varia de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1, maior o desenvolvimento humano. Esses dados são retirados do Censo demográfico que ocorre de 10 em 10 anos no Brasil, sendo o último em 2010.

Tabela 5 – IDHM Ranking Estadual 2010

Posição	Estado	Região	IDHM (2010)
1 °	Distrito Federal	Distrito Federal	0,824
2 °	São Paulo	Sudeste	0,783
3 °	Santa Catarina	Sul	0,774
4 °	Rio de Janeiro	Sudeste	0,761
5 °	Paraná	Sul	0,749
6 °	Rio Grande do Sul	Sul	0,746
7 °	Espírito Santo	Sudeste	0,74
8 °	Goiás	Centro-oeste	0,735
9 °	Minas Gerais	Sudeste	0,731
10 °	Mato Grosso do Sul	Centro-oeste	0,729
11 °	Mato Grosso	Centro-Oeste	0,725
12 °	Amapá	Norte	0,708
13 °	Roraima	Norte	0,707
14 °	Tocantins	Norte	0,699
15 °	Rondônia	Norte	0,69
16 °	Rio Grande do Norte	Nordeste	0,684
17 °	Ceará	Nordeste	0,682
18 °	Amazonas	Norte	0,674
19 °	Pernambuco	Nordeste	0,673
20 °	Sergipe	Nordeste	0,665
21 °	Acre	Norte	0,663
22 °	Bahia	Nordeste	0,66
23 °	Paraíba	Nordeste	0,658
24 °	Piauí	Nordeste	0,646
24 °	Pará	Norte	0,646
26 °	Maranhão	Nordeste	0,639
27 °	Alagoas	Nordeste	0,631

Fonte: Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil⁴ 2013

⁴ O Atlas do Desenvolvimento Humano do Brasil, criado pelo Ipea e PNUD, é um atlas destinado a administradores públicos, pesquisadores, jornalistas e às pessoas que trabalham com planejamento e análise das realidades municipais, estaduais e brasileira, com tabelas, gráficos, mapas e relatórios a partir de 125 indicadores sociais e econômicos para os 5 570 municípios brasileiros, 27 unidades da federação e 20 regiões metropolitanas.

Tabela 6 - Ranking da renda per capita por Estado 2010

Posição	Estado	Região	Renda per capita (2010)
1 °	Distrito Federal	Distrito Federal	1715,11
2 °	São Paulo	Sudeste	1084,46
3 °	Rio de Janeiro	Sudeste	1039,3
4 °	Santa Catarina	Sul	983,9
5 °	Rio Grande do Sul	Sul	959,24
6 °	Paraná	Sul	890,89
7 °	Espírito Santo	Sudeste	815,43
8 °	Goiás	Centro-oeste	810,97
9 °	Mato Grosso do Sul	Centro-oeste	799,34
10 °	Mato Grosso	Centro-oeste	762,52
11 °	Minas Gerais	Sudeste	749,69
12 °	Rondônia	Norte	670,82
13 °	Roraima	Norte	605,59
14 °	Amapá	Norte	598,98
15 °	Tocantins	Norte	586,62
16 °	Rio Grande do Norte	Nordeste	545,42
17 °	Amazonas	Norte	539,8
18 °	Pernambuco	Nordeste	525,64
19 °	Sergipe	Nordeste	523,53
20 °	Acre	Norte	522,15
21 °	Bahia	Nordeste	496,73
22 °	Paraíba	Nordeste	474,94
23 °	Ceará	Nordeste	460,63
24 °	Pará	Norte	446,76
25 °	Alagoas	Nordeste	432,56
26 °	Piauí	Nordeste	416,93
27 °	Maranhão	Nordeste	360,34

Fonte: Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013

3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A partir da crise energética do petróleo nos anos 70, quando o preço do barril de petróleo aumentou consideravelmente (PLANTIER, 2012), a eficiência no uso de energia passou a ser uma preocupação mundial, pois expunha que os custos em relação a um combustível finito seriam crescentes. Com isso, a observação de que produtos ou serviços poderiam ser obtidos com uma quantidade menor de energia, se tornou uma realidade. A conservação de energia passou a ser diretriz na hora de produzir um equipamento e os consumidores por sua vez começaram a comprar os produtos mais eficientes, ao mesmo tempo que as pessoas passavam a reeducar os hábitos de consumo que resultavam em economia de capital, energia e materiais, conseqüentemente com menor impacto social, cultural, econômico e ambiental.

Mais recentemente, a preocupação com a questão ambiental se tornou mais um motivo pela busca da eficiência energética. A primeira conferência mundial que teve visibilidade foi a Rio-92 ou Eco-92 (ONU, 1992), realizada na cidade do Rio de Janeiro, que teve suas bases fundamentadas em uma conferência realizada pela ONU em 1972, em Estocolmo (ONU, 1972). A preocupação com o aquecimento global foi intensificada na Eco-92, além da qualidade do ar. Os debates foram base, inclusive, para a criação, em 1997, do Protocolo de Kyoto (ONU, 1997), uma resolução de vários países que visa reduzir as emissões de gases intensificadores do efeito estufa. Estes gases, por sua vez, estão atribuídos, em sua grande parte, à questão da produção e consumo de energia.

Para dar mais ênfase a questão climática, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) estabeleceram o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC-sigla em inglês) em 1988. Que tem como finalidade apresentar às autoridades e a própria população mundial, uma visão científica e clara em relação à mudança climática e os impactos no meio ambiente e socioeconômicos. O IPCC é distribuído por grupos de trabalho, sendo o *Working Group III* (WGIII) direcionado para as mudanças climáticas. De acordo com o último relatório do IPCC em 2014, que foi apresentado pelo WGIII no capítulo dedicado as Edificações:

“Edifícios e atividades em edifícios são responsáveis por uma parcela significativa das emissões de GEE, mas também são a chave para estratégias de mitigação. Em 2010, o setor da construção representou cerca

de 117 Exajoules (EJ) ou 32% do consumo global de energia final e 19% das emissões de CO₂ relacionadas com a energia; E 51% do consumo global de eletricidade” (LUCON et al, 2014, traduzido pelo autor).

3.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS EDIFICAÇÕES

O setor da construção civil, por sua vez, acompanhou a diretriz sustentável e deu início à criação de certificações para as edificações que buscavam melhorar o desempenho energético, ambiental e social. Os benefícios destas certificações podem ser vistos em relação à busca de práticas mais sustentáveis, como a gestão dos resíduos da obra e consequente redução das perdas com materiais. Além das certificações serem uma forma de dizer ao usuário que aquele empreendimento segue padrões e diretrizes sustentáveis.

Dentre as certificações internacionais, será apresentada a certificação LEED pelo fato de estar presente em 143 países, sendo a mais difundida no mercado, enquanto para o Brasil será apresentada a certificação PBE Edifica.

3.1.1 CERTIFICAÇÃO INTERNACIONAL: LEED

Criado em 1998 pelo *United States Green Building Council*, o sistema de certificação LEED tem o intuito de incentivar a transformação dos projetos, obra e operação das edificações, sempre com foco na sustentabilidade de suas atuações (GBC Brasil, 2016). A certificação LEED possui 9 tipologias que variam de acordo com a função do(s) edifício(s) e uso final da construção, são elas:

- LEED NC – Novas construções;
- LEED ND – Desenvolvimento urbano de bairro;
- LEED CS – Projetos da parte central do edifício (Core) e envoltória (Shell);
- LEED *Retail* NC e CI – Lojas de varejo;
- LEED *Healthcare* – Unidades de saúde;
- LEED EB OM – Operação de manutenção de edifícios existentes;
- LEED *Schools* – Escolas e edifícios educacionais;
- LEED CI – Projetos de interiores ou edifícios comerciais;

- LEED *Homes Multifamily Midrise* – Casas e Edifícios Multifamiliares.

Para obtenção do selo LEED é necessário atender a exigências mínimas, chamadas de pré-requisitos, e créditos específicos para cada tipologia de projeto. O somatório dos pontos atingidos com os créditos resulta na classificação alcançada com a certificação que pode variar entre: LEED Certified, LEED Silver, LEED Gold e LEED Platinum, conforme figura 5.



Figura 5 - Classificação da certificação LEED. Fonte: USGBC (2016)

Os critérios avaliados são divididos em categorias, que possuem pré-requisitos e créditos. Cada tipologia possui uma determinada quantidade de categorias e na última versão, o LEED v4, as categorias possíveis ficaram divididas da seguinte maneira, conforme a figura 6.



Figura 6 - Categorias possíveis do LEED v4. Fonte: USGBC (2016)

De acordo com o GBC Brasil (2016), as categorias podem ser definidas da seguinte maneira:

- *Integrative Process* (Projeto Integrado) – Incentiva que o projeto seja desenvolvido por uma equipe multidisciplinar de profissionais, desde a concepção da ideia do projeto.
- *Location and Transportation* (Localização e Transporte) – Incentiva a escolha de terrenos localizados em áreas urbanas já bem desenvolvidas e adensadas, que oferecem variedade de comércio e transporte alternativos aos carros, como ônibus e ciclovias.
- *Sustainable Sites* (Espaço Sustentável) – Encoraja estratégias que minimizam o impacto no ecossistema durante a implantação da edificação e aborda questões fundamentais de grandes centros urbanos, como permeabilidade do solo e das ilhas de calor.
- *Water Efficiency* (Eficiência do uso da água) – Promove inovações para o uso racional da água, com foco na redução do consumo de água potável e alternativas de tratamento e reuso dos recursos.
- *Energy & Atmosphere* (Energia e Atmosfera) – Promove eficiência energética nas edificações por meio de estratégias simples e inovadoras, como por exemplo simulações energéticas, medições, comissionamento de sistemas e utilização de equipamentos e sistemas eficientes.
- *Materials & Resources* (Materiais e Recursos) – Encoraja o uso de materiais de baixo impacto ambiental (reciclados, regionais, recicláveis, de reuso, etc.) e reduz a geração de resíduos, além de promover o descarte consciente, desviando o volume de resíduos gerados dos aterros sanitários.
- *Indoor Environmental Quality* (Qualidade ambiental interna) – Promove a qualidade ambiental interna do ar, essencial para ambientes com alta permanência de pessoas, com foco na escolha de materiais com baixa emissão de compostos orgânicos voláteis, controlabilidade de sistemas, conforto térmico e priorização de espaços com vista externa e luz natural.
- *Innovation* (Inovação e Processos) – Incentiva a busca de conhecimento sobre *Green Buildings*, assim como, a criação de medidas projetuais não descritas nas

categorias do LEED. Pontos de desempenho exemplar estão habilitados para esta categoria.

- *Regional Priority* (Créditos de Prioridade Regional) – Incentiva os créditos definidos como prioridade regional para cada país, de acordo com as diferenças ambientais, sociais e econômicas existentes em cada local. Quatro pontos estão disponíveis para esta categoria.

3.1.1.1 CERTIFICAÇÃO RESIDENCIAL LEED NO BRASIL

A aplicação da certificação LEED *for Homes* no Brasil foi adaptada pelo GBC Brasil para as especificidades brasileiras e foi intitulada de Referencial GBC Brasil Casa, que tem como intuito abordar e avaliar diferentes questões de eficiência e sustentabilidade em projetos residenciais. Dentre os objetivos, conforme o GBC Brasil (2016), pode-se citar:

- Construir casas com melhor desempenho energético, consumos eficientes, maior conforto térmico, ambientes internos saudáveis, que reduzem o impacto no meio ambiente utilizando menos recursos naturais e evitando o desperdício, acabar com a ineficiência de sistemas obsoletos e melhorar o planejamento das construções de forma a reduzir a perda financeira.

As categorias avaliadas nesta certificação são:

- Implantação;
- Uso racional de água;
- Energia e atmosfera;
- Materiais e recursos;
- Qualidade Ambiental Interna;
- Requisitos Sociais;
- Inovação e projeto;
- Créditos Regionais.

3.1.2 CERTIFICAÇÃO BRASILEIRA: PBE EDIFICA

No Brasil, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) é responsável pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) que atua

principalmente na área de produtos consumidores de energia elétrica. Este é um programa de conservação de energia que informa a eficiência energética dos produtos consumidores de energia no país através da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). A ENCE atesta a conformidade e evidencia o atendimento a requisitos de desempenho estabelecidos em normas e regulamentos técnicos e, em alguns casos, adicionalmente, também de segurança. Tem como principal informação a eficiência energética do produto cujo desempenho foi avaliado.

A etiquetagem de edificações, no Brasil, se deu a partir da promulgação da lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, conhecida como Lei da Eficiência Energética que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e visa desenvolver, difundir e estimular a eficiência Energética no País. Esta Lei foi regulamentada em dezembro de 2001 pelo decreto que determinava que:

“os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, bem como as edificações construídas, serão estabelecidos com base em indicadores técnicos e regulamentação específica a ser fixada nos termos deste Decreto, sob a coordenação do Ministério de Minas e Energia” (BRASIL, 2001).

Com isso, foi instituído em dezembro de 2001 um comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética - CGIEE e para edificações, o Grupo Técnico para Melhoria da Eficiência Energética nas Edificações no País (GT-Edificações), com a finalidade de regulamentar e elaborar procedimentos para avaliação da eficiência energética das edificações construídas no Brasil, visando o uso racional da energia elétrica. Este grupo por sua vez definiu que seria feita uma inspeção do projeto e da edificação construída como mecanismo de avaliação da conformidade do nível de eficiência. Foi então em 2003 criado o PROCEL Edifica (figura 7) e em 2005 o INMETRO entra no processo ao criar a Comissão Técnica de Edificações (CT Edificações) onde é discutido e definido o processo de obtenção da ENCE.



Figura 7 - Configuração PBE Edifica. Fonte: site PBE Edifica (2016)

A partir daí, desenvolveu-se, no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), os Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) e seus documentos complementares, como os Requisitos de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações (RAC) e os Manuais para aplicação do RTQ-C e do RTQ-R (ELETROBRAS et al., 2013). A primeira versão do RTQ-C foi lançada em 2009.

Os RTQ-C e RTQ-R contêm os quesitos necessários para a classificação do nível de eficiência energética das edificações. O RAC apresenta os procedimentos para submissão para avaliação, direitos e deveres dos envolvidos, o modelo da ENCE, a lista de documentos que devem ser encaminhados, modelos de formulários para preenchimento, dentre outros. É o documento que permite à edificação obter a ENCE do Inmetro (ELETROBRAS et al., 2013).

Os sistemas avaliados, quanto à sua eficiência na edificação, diferem-se dependendo da tipologia em que se enquadram. Para edifícios comerciais, de serviço e públicos os sistemas avaliados são:

- Envoltória – Fachadas, coberturas, aberturas ou qualquer elemento que faça parte da parte externa da edificação que o separe do ambiente interno;
- Condicionamento Ambiental – Todo equipamento que compõe o sistema de ar condicionado com a finalidade de garantir o conforto térmico dos ocupantes;
- Iluminação – Lâmpadas e os circuitos que garantem o conforto lumínico aos ocupantes.

Enquanto os sistemas avaliados para edifícios residenciais são:

- Envoltória – Fachadas, coberturas, aberturas ou qualquer elemento que faça parte da parte externa da edificação que o separe do ambiente interno;
- Aquecimento de água – Equipamentos instalados que garantem o aquecimento da água.

Fora os sistemas avaliados individualmente, também são avaliadas as bonificações, que são iniciativas que aumentam a eficiência energética da edificação. Para residências, por exemplo, os equipamentos eletrônicos que apresentam ENCE A ou Selo Procel e estão de acordo com as normas brasileiras recebem uma fração da pontuação.

3.1.3 ZONAS BIOCLIMÁTICAS E CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO

Para definir o potencial de energia economizada em um edifício é preciso conhecer os fatores que afetam o desempenho térmico da edificação. Essas características estão relacionadas às zonas bioclimáticas.

O zoneamento bioclimático brasileiro, conforme a NBR 15.220, de 2003, consiste na divisão do território em 8 zonas. A divisão destas se dá em relação às características climáticas, mas não obedecem ao mapeamento político ou divisão em estados ou regiões econômicas. Esta separação por zonas foi desenvolvida para definir as estratégias e diretrizes construtivas para cada local. É possível haver, em um mesmo estado, cidades com zonas bioclimáticas distintas, como é o caso das cidades do Rio de Janeiro (zona 8) e Petrópolis (zona 3).

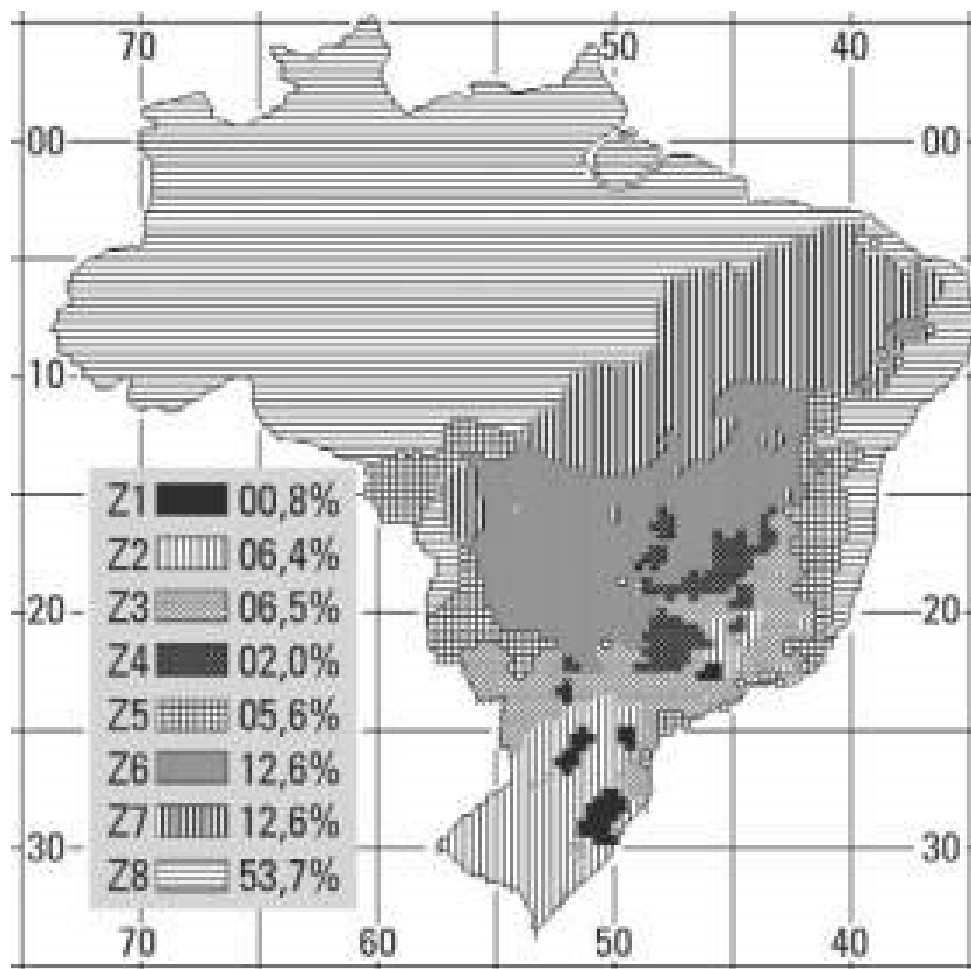


Figura 8 - Zonas Bioclimáticas Brasileiras. Fonte: NBR 15220 (2003)

As diretrizes construtivas para cada zona têm a finalidade de atender simultaneamente a eficiência energética e as condições de conforto do usuário de uma determinada edificação. A figura 8 apresenta o mapa territorial brasileiro dividido pelas zonas bioclimáticas.

De acordo com a NBR 15220:

“Para a formulação das diretrizes construtivas - para cada Zona Bioclimática Brasileira - e para o estabelecimento das estratégias de condicionamento térmico passivo, foram considerados os parâmetros e condições de contorno seguintes:

- a) tamanho das aberturas para ventilação;
- b) proteção das aberturas;
- c) vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura); e
- d) estratégias de condicionamento térmico passivo.” (ABNT, 2003).

Como o objeto de estudo desta dissertação é uma edificação residencial construída na cidade do Rio de Janeiro, representada pela zona bioclimática 8, as diretrizes construtivas estão demonstradas nos quadros 1, 2 e 3.

Quadro 1- Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 8

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Grandes	Sombrear aberturas

Fonte: NBR 15220 (2003)

Quadro 2- Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 8

Vedações externas
Parede: Leve refletora
Cobertura: Leve refletora

Fonte: NBR 15220 (2003)

Quadro 3 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 8

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	Ventilação cruzada permanente

Fonte: NBR 15220 (2003)

Todas essas estratégias foram utilizadas no projeto da edificação desenvolvida para este estudo.

4 SOFTWARE DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: ENERGYPLUS

Neste capítulo será apresentado brevemente o *software* Energyplus (figura 9) e o método de cálculo utilizado nesse programa para obter os resultados finais desejados nesse projeto.



Figura 9- Logomarca do *Software* Energyplus

4.1 INTRODUÇÃO AO SOFTWARE

O Energyplus é um *software* que permite realizar a análise energética de complexas estruturas arquitetônicas detalhando os sistemas de condicionamento de ar, sistemas luminotécnicos, sistemas elétricos e sistemas construtivos. Este software foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, a partir de dois outros: o DOE-2 (WINKELMANN et al. 1993) e o BLAST (BLAST Support Office, 1992), que foram desenvolvidos e lançados no fim dos anos 70 como ferramentas de simulação de cargas e energia.

O público que procura esta ferramenta são os engenheiros e arquitetos que necessitam dimensionar sistemas de ar condicionado, elaborar estudos para análise de custos de um empreendimento, aperfeiçoar o desempenho de energia, entre outras funções. O usuário deve descrever os aspectos físicos da construção, os sistemas mecânicos e elétricos, sendo que após a rodada de simulação o programa calcula as cargas de refrigeração necessária para manter a condição ambiente imposta, assim como o consumo de energia da edificação.

Para ter uma dimensão maior do que o programa agrega, a seguir são apresentadas as aplicações mais importantes:

- Definição feita pelo usuário do intervalo de tempo para a interação das zonas térmicas e do meio ambiente, simultaneamente ocorrendo os cálculos para dimensionamento do sistema de ar condicionado;
- Solução técnica baseada no balanço de massa, que permite calcular os efeitos da radiação e da convecção tanto nas superfícies internas e externas durante os intervalos de tempo;
- Condução de calor transiente através dos elementos de construção usando funções de transferência de calor (CTF);
- Modelos de conforto térmico baseados na atividade, temperatura de bulbo seco interna, umidade etc.

O programa realiza simulação integrada, isto é, além do cálculo de carga térmica simultaneamente estão ocorrendo os cálculos da produção de energia térmica e tratamento do ar. A figura 10 ilustra como os elementos se interligam e a simultaneidade que ocorrem em uma simulação do EnergyPlus.

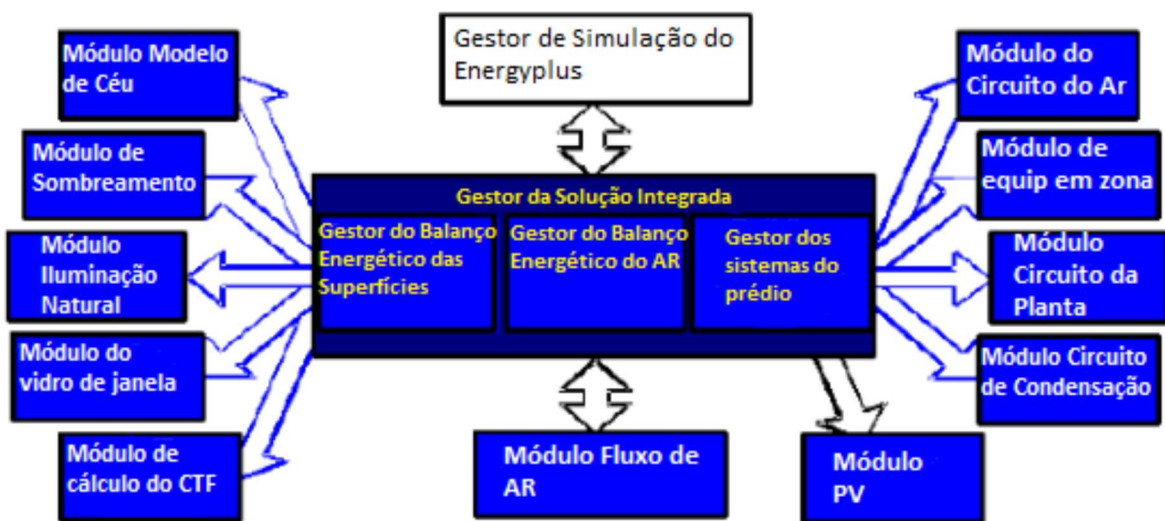


Figura 10 - Esquema de solução integrada. Fonte: ENERGYPLUS (2015), traduzido pelo Autor

Cartas (2011) explica como funciona a simulação através dos gestores (*management*). O gestor do balanço de energia das superfícies é o responsável pelo balanço de energia e massa em cada superfície considerando os efeitos de condução, convecção, radiação e transferência de massa. O gestor do balanço de energia do ar lida com todas as correntes de ar envolvidas, tais como: ventilação, ar de exaustão e infiltrações. Este módulo leva em conta

a carga térmica do ar em cada espaço e avalia os ganhos térmicos por convecção. Após o balanço de energia estar concluído para um intervalo de tempo, escolhido pelo usuário entre 15 e 60 minutos, a informação recolhida é transmitida ao gestor de simulação dos sistemas do edifício que controla a simulação do sistema de ar condicionado e sistemas elétricos.

4.2 MÉTODO DE CÁLCULO

O método de cálculo utilizado pelo programa Energyplus é o *Heat Balance Method* (HBM), que será apresentado nesta seção.

O HBM tem como base um balanço energético aplicado entre as superfícies interiores e exteriores da envolvente opaca e envidraçada e o ar interior da zona. (ASHRAE, 2009).

Este método assegura que todo fluxo de energia em cada zona é balanceado e envolve a solução de um conjunto de equações de balanço de energia para o ar no interior das zonas, superfícies internas e externas das paredes, tetos e chãos. Segundo McQuiston et al. (2005), essas equações de balanço de energia são combinadas com equações para transferência de calor por condução transiente pelas paredes e tetos, além de algoritmos ou dados climáticos com temperatura de bulbo seco do ar externo, temperatura de bulbo úmido, radiação solar e assim por diante.

4.2.1 Balanço de Energia nas Superfícies Externas

A figura 11 mostra o balanço de energia em uma superfície na parte exterior, exibindo todas as transferências de calor que existem neste componente construtivo. Os três tipos de transferência de calor estão explícitos na figura: radiação, convecção e condução. A condução de calor, pela parede, para dentro do ambiente é representada pelo somatório da radiação de onda curta emitida pela luz solar, radiação de onda longa do meio ambiente e a convecção do ar externo.

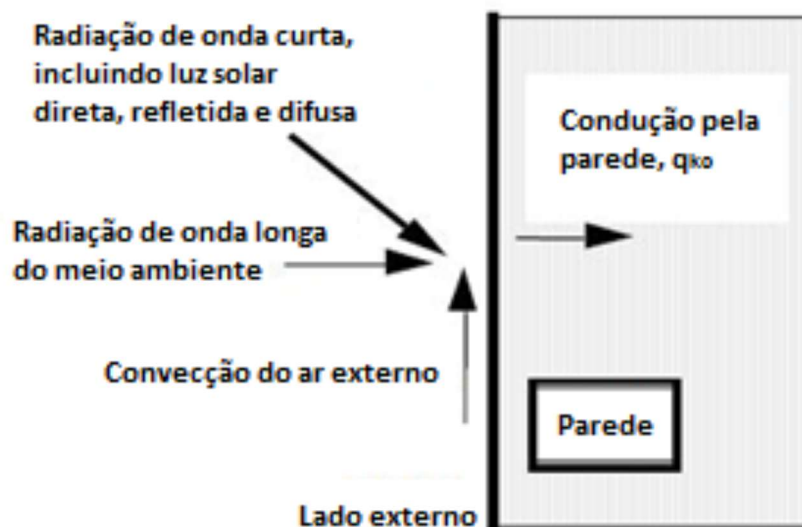


Figura 11 - Balanço de energia na superfície externa. Fonte: ENERGYPLUS (2015), traduzido pelo autor

A fórmula que representa o balanço energético na superfície externa é:

$$q''_{conduction,ext,j,\theta} = q''_{solar,ext,j,\theta} + q''_{convection,ext,j,\theta} + q''_{radiation,ext,j,\theta} \text{ [equação 1]}$$

Onde:

$q''_{conduction,ext,j,\theta}$ = fluxo de calor por condução, que é calculado usando função de transferência que será descrito no próximo item;

$q''_{solar,ext,j,\theta}$ = fluxo de calor absorvido, esta é influenciada pela localização, o ângulo e a inclinação das superfícies, sombreamento, condições do meio ambiente e as propriedades dos materiais onde há incidência solar;

$q''_{convection,ext,j,\theta}$ = fluxo de calor por convecção pelo ar externo, que é calculado utilizando a formulação clássica da multiplicação da área pelo diferencial de temperatura do ar externo com a superfície e o coeficiente de convecção, que é definido por correlações;

$q''_{radiation,ext,j,\theta}$ = fluxo de calor por radiação, que é calculado pela capacidade de absorção e da temperatura da superfície, além da temperatura do solo e do céu.

4.2.2 Balanço de Energia nas Superfícies Internas

A figura 12 mostra o balanço de energia em uma superfície na parte interior, exibindo todas as transferências de calor que existem neste componente construtivo. Os três tipos de transferência de calor estão explícitos na figura: radiação, convecção e condução. A condução de calor do ambiente externo para o interno é representada pelo somatório da radiação de onda curta emitida pela energia solar e fontes internas, radiação de onda longa com outras superfícies da zona e fontes internas, além da convecção do ar interno.

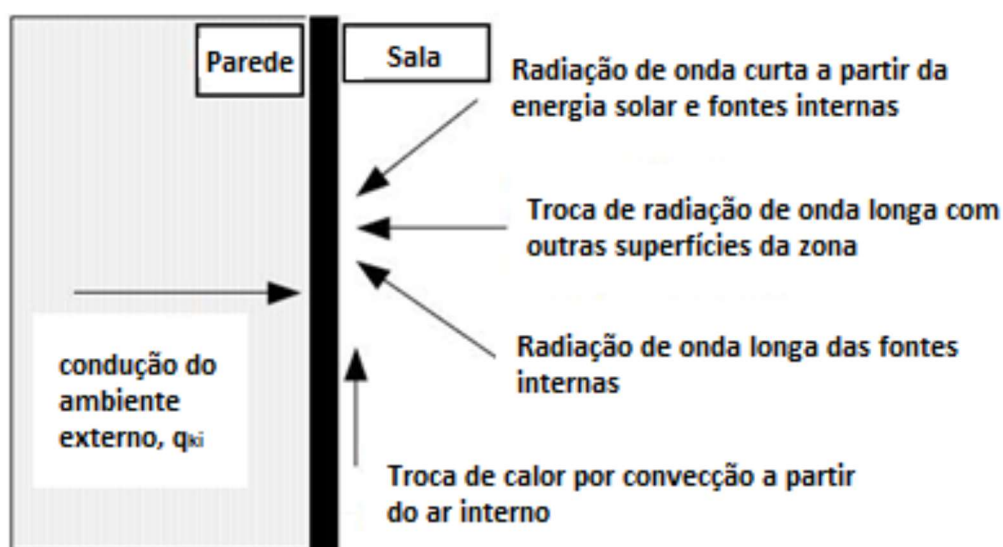


Figura 12 - Balanço de energia na superfície interna. Fonte: ENERGYPLUS (2015), traduzido pelo Autor

A fórmula que representa o balanço energético na superfície interna é:

$$q''_{LWX} + q''_{SW} + q''_{LWS} + q''_{ki} + q''_{sol} + q''_{conv} = 0 \quad [\text{equação 2}]$$

Onde:

q''_{LWX} = fluxo por radiação pela rede de ondas grandes entre as superfícies das zonas, que é calculado utilizando um coeficiente de troca, que leva em consideração todas as absorções, reflexões e reemissões de outras superfícies;

q''_{SW} = fluxo por radiação pela rede de ondas pequenas da iluminação para as superfícies, que é distribuído pelas superfícies da zona de alguma maneira prescrita;

q''_{LWS} = fluxo por radiação pela rede de ondas grandes pelos equipamentos das zonas, primeiramente é definido o percentual de calor por convecção ou radiação que o equipamento introduz naquela zona, depois é feita uma distribuição pelas superfícies das zonas de alguma maneira prescrita;

q''_{ki} = fluxo por condução pela parede, que é calculado, mais uma vez, utilizando o CTF para determinar a transferência de calor da superfície interna do elemento de construção, o que será melhor explicado na próxima seção;

q''_{sol} = fluxo de radiação solar absorvido pela superfície, também é distribuído pelas superfícies da zona de alguma maneira prescrita;

q''_{conv} = fluxo de calor por convecção do ar interno, que é calculado utilizando a formulação clássica da multiplicação da área pelo diferencial de temperatura do ar interno com a superfície e com o coeficiente de convecção, que é definido por correlação de convecção natural, misturada ou forçada.

4.2.3 Condução pelas paredes

Atuando com a finalidade de equalizar a diferença das temperaturas, o fluxo de calor ocorre a partir de uma região com temperatura mais elevada para uma mais baixa. Logo a condução na parede externa ocorre a partir do meio externo para dentro da parede e na parede interna ocorre a partir da parede para o ambiente interno.

Como já foi mencionado anteriormente, o cálculo utilizado para determinar a condução pela parede, tanto externamente como internamente, utiliza funções de transferência.

Função de transferência por condução é um método eficiente para calcular os fluxos de calor das superfícies, porque eliminam a necessidade de conhecer as temperaturas e os fluxos dentro dessas. As fórmulas para este cálculo são relativamente simples, considerando que com uma equação linear com coeficientes constantes, a transferência de calor por condução de um elemento pode ser calculada. Sendo que os coeficientes só devem ser determinados uma vez para cada tipo de construção (ENERGYPLUS, 2015).

As fórmulas básicas para cálculo de condução usando CTF são apresentadas a seguir:

$$q''_{ki}(t) = -Z_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j} + \sum_{j=1}^{nq} \phi_j q''_{ki,t-j\delta}$$

[equação 3]

$$q''_{ko}(t) = -Y_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + X_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \phi_j q''_{ko,t-j\delta}$$

[equação 4]

Onde:

X_j = coeficiente externo CTF, $j = 0, 1, \dots, nz$;

Y_j = coeficiente de transição CTF, $j = 0, 1, \dots, nz$;

Z_j = coeficiente interno CTF, $j = 0, 1, \dots, nz$;

ϕ_j = coeficiente de fluxo CTF, $j = 0, 1, \dots, nq$;

T_i = Temperatura da superfície interna;

T_o = Temperatura da superfície externa;

q''_{ko} = Fluxo de condução na superfície externa;

q''_{ki} = Fluxo de condução na superfície interna.

Como visto, pode-se calcular a transferência de calor por condução de uma superfície com uma equação relativamente simples, linear e com coeficientes constantes. Esses coeficientes precisam ser determinados apenas uma vez por construção e a formulação é válida para qualquer tipo de superfície.

O método utilizado pelo EnergyPlus para o cálculo dos CTF é conhecido como *State Space Method* (OUYANG e HAGHIGHAT, 1991). O sistema é definido pelas seguintes equações matriciais:

$$\frac{d[x]}{dt} = [A][x] + [B][u] \quad \text{[equação 5]}$$

$$[y] = [C][x] + [D][u] \quad \text{[equação 6]}$$

Onde:

x = vetor referente à variável de estado, sendo neste caso T_n que é a diferença finita de temperatura dos nós;

u = vetor referente às informações de entrada, sendo neste caso T_i e T_o que são as temperaturas interior e exterior;

y = vetor referente às informações de saída, sendo neste caso q''_i e q''_o que são os fluxos de calor interno e externo;

A, B, C e D = coeficientes matriciais, sendo neste caso responsáveis para obter os CTFs.

Esta formulação serve para resolver a equação de condução de calor transiente através da diferença finita sobre várias camadas de um elemento analisado em um edifício.

A figura 13 ilustra o esquema do método *State Space* para uma simples parede de uma camada (um componente construtivo) com dois nós e com convecção nos dois lados,

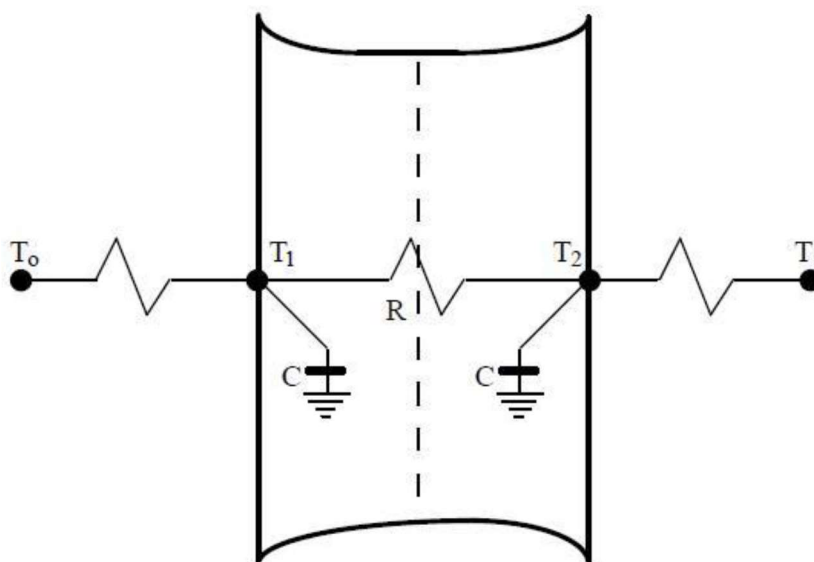


Figura 13 - Método *State Space* com dois nós. Fonte: ENERGYPLUS (2015)

O resultado da diferença finita é definido pelas equações a seguir:

$$\frac{d \begin{bmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix}}{dt} = [A] \begin{bmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix} + [B] \begin{bmatrix} T_i \\ T_o \end{bmatrix} \quad \text{[equação 7]}$$

$$\begin{bmatrix} q''_i \\ q''_o \end{bmatrix} = [C] \begin{bmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix} + [D] \begin{bmatrix} T_i \\ T_o \end{bmatrix} \quad \text{[equação 8]}$$

$$C \frac{dT_1}{dt} = hA(T_o - T_1) + \frac{T_2 - T_1}{R} \quad \text{[equação 9]}$$

$$C \frac{dT_2}{dt} = hA(T_i - T_2) + \frac{T_1 - T_2}{R} \quad \text{[equação 10]}$$

$$q''_i = h(T_i - T_2) \quad \text{[equação 11]}$$

$$q''_o = h(T_1 - T_o) \quad [\text{equação 12}]$$

Onde:

T_i = Temperatura da superfície interna;

T_o = Temperatura da superfície externa;

T_1 = Temperatura do nó 1;

T_2 = Temperatura do nó 2;

R = resistência térmica;

C = capacitância térmica;

h = coeficiente de transferência térmica;

A = área da superfície pela qual o calor está sendo transferido.

O uso da matriz mais simples permite que as temperaturas nodais (temperaturas dentro das superfícies) possam ser eliminadas para se chegar a uma equação matricial, que entrando com os dados das temperaturas internas e externas, obtém os dados de saída (fluxos de calor). Logo, CTF é um método eficiente para calcular os fluxos de calor de superfície porque eliminam a necessidade de conhecer as temperaturas e os fluxos dentro da superfície.

5 ESTUDO DE CASO: Análise do Desempenho Termo-energético da Edificação

Para realizar este estudo, formou-se um grupo de pesquisa do Programa de Engenharia Urbana (PEU) que idealizou, a partir de um problema constatado durante o curso e a vivência dos mesmos na cidade do Rio de Janeiro, uma solução integrada de acordo com a área de conhecimento de cada um dos integrantes do grupo, a saber: Cícero Lopes, engenheiro mecânico; Frederico Coutinho, engenheiro electricista; Franklin Iriarte, arquiteto e urbanista.

O problema em questão é o *déficit* de moradia na cidade do Rio de Janeiro, que muitas vezes quando as pessoas das classes econômicas mais baixas da sociedade não são assistidas por programas do governo, como Minha Casa Minha vida, são obrigadas a construir suas próprias casas, de qualquer forma, sem qualquer assistência do Estado e em lugares inapropriados.

O Brasil, nos últimos anos, tem investido grande quantidade de recursos em programas habitacionais destinados à moradia popular (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2015). Os autores deste projeto enxergam que esse programa do governo apresenta alguns erros cruciais para resolver o problema do *déficit* habitacional que atinge a população carente brasileira.

A solução que será apresentada tem como direção principal a integração e sustentabilidade dos projetos. Normalmente, durante o processo de construção dessas moradias, uma grande quantidade de recursos humanos e materiais são empregados, e o desperdício de suprimentos usados nesse processo é elevado. Na concepção destes projetos não são utilizadas ferramentas que avaliem o conforto térmico destas construções. A prática mais disseminada na população brasileira para combater as altas temperaturas é a utilização de aparelhos condicionadores de ar, que resulta em um acréscimo de consumo de energia elétrica de cada habitação, o que onera a conta de energia elétrica e a própria rede de energia. Por isso, neste estudo de caso, procurou-se avaliar as diversas possibilidades de composição do sistema construtivo das casas com a finalidade de reduzir o consumo de energia e proporcionar conforto térmico aos moradores.

Para realizar a análise foi necessário projetar uma edificação a partir das dimensões dos containers encontrados no mercado. O arquiteto Franklin Iriarte, um dos alunos do PEU e idealizadores deste projeto, projetou uma edificação multifamiliar de 4 andares, 7 módulos, sendo 2 apartamentos de 44,5 m² por módulo, com uma sala com cozinha americana, 2 quartos e 1 banheiro. Cada módulo é composto por 3 containers, com as seguintes dimensões

2,46m x 12m x 2,6m, dispostos lado a lado. As figuras 14, 15 e 16 são meramente ilustrativas, servem para demonstrar o que foi descrito até então.

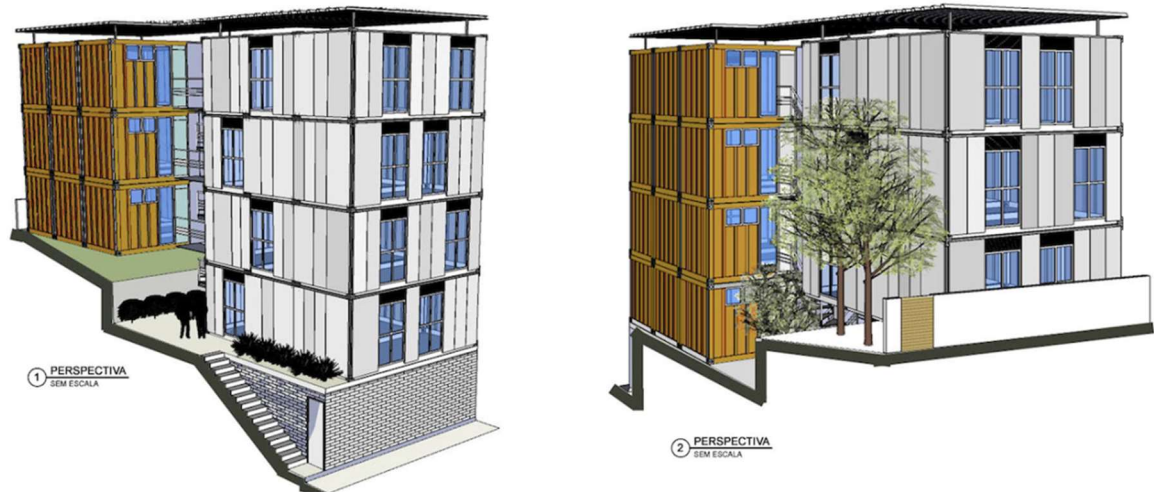


Figura 14 - Edificação Multifamiliar projetada a partir de containers. Fonte: A+F Projetos (2015)

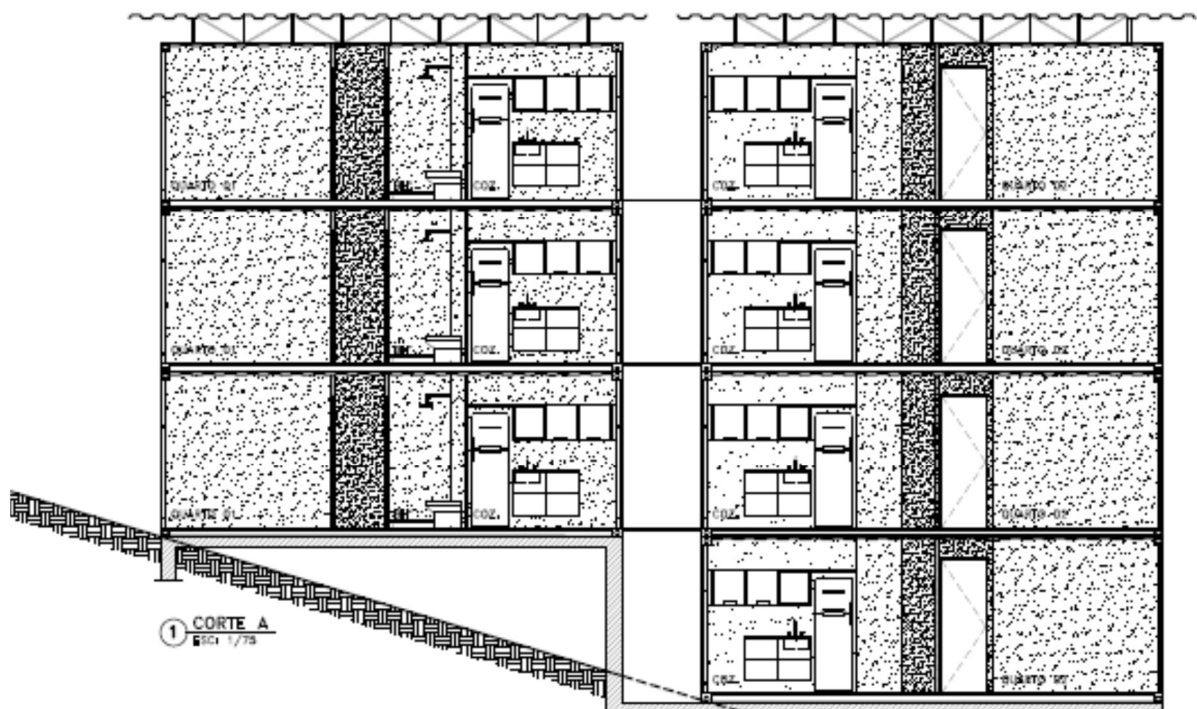


Figura 15 - Corte da Edificação. Fonte: A+F Projetos (2015)

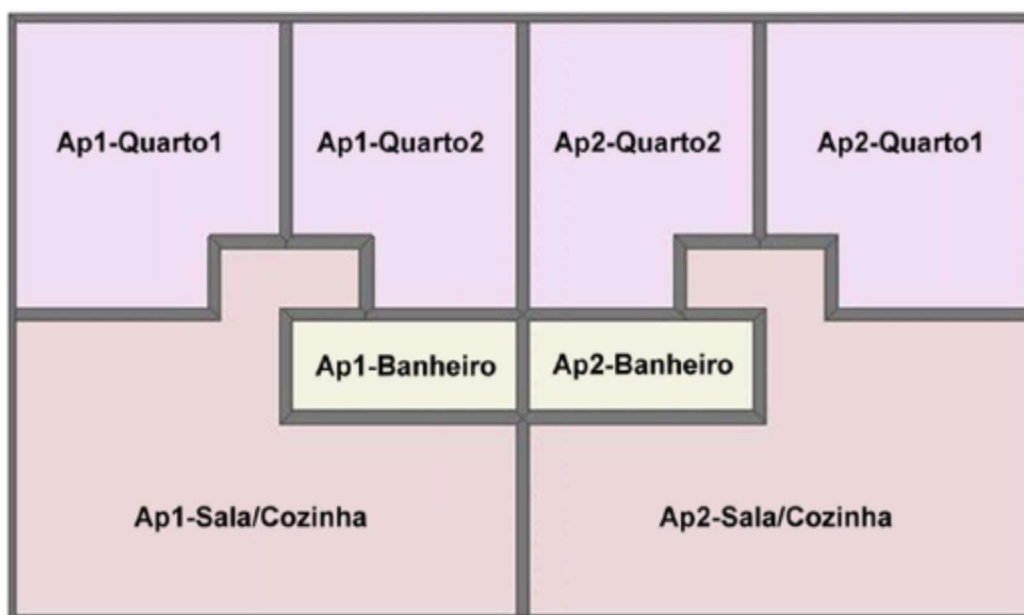


Figura 16 - Planta baixa (simplificada) de cada módulo.

Fonte: criado pelo Autor utilizando o *software* DesignBuilder (2015)

Os containers foram analisados quanto à eficiência termo-energética em 11 casos distintos. As variações são em função dos sistemas construtivos adotados nas fachadas norte, sul leste e oeste, além da cobertura. Dos 11 casos, 10 são utilizando a estrutura do container e o último é utilizando o sistema construtivo empregado na construção das moradias do programa Minha Casa Minha Vida. Todos os casos estão descritos no quadro 4, além das especificações das propriedades físicas e térmicas dos materiais empregados, que estão expostos no quadro 5.

Quadro 4- Composição construtiva das fachadas e cobertura da edificação

Casos	Composição Construtiva				
	Cobertura	Fachada Norte	Fachada Sul	Fachada Leste	Fachada Oeste
Caso 1	Aço 2mm (Pintado de Branco) + Lã de Vidro + Gesso	Aço 4mm	Aço 4mm	Aço 4mm	Aço 4mm
Caso 2	Aço 2mm (Pintado de Branco) + Lã de Vidro + Gesso	Placa Cimentícia + Aço 4mm + Lã de Vidro + Drywall 10mm	Aço 4mm	Aço 4mm	Placa Cimentícia + Aço 4mm + Lã de Vidro + Drywall 10mm

Caso 3	Aço 2mm (Pintado de Branco) + Lã de Vidro + Gesso	Placa Cimentícia + Aço 4mm + Lã de Vidro + Drywall 10mm	Placa Cimentícia + Aço 4mm + Lã de Vidro + Drywall 10mm	Placa Cimentícia + Aço 4mm + Lã de Vidro + Drywall 10mm	Placa Cimentícia + Aço 4mm + Lã de Vidro + Drywall 10mm
Caso 4	Aço 2mm (Pintado de Branco) + Lã de Vidro + Gesso	Aço 4mm + Fachada Ventilada	Aço 4mm	Aço 4mm	Aço 4mm + Fachada Ventilada
Caso 5	Aço 2mm (Pintado de Branco) + Lã de Vidro + Gesso	Placa Cimentícia + Aço 4mm + Lã de Vidro + Drywall 10mm + Fachada Ventilada	Aço 4mm	Aço 4mm	Placa Cimentícia + Aço 4mm + Lã de Vidro + Drywall 10mm + Fachada Ventilada
Caso 6	Aço 2mm (Pintado de Branco) + Lã de Vidro + Gesso	Placa Cimentícia + Aço 4mm + Lã de Vidro + Drywall 10mm + Fachada Ventilada	Placa Cimentícia + Aço 4mm + Lã de Vidro + Drywall 10mm	Placa Cimentícia + Aço 4mm + Lã de Vidro + Drywall 10mm	Placa Cimentícia + Aço 4mm + Lã de Vidro + Drywall 10mm + Fachada Ventilada
Caso 7	Aço 2mm (Pintado de Branco) + Lã de Vidro + Gesso	Aço 4mm (Pintado de Branco) + Fachada Ventilada	Aço 4mm (Pintado de Branco)	Aço 4mm (Pintado de Branco)	Aço 4mm (Pintado de Branco) + Fachada Ventilada
Caso 8	Aço 2mm (Pintado de Branco) + Lã de Vidro + Gesso	Aço 4mm + Placa Cimentícia	Aço 4mm + Placa Cimentícia	Aço 4mm + Placa Cimentícia	Aço 4mm + Placa Cimentícia
Caso 9	Aço 2mm (Pintado de Branco) + Lã de Vidro + Gesso	Aço 4mm + Placa Cimentícia + Fachada Ventilada	Aço 4mm + Placa Cimentícia	Aço 4mm + Placa Cimentícia	Aço 4mm + Placa Cimentícia + Fachada Ventilada
Caso 10	Aço 2mm (Pintado de Branco) + Lã de Vidro + Gesso	Aço 4mm (pintado de branco) + Lã de Vidro + Placa Cimentícia + Fachada Ventilada	Aço 4mm	Aço 4mm	Aço 4mm(pintado de branco) + Lã de Vidro + Placa Cimentícia + Fachada Ventilada
Minha Casa Minha Vida	Fibrocimento + Ar + Forro	Argamassa + Tijolo + Argamassa	Argamassa + Tijolo + Argamassa	Argamassa + Tijolo + Argamassa	Argamassa + Tijolo + Argamassa

Quadro 5- Propriedades físicas e térmicas dos materiais

Propriedades	Nome	Espessura [m]	Condutividade [W/m-K]	Densidade [kg/m ³]	Calor Específico [J/kg-K]	Absortância Térmica	Absortância Solar
Materiais	Aço 2mm	0.002	55	7800	460	0.9	0.3
	Piso Laminado	0.008	0.14	650	1200	0.9	0.78
	Aço 4mm	0.004	55	7800	460	0.9	0.3
	Drywall 25mm	0.025	0.25	900	1000	0.9	0.5
	Drywall 10mm	0.01	0.25	900	1000	0.9	0.5
	Aço 2mm (Pintado de Branco)	0.002	55	7800	460	0.9	0.2
	Espuma de Poliuretano	0.03	0.03	30	1670	0.9	0.6
	Aço 4mm (Pintado de Branco)	0.004	55	7800	460	0.9	0.2
	Placa Cimentícia	0.006	0.12	400	1470	0.9	0.6
	Lã de Vidro	0.05	0.045	12	700	0.9	0.6
	Gesso	0.0125	0.35	900	840	0.9	0.5
	Tijolo 6 Furos	0.1	0.9	1600	920	0.9	0.7
	Argamassa	0.025	1.15	2000	1000	0.9	0.4
	Fibrocimento	0.008	0.65	1700	840	0.9	0.7
	Pinus	0.01	0.15	500	1340	0.9	0.7
Concreto	0.15	1.75	2400	1000	0.9	0.7	

5.1 METODOLOGIA

Para avaliar a eficiência termo-energética dos 11 casos já definidos, foi utilizado o programa EnergyPlus v8.4. Através da simulação energética é possível estimar o consumo mensal e anual em KWh de cada caso. Dados referentes à ocupação, densidade de iluminação, equipamentos, atividades, vestimenta e sistemas de condicionamento de ar foram inseridos no programa e seguem as recomendações do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), desenvolvido pelo INMETRO para certificação de edificações residenciais, de acordo com o Programa Brasileiro de Etiquetagem Edifica (PBE Edifica). A variação de um caso para outro se dá somente na alteração do sistema construtivo.

Para os ambientes de dormitório são consideradas, no máximo, duas pessoas (100% de ocupação), enquanto na sala são consideradas, no máximo, 4 pessoas (100% de ocupação). Os dados de entrada do programa estão discriminados nas tabelas 7, 8, 9, 10, 11, e 12.

Tabela 7 - Horário de Ocupação dos Quartos e Sala

Hora	Dormitórios		Sala	
	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)
1	100	100	0	0
2	100	100	0	0
3	100	100	0	0
4	100	100	0	0
5	100	100	0	0
6	100	100	0	0
7	100	100	0	0
8	0	100	0	0
9	0	100	0	0
10	0	50	0	0
11	0	0	0	25
12	0	0	0	75
13	0	0	0	0
14	0	0	25	75
15	0	0	25	50
16	0	0	25	50
17	0	0	25	50
18	0	0	25	25
19	0	0	100	25
20	0	0	50	50
21	50	50	50	50
22	100	100	0	0
23	100	100	0	0
24	100	100	0	0

Fonte: RTQ-R (2014)

Tabela 8 - Taxa metabólica das atividades

Ambiente	Atividade realizada	Calor Produzido (W/m ²)
Sala	Sentado ou assistindo TV	60
Dormitórios	Dormindo ou descansando	45

Fonte: RTQ-R (2014)

Tabela 9 - Horário de Utilização da Iluminação

Hora	Dormitórios		Sala	
	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	100	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	100	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	100
12	0	0	0	100
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	0	0	100	100
18	0	0	100	100
19	0	0	100	100
20	0	0	100	100
21	100	100	100	100
22	100	100	0	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0

Fonte: RTQ-R (2014)

Tabela 10 - Densidade de Potência de Iluminação para cada cômodo

Ambiente	DPI (W/m ²)
Dormitórios	5
Sala	6

Fonte: RTQ-R (2014)

Tabela 11 - Densidade de potência para equipamentos por cômodo

Ambiente	Densidade de potência de Equipamentos (W/m ²)
Dormitórios	10
Sala	5

Fonte: RTQ-R (2014)

Tabela 12 - Tipo de vestimenta de acordo com o período do ano

Período do Ano	Vestimenta	Clo
Verão	Calça + Camisa	0.4
Outono	Calça + Camisa + Casaco	0.8
Inverno	Calça + Camisa + Casaco	0.8
Primavera	Calça + Camisa	0.4

Fonte: RTQ-R (2014)

Para o sistema de ar condicionado foram considerados os seguintes parâmetros, descritos no RTQ-R:

- Os consumos com o ar condicionado são calculados no período das 21 h às 8 h, sendo que no período restante deve-se considerar a edificação naturalmente ventilada. A temperatura do termostato de refrigeração é de 24°C;
- Sistema de condicionamento de ar instalado nos quartos;
- Condicionamento artificial no período de 21 h às 8 h;
- Edificação ventilada naturalmente das 8:01 h às 20:59 h;
- Taxa de ar externo de 0,00944 m³/s/pessoa;
- Eficiência do ventilador de 0,7, enquanto 0,9 para o motor do ventilador;
- Razão entre o calor retirado do ambiente e a energia consumida pelo compressor do aparelho de ar condicionado (COP) de 3,0 (W/W).

5.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do consumo de energia elétrica serão apresentados mensalmente, com o somatório anual, caso a caso e contemplará todo o edifício, logo, o consumo será referente a 14 apartamentos (edificação completa). A iluminação interna e os equipamentos não tem qualquer variação no valor consumido, pois estes não dependem de fatores climáticos, dependem apenas de estar ou não ligados e, como já fora mencionado anteriormente, todos os casos foram simulados com a mesma rotina de uso e ocupação.

- Resultados do Caso 1:

No caso 1 foi considerado container sem qualquer tipo de revestimento em suas fachadas, ou seja, utilizado em sua forma bruta de construção, com as paredes de aço expostas à radiação solar incidente. Nesse caso, tem-se o gasto mensal e anual de acordo com a tabela 13 e figura 17.

Tabela 13 - Consumo de energia elétrica para o caso 1.

Mês	Iluminação [KWh]	Equipamentos [KWh]	Ar condicionado [KWh]	Total [KWh]
Janeiro	454.76	435.74	1259.50	2150.00
Fevereiro	410.30	392.94	1267.21	2070.45
Março	451.30	430.84	1086.71	1968.85
Abril	444.56	428.00	754.67	1627.23
Maiο	451.30	430.84	432.85	1314.99
Junho	437.63	418.21	231.19	1087.03
Julho	458.22	440.63	367.10	1265.95
Agosto	451.30	430.84	356.75	1238.89
Setembro	441.10	423.10	395.98	1260.18
Outubro	454.76	435.74	538.39	1428.89
Novembro	437.63	418.21	658.40	1514.24
Dezembro	458.22	440.63	996.20	1895.05
TOTAL ANUAL [KWh]				18821.75

Fonte: Simulação usando o software EnergyPlus(2016).

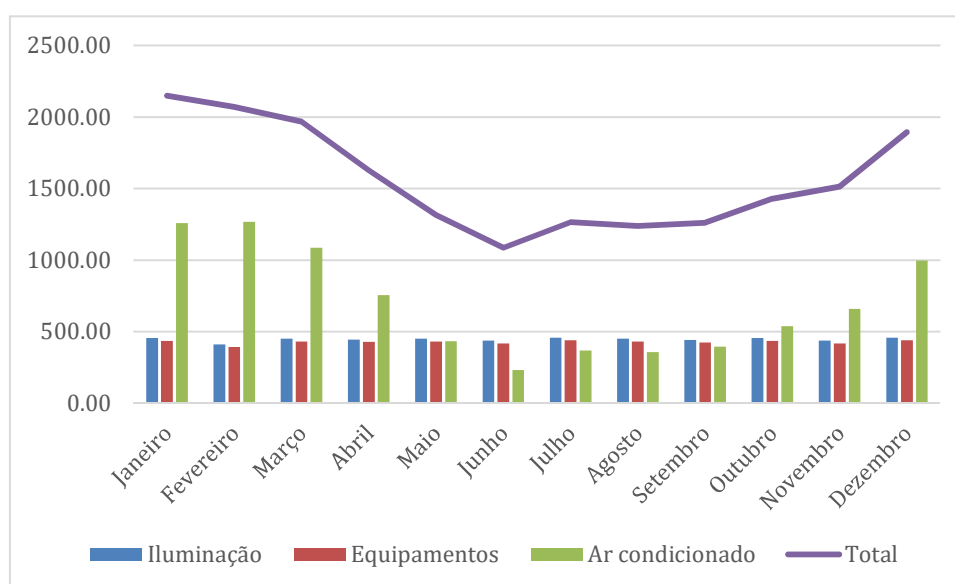


Figura 17 - Gráfico do Consumo de energia elétrica para o caso 1

- Resultados do Caso 2:

No caso 2 foi considerado container revestido parcialmente com material isolante térmico nas fachadas norte e oeste. Nesse caso, tem-se o gasto mensal e anual de acordo com a tabela 14 e figura 18.

Tabela 14 - Consumo de energia elétrica para o caso 2.

Mês	Iluminação [KWh]	Equipamentos [KWh]	Ar condicionado [KWh]	Total [KWh]
Janeiro	454.76	435.74	1533.66	2424.16
Fevereiro	410.30	392.94	1495.42	2298.66
Março	451.30	430.84	1354.59	2236.73
Abril	444.56	428.00	1019.10	1891.66
Maió	451.30	430.84	606.59	1488.73
Junho	437.63	418.21	324.85	1180.69
Julho	458.22	440.63	415.32	1314.17
Agosto	451.30	430.84	541.62	1423.76
Setembro	441.10	423.10	526.54	1390.74
Outubro	454.76	435.74	775.13	1665.63
Novembro	437.63	418.21	947.08	1802.92
Dezembro	458.22	440.63	1277.37	2176.22
TOTAL ANUAL [KWh]				21294.07

Fonte: Simulação usando o software Energyplus (2016).

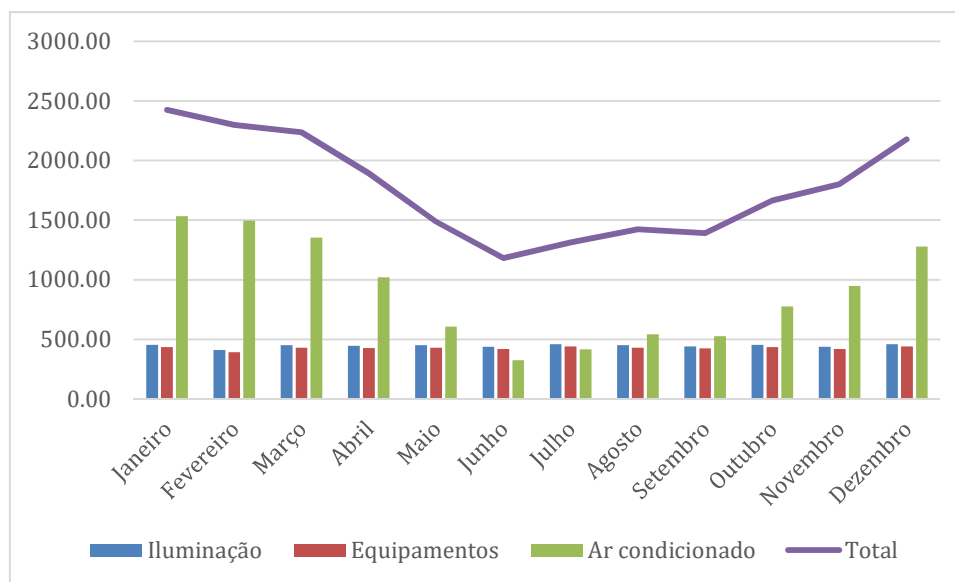


Figura 18 - Gráfico do Consumo de energia elétrica para o caso 2

- Resultados do Caso 3:

No caso 3 foi considerado container revestido com material isolante térmico em todas as fachadas. Nesse caso, tem-se o gasto mensal e anual de acordo com a tabela 15 e figura 19.

Tabela 15 - Consumo de energia elétrica para o caso 3.

Mês	Iluminação [KWh]	Equipamentos [KWh]	Ar condicionado [KWh]	Total [KWh]
Janeiro	454.76	435.74	1883.61	2774.11
Fevereiro	410.30	392.94	1789.85	2593.09
Março	451.30	430.84	1716.03	2598.17
Abril	444.56	428.00	1388.36	2260.92
Maiο	451.30	430.84	920.26	1802.40
Junho	437.63	418.21	582.66	1438.50
Julho	458.22	440.63	564.80	1463.65
Agosto	451.30	430.84	865.29	1747.43
Setembro	441.10	423.10	770.11	1634.31
Outubro	454.76	435.74	1129.18	2019.68
Novembro	437.63	418.21	1319.29	2175.13
Dezembro	458.22	440.63	1650.90	2549.75
TOTAL ANUAL [KWh]				25057.14

Fonte: Simulação usando o software Energyplus.

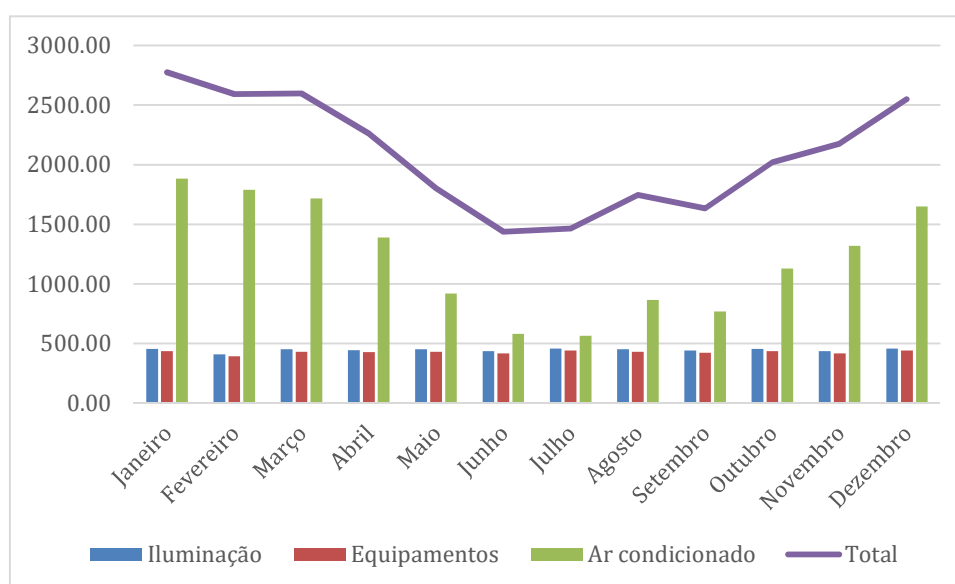


Figura 19 - Gráfico do Consumo de energia elétrica para o caso 3

- Resultados do Caso 4:

No caso 4 foi considerado container em sua forma bruta, porém com as fachadas norte e oeste ventiladas, ou seja, com um anteparo (superfície de metal) afastado 15 cm das fachadas. Nesse caso, tem-se o gasto mensal e anual de acordo com a tabela 16 e figura 20.

Tabela 16 - Consumo de energia elétrica para o caso 4.

Mês	Iluminação [KWh]	Equipamentos [KWh]	Ar condicionado [KWh]	Total [KWh]
Janeiro	454.76	435.74	1240.49	2130.99
Fevereiro	410.30	392.94	1262.03	2065.27
Março	451.30	430.84	1057.10	1939.24
Abril	444.56	428.00	755.12	1627.68
Maiο	451.30	430.84	415.65	1297.79
Junho	437.63	418.21	196.97	1052.81
Julho	458.22	440.63	352.67	1251.52
Agosto	451.30	430.84	324.79	1206.93
Setembro	441.10	423.10	370.92	1235.12
Outubro	454.76	435.74	513.29	1403.79
Novembro	437.63	418.21	634.07	1489.91
Dezembro	458.22	440.63	960.83	1859.68
TOTAL ANUAL [KWh]				18560.73

Fonte: Simulação usando o software Energyplus.

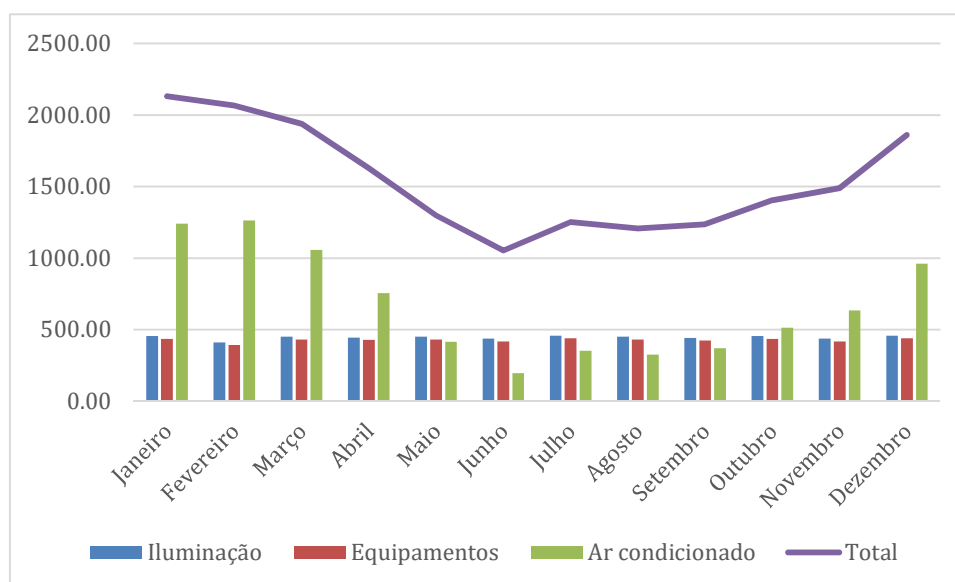


Figura 20 - Gráfico de Consumo de energia elétrica para o caso 4

- Resultados do Caso 5:

No caso 5 foi considerado container revestido parcialmente com material isolante térmico nas fachadas norte e oeste, além destas também serem ventiladas. Nesse caso, tem-se o gasto mensal e anual de acordo com a tabela 17 e figura 21.

Tabela 17 - Consumo de energia elétrica para o caso 5.

Mês	Iluminação [KWh]	Equipamentos [KWh]	Ar condicionado [KWh]	Total [KWh]
Janeiro	454.76	435.74	1363.40	2253.90
Fevereiro	410.30	392.94	1325.84	2129.08
Março	451.30	430.84	1177.62	2059.76
Abril	444.56	428.00	864.06	1736.62
Maiο	451.30	430.84	476.97	1359.11
Junho	437.63	418.21	225.60	1081.44
Julho	458.22	440.63	342.41	1241.26
Agosto	451.30	430.84	414.46	1296.60
Setembro	441.10	423.10	414.84	1279.04
Outubro	454.76	435.74	641.84	1532.34
Novembro	437.63	418.21	790.93	1646.77
Dezembro	458.22	440.63	1118.64	2017.49
TOTAL ANUAL [KWh]				19633.41

Fonte: Simulação usando o software Energyplus.

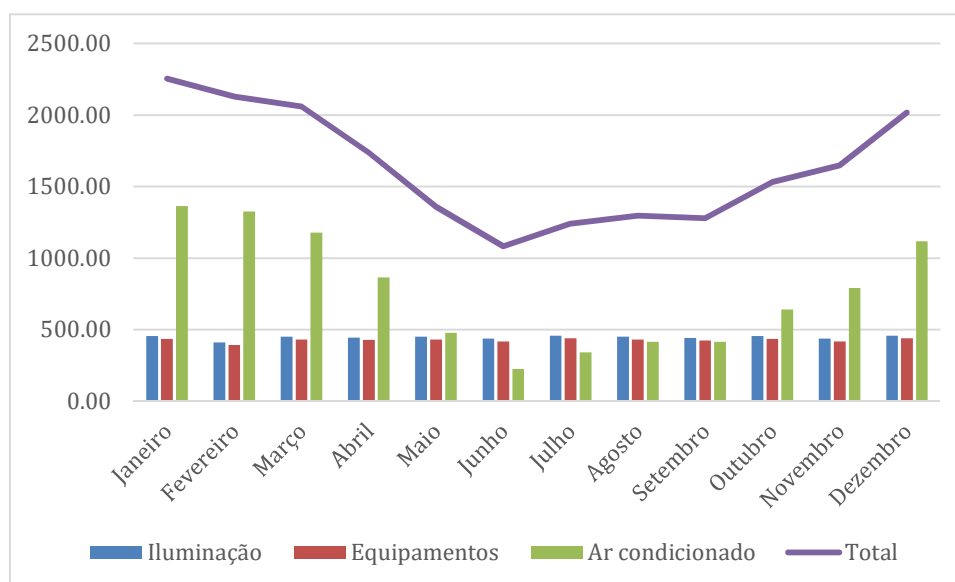


Figura 21 - Gráfico do Consumo de energia elétrica para o caso 5

- Resultados do Caso 6:

No caso 6 foi considerado container revestido com material isolante térmico em todas as fachadas, além das fachadas norte e oeste serem ventiladas. Nesse caso, tem-se o gasto mensal e anual de acordo com a tabela 18 e figura 22.

Tabela 18 - Consumo de energia elétrica para o caso 6.

Mês	Iluminação [KWh]	Equipamentos [KWh]	Ar condicionado [KWh]	Total [KWh]
Janeiro	454.76	435.74	1657.43	2547.93
Fevereiro	410.30	392.94	1561.80	2365.04
Março	451.30	430.84	1466.57	2348.71
Abril	444.56	428.00	1154.78	2027.34
Mai	451.30	430.84	693.97	1576.11
Junho	437.63	418.21	383.64	1239.48
Julho	458.22	440.63	389.25	1288.10
Agosto	451.30	430.84	650.94	1533.08
Setembro	441.10	423.10	577.40	1441.60
Outubro	454.76	435.74	930.23	1820.73
Novembro	437.63	418.21	1106.41	1962.25
Dezembro	458.22	440.63	1434.63	2333.48
TOTAL ANUAL [KWh]				22483.85

Fonte: Simulação usando o software Energyplus.

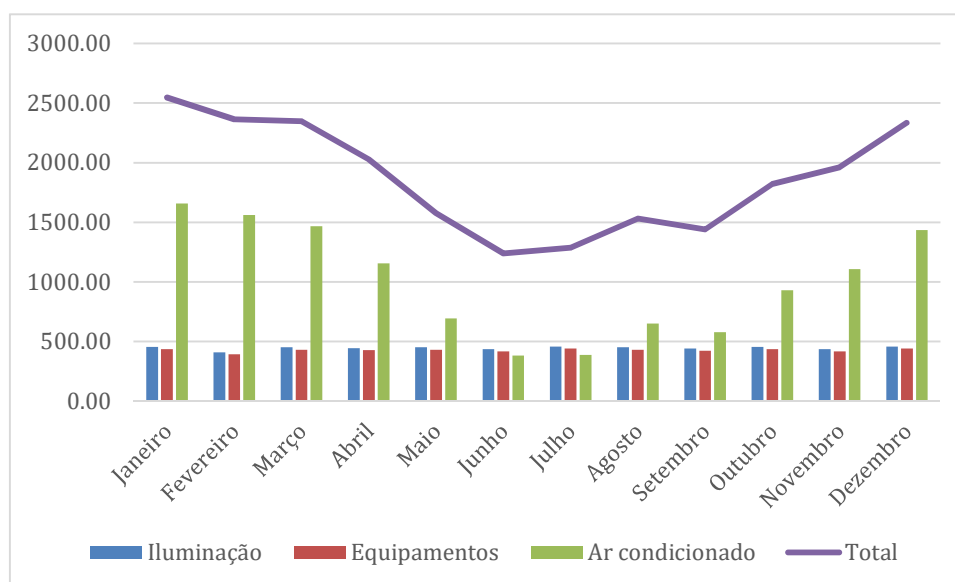


Figura 22 - Gráfico do Consumo de energia elétrica para o caso 6

- Resultados do Caso 7:

No caso 7 foi considerado container em sua forma bruta, pintado inteiro de branco, porém com as fachadas norte e oeste ventiladas. Nesse caso, tem-se o gasto mensal e anual de acordo com a tabela 19 e figura 23.

Tabela 19 - Consumo de energia elétrica para o caso 7.

Mês	Iluminação [KWh]	Equipamentos [KWh]	Ar condicionado [KWh]	Total [KWh]
Janeiro	454.76	435.74	1203.23	2093.73
Fevereiro	410.30	392.94	1231.96	2035.20
Março	451.30	430.84	1035.56	1917.70
Abril	444.56	428.00	736.26	1608.82
Maió	451.30	430.84	402.87	1285.01
Junho	437.63	418.21	188.02	1043.86
Julho	458.22	440.63	337.97	1236.82
Agosto	451.30	430.84	311.76	1193.90
Setembro	441.10	423.10	354.16	1218.36
Outubro	454.76	435.74	488.99	1379.49
Novembro	437.63	418.21	601.22	1457.06
Dezembro	458.22	440.63	924.42	1823.27
TOTAL ANUAL [KWh]				18293.22

Fonte: Simulação usando o software Energyplus.

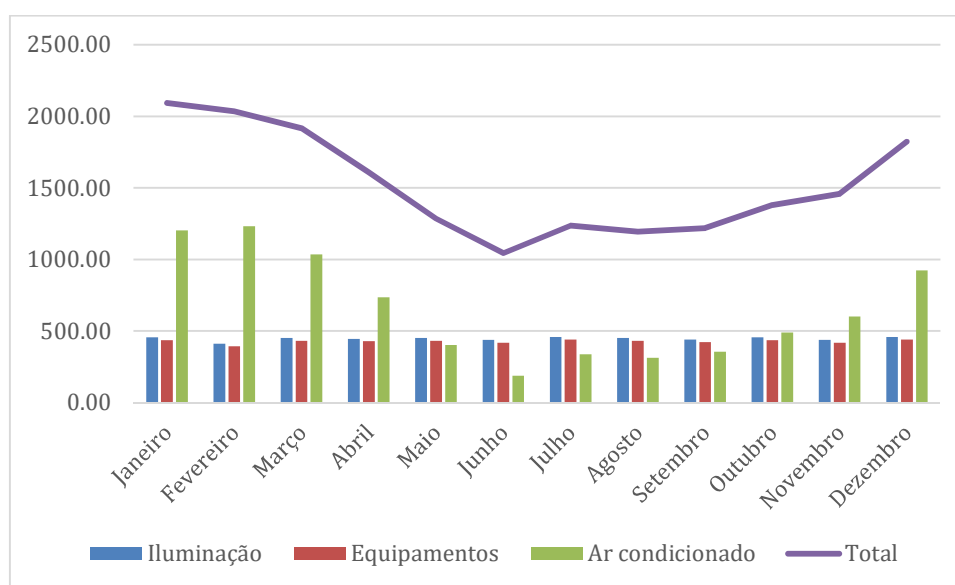


Figura 23 - Gráfico do Consumo de energia elétrica para o caso 7

- Resultados do Caso 8:

No caso 8 foi considerado container todo revestido com placa cimentícia. Nesse caso, tem-se o gasto mensal e anual de acordo com a tabela 20 e figura 24.

Tabela 20 - Consumo de energia elétrica para o caso 8.

Mês	Iluminação [KWh]	Equipamentos [KWh]	Ar condicionado [KWh]	Total [KWh]
Janeiro	454.76	435.74	1325.01	2215.51
Fevereiro	410.30	392.94	1318.35	2121.59
Março	451.30	430.84	1157.10	2039.24
Abril	444.56	428.00	820.13	1692.69
Maió	451.30	430.84	455.76	1337.90
Junho	437.63	418.21	223.64	1079.48
Julho	458.22	440.63	348.68	1247.53
Agosto	451.30	430.84	379.85	1261.99
Setembro	441.10	423.10	407.23	1271.43
Outubro	454.76	435.74	585.36	1475.86
Novembro	437.63	418.21	721.94	1577.78
Dezembro	458.22	440.63	1064.21	1963.06
TOTAL ANUAL [KWh]				19284.06

Fonte: Simulação usando o software Energyplus.

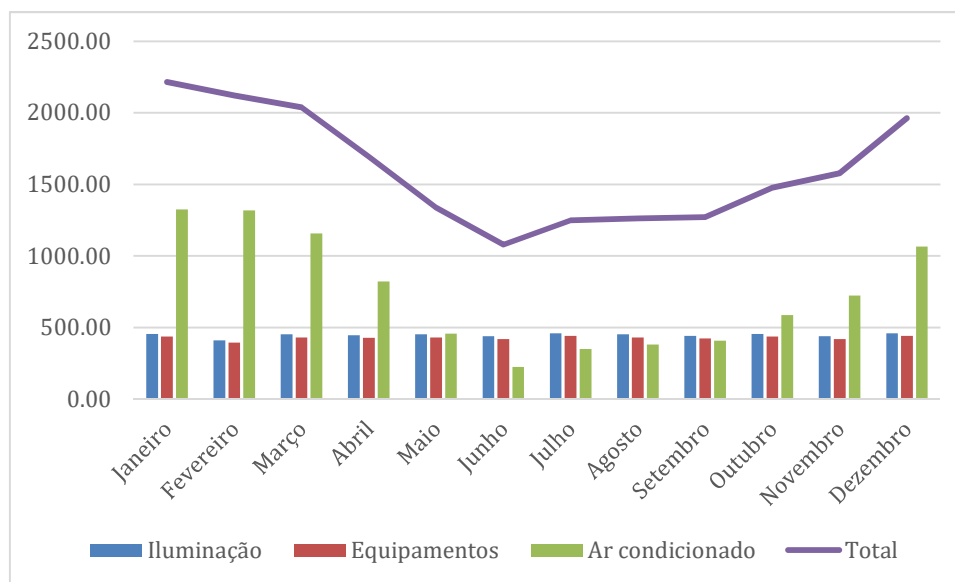


Figura 24 - Gráfico do Consumo de energia elétrica para o caso 8

- Resultados do Caso 9:

No caso 9 foi considerado container todo revestido com placa cimentícia e fachadas norte e oeste ventiladas. Nesse caso, tem-se o gasto mensal e anual de acordo com a tabela 21 e figura 25.

Tabela 21 - Consumo de energia elétrica para o caso 9.

Mês	Iluminação [KWh]	Equipamentos [KWh]	Ar condicionado [KWh]	Total [KWh]
Janeiro	454.76	435.74	1276.63	2167.13
Fevereiro	410.30	392.94	1280.63	2083.87
Março	451.30	430.84	1097.56	1979.70
Abril	444.56	428.00	793.20	1665.76
Mai	451.30	430.84	426.10	1308.24
Junho	437.63	418.21	186.51	1042.35
Julho	458.22	440.63	330.67	1229.52
Agosto	451.30	430.84	339.67	1221.81
Setembro	441.10	423.10	370.59	1234.79
Outubro	454.76	435.74	544.38	1434.88
Novembro	437.63	418.21	676.78	1532.62
Dezembro	458.22	440.63	1004.58	1903.43
TOTAL ANUAL [KWh]				18804.10

Fonte: Simulação usando o software Energyplus.

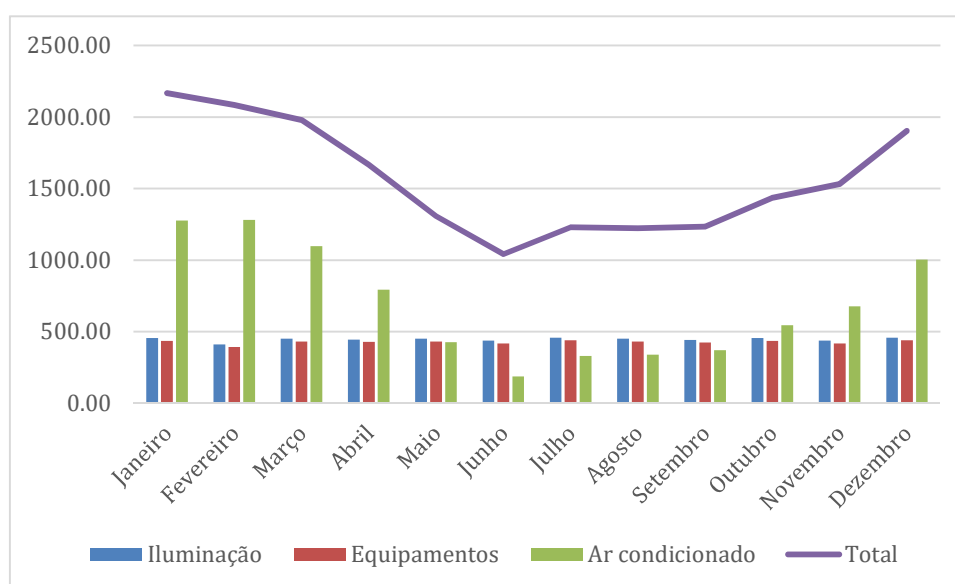


Figura 25 - Gráfico do Consumo de energia elétrica para o caso 9

- Resultados do Caso 10:

No caso 10 foi considerado container pintado de branco, revestido parcialmente com material isolante térmico nas fachadas norte e oeste, além destas também serem ventiladas. Nesse caso, tem-se o gasto mensal e anual de acordo com a tabela 22 e figura 26.

Tabela 22 - Consumo de energia elétrica para o caso 10.

Mês	Iluminação [KWh]	Equipamentos [KWh]	Ar condicionado [KWh]	Total [KWh]
Janeiro	454.76	435.74	1243.21	2133.71
Fevereiro	410.30	392.94	1253.99	2057.23
Março	451.30	430.84	1077.55	1959.69
Abril	444.56	428.00	775.92	1648.48
Maiο	451.30	430.84	414.01	1296.15
Junho	437.63	418.21	178.25	1034.09
Julho	458.22	440.63	317.51	1216.36
Agosto	451.30	430.84	326.69	1208.83
Setembro	441.10	423.10	355.61	1219.81
Outubro	454.76	435.74	521.91	1412.41
Novembro	437.63	418.21	647.40	1503.24
Dezembro	458.22	440.63	972.51	1871.36
TOTAL ANUAL [KWh]				18561.36

Fonte: Simulação usando o software Energyplus.

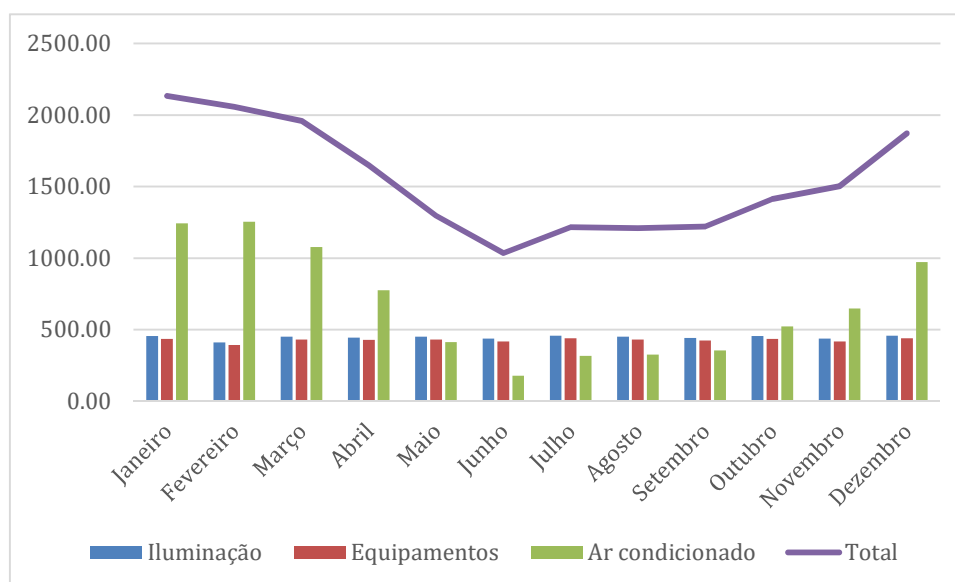


Figura 26 - Gráfico do Consumo de energia elétrica para o caso 10

- Resultados do Caso 11 (Minha Casa Minha Vida):

No caso 11 foi considerada construção de alvenaria, típica e difundida nas práticas de mercado da engenharia civil para moradias. Nesse caso, tem-se o gasto mensal e anual de acordo com a tabela 23 e figura 27.

Tabela 23 - Consumo de energia elétrica para o caso 11.

Mês	Iluminação [KWh]	Equipamentos [KWh]	Ar condicionado [KWh]	Total [KWh]
Janeiro	454.76	435.74	2581.65	3472.15
Fevereiro	410.30	392.94	2542.29	3345.53
Março	451.30	430.84	2353.27	3235.41
Abril	444.56	428.00	1850.41	2722.97
Maiο	451.30	430.84	1097.34	1979.48
Junho	437.63	418.21	597.97	1453.81
Julho	458.22	440.63	560.90	1459.75
Agosto	451.30	430.84	1021.45	1903.59
Setembro	441.10	423.10	831.78	1695.98
Outubro	454.76	435.74	1307.33	2197.83
Novembro	437.63	418.21	1658.92	2514.76
Dezembro	458.22	440.63	2097.94	2996.79
TOTAL ANUAL [KWh]				28978.05

Fonte: Simulação usando o software Energyplus.

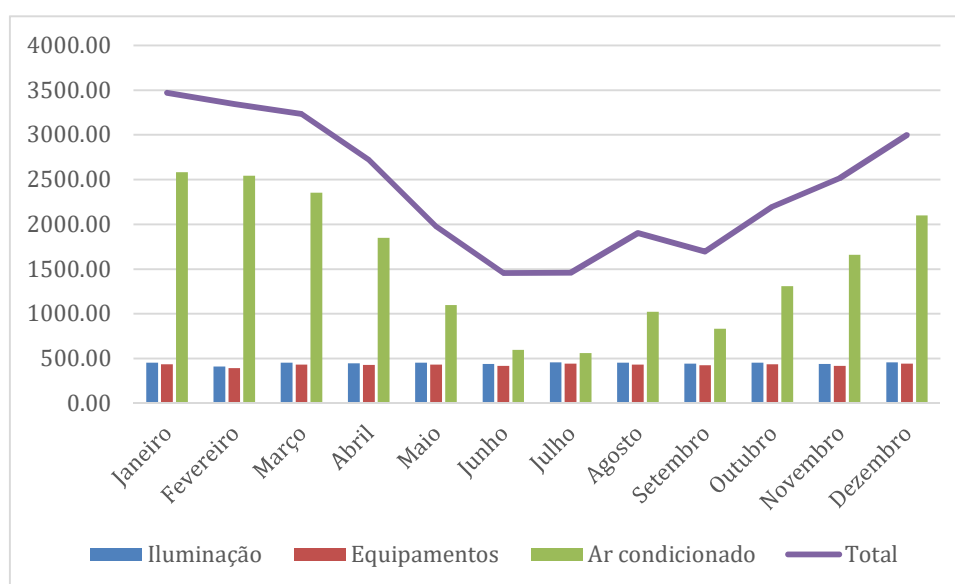


Figura 27 - Gráfico do Consumo de energia elétrica para o caso 11

- Comparação entre os 11 Casos:

A comparação do gasto energético dos 11 casos está exposta na tabela 24. É possível observar que o consumo de energia elétrica é maior na construção de alvenaria (caso 11), enquanto a menor é quando o container é todo pintado de branco e com as fachadas ventiladas (caso 7).

Tabela 24 - Consumo de energia elétrica anual em todos os casos e comparação dos resultados.

Casos	Consumo de energia anual [KWh]	Economia comparada ao pior caso [%]	Consumo comparado ao melhor caso [%]
Caso 1	18821.77	35.05%	2.81%
Caso 2	21294.08	26.52%	14.09%
Caso 3	25057.15	13.53%	26.99%
Caso 4	18560.74	35.95%	1.44%
Caso 5	19633.39	32.25%	6.83%
Caso 6	22483.82	22.41%	18.64%
Caso 7	18293.21	36.87%	0.00%
Caso 8	19284.06	33.45%	5.14%
Caso 9	18804.12	35.11%	2.72%
Caso 10	18561.38	35.95%	1.44%
Caso 11 (MCMV)	28978.06	0.00%	36.87%

Nota-se que nos casos 11, 3 e 6 são os de maior consumo, respectivamente, em relação aos demais que apresentam aumento no consumo de energia de no máximo 6,83% quando comparados ao edifício mais eficiente. Para melhor ilustrar esta variação, a figura 28 apresenta o consumo de energia mensal apenas com o ar condicionado. Através deste, pode-se ver a discrepância entre os casos mencionados e os demais que permanecem sempre aproximados.

Considerando que o consumo total deste condomínio é a soma do consumo das 14 unidades (apartamentos) e o custo da energia cobrado pela concessionária de energia Light no mês de outubro de 2016 para consumidores residenciais é de 0,70795 R\$/KWh, o valor total da conta de energia durante um ano no melhor caso (caso 7) é de R\$ 12.950,68, enquanto no pior caso (caso 11) é de R\$ 20.515,02. Logo a economia anual total seria de R\$ 7.564,34, que dividida pela quantidade de apartamentos (14), chegaria à economia de R\$ 540,31 por unidade em um ano.

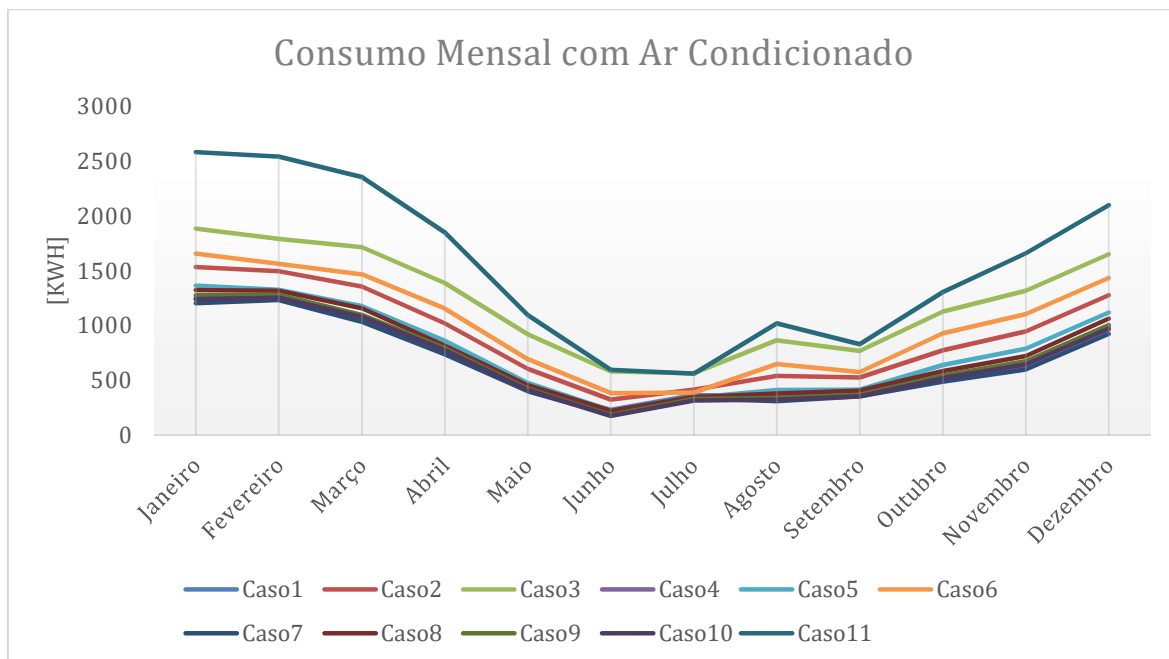


Figura 28 - Gráfico do Consumo mensal de todos os casos com Ar Condicionado

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este projeto integrado foi desenvolvido para ampliar a discussão sobre a utilização de containers como moradia na cidade do Rio de Janeiro, incentivado pelo fato de o Rio ser uma cidade portuária, logo possui muita matéria prima para ser utilizada. Outro fator que deve ser exaltado é o tempo de execução da obra, pois como os containers já chegam ao canteiro de obra pré-moldados, isto torna a construção total da edificação mais rápida, além de gerar menos resíduos. Para tanto, foi necessário realizar a simulação energética para avaliar a eficiência térmica da edificação, analisando diversos tipos de revestimento da envoltória, e chegou-se à conclusão de que independente do material utilizado no revestimento, a eficiência térmica é melhor que no modelo de construção convencional. Isto significa que em todos os resultados apresentados o consumo de energia elétrica para combater a carga térmica foi menor que no modelo convencional (Minha Casa Minha Vida).

Através dos resultados obtidos, ficou clara a importância da avaliação do desempenho térmico de uma edificação no que se refere a pós-construção da habitação, a fase de ocupação e utilização. As edificações devem ser projetadas não somente pensando na energia que será despendida para construir aquele empreendimento, mas principalmente o quanto de energia será consumido após a construção.

A partir de simulações, verificou-se que o desempenho térmico de edificações em regiões de clima quente e úmido, como o Rio de Janeiro, não apresenta resultados satisfatórios com o aumento da inércia térmica em suas fachadas, devido ao retardamento da radiação solar incidente. Quanto mais espessa a parede, mais tempo demora para o calor passar para o interior do edifício por condução, além de demorar para dissipar a carga térmica gerada dentro do edifício, pelo mesmo motivo. Então, em horários noturnos, quando o sistema de ar condicionado é acionado em edificações residenciais, a carga térmica é maior e prejudica o desempenho térmico daquela habitação.

Analisando o melhor cenário (caso 7) e o pior (caso 11), a discrepância da energia consumida com ar condicionado também pode ser explicada porque em períodos quentes o uso da ventilação pode elevar a carga térmica em um determinado ambiente, devido aos componentes construtivos de elevada inércia térmica, no caso a alvenaria, armazenarem o calor recebido do ar externo. Quanto maior a inércia térmica, menos calor é trocado com o meio externo pelos componentes construtivos, fazendo com que o calor permaneça naquele ambiente. Quando uma edificação está sob a influência da ventilação natural, as superfícies

internas mantêm contato com os fluxos de ar, cujas temperaturas correspondem à temperatura externa, trocando calor por convecção entre o fluxo de ar e as superfícies. Como a edificação em estudo está localizada na cidade do Rio de Janeiro, onde na maior parte do ano, durante o fim da manhã e à tarde, as temperaturas externas são superiores às internas, a troca de calor resulta na elevação das temperaturas superficiais internas com o acúmulo de calor na parede.

A figura 29 ilustra este fato. Foi escolhido um período de 4 dias durante o verão, do dia 28/12 até o dia 31/12, para avaliar o comportamento de um dos dormitórios do edifício nos dois casos citados, para comprovação do aumento da temperatura interna. Porém, para demonstrar isto não foi acionado o ar condicionado, pois o mesmo tem a função de estabilizar a temperatura em 24°C. No gráfico é possível identificar que o caso 7 acompanha mais a temperatura externa, enquanto a temperatura interna no caso 11, em diversos momentos, mostra-se superior às demais.

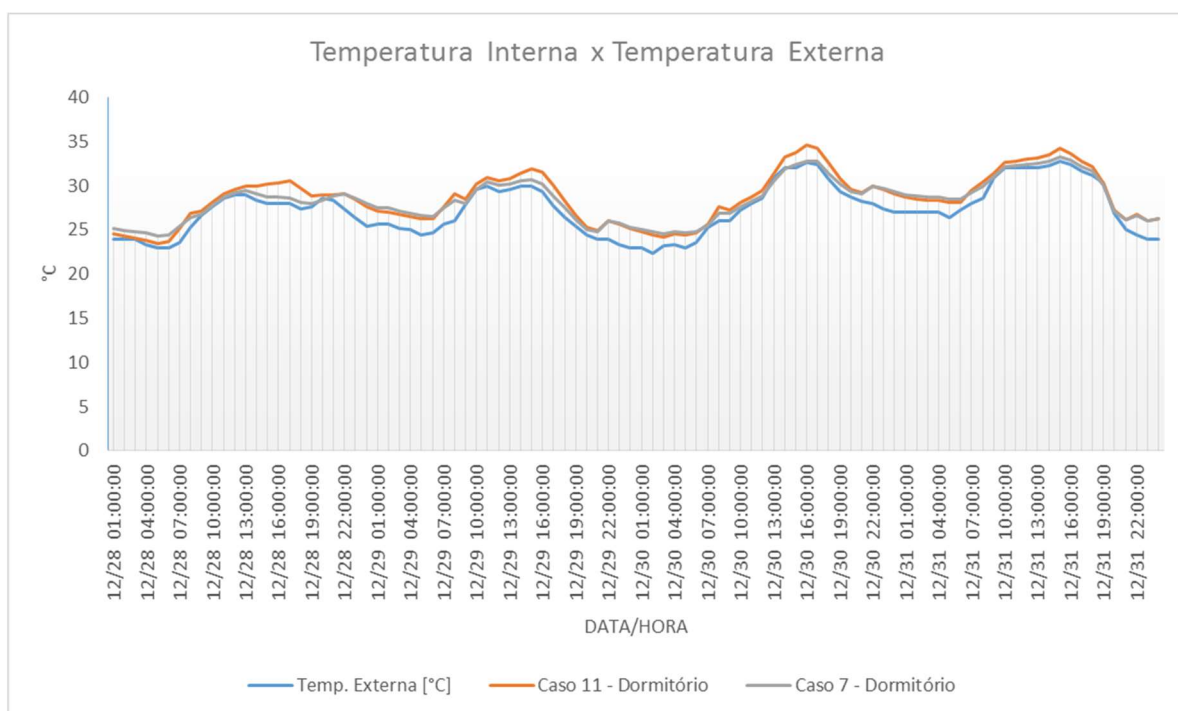


Figura 29 - Comparação da temperatura externa e interna nos casos 7 e 11

Com relação à geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, a mesma tem sido uma alternativa nos centros urbanos. Com as altas temperaturas e o uso cada vez maior de aparelhos condicionadores de ar no Rio de Janeiro, a rede de energia elétrica se torna cada

vez mais sobrecarregada. A construção de novas hidrelétricas exige um planejamento prévio, a fim de mitigar os impactos ambiental e social, além de demorar a estarem aptas para gerar energia. As termelétricas apresentam alto preço do combustível, o que aumenta o preço da energia gerada, além de grande impacto ambiental devido à poluição para gerar energia. Então, como solução para aliviar o sistema, surgem as tecnologias solares e eólicas. Além disso, quando se opta por instalar um sistema deste tipo, deixa-se de injetar na atmosfera toneladas de CO₂, contribuindo para a preservação do meio ambiente, sendo essa uma das principais motivações para o uso dessas tecnologias.

Além do uso do container como alternativa sustentável na construção de habitações, o estudo aqui apresentado visou ampliar a discussão sobre eficiência energética em habitações e a possibilidade de atender a demanda de energia através de fontes renováveis. Para isso, foram avaliados dez tipos de revestimentos em habitações a partir de containers de carga, além do sistema construtivo convencional em alvenaria, visando comparar os onze casos e descobrir qual o mais eficiente, e atender a demanda de energia elétrica do caso mais eficiente a partir de placas fotovoltaicas instaladas no telhado dessas habitações.

Considerando os três principais pilares da sustentabilidade (social, ambiental e econômico) podem-se mensurar alguns benefícios que este projeto apresenta e proposições que visam este conceito. Em relação ao aspecto econômico, o edifício de melhor desempenho térmico feito a partir de container (caso 7) apresenta economia de R\$ 7.564,34 na conta de eletricidade em um ano, sendo R\$ 540,31 por unidade (apartamento). Além disso, se investir em fontes de geração de eletricidade através de um sistema fotovoltaico, conseguiria suprir 77,35% da demanda de energia anual. Em relação ao aspecto ambiental, como já fora mencionado, toneladas de gás carbônico deixarão de ser emitidas na atmosfera com a geração de eletricidade local, além da construção com container gerar menos resíduo do que as construções convencionais. Por fim, em relação ao aspecto social, cria-se uma interação entre os moradores do edifício, para cuidarem de um bem comum que é o próprio edifício e do sistema fotovoltaico que pertence a todas as unidades, que gera a eletricidade que todos necessitam.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT [Associação Brasileira de Normas Técnicas]. **NBR 15520**: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003.

ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica]. **Resolução Normativa nº. 482 de 17 de Abril de 2012**. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: jul. 2013.

ASHRAE [American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers]. **ASHRAE Handbook - Fundamentals**. Inch-Pound Edition. Georgia, Atlanta, 2009.

_____. **Standard 90.2-2007**: Energy Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings. SI Edition. Georgia, Atlanta, 2007.

BARDELIN, Cesar Endrigo Alves. **Impactos do Racionamento de Energia Elétrica de 2001 e 2002 no Brasil**. Departamento de Engenharia de Energia e automação, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2003

BLAST [Building Loads Analysis and System Thermodynamics]. **BLAST 3.0 Users Manual**. Urbana-Champaign, Illinois: BLAST Support Office, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Illinois, 1992.

BORBA, Maria Cristina Vidal; GASPARG, Neide Ferreira (Trad.). **Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho**. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Academia Brasileira de Ciências, 2010. Disponível em: <<http://www.fapesp.br/publicacoes/energia.pdf>>. Acesso em: nov. 2016.

BRASIL. **Decreto Federal nº 3.371 de 24 de fevereiro de 2000**. Institui, no âmbito do Ministério de Minas e Energia, o Programa Prioritário de Termoeletricidade, e dá outras providências. Publicado no Diário Oficial da União – D.O.U. de 25 fev. 2000.

_____. **Decreto Federal nº 4.059 de 19 de dezembro de 2001**. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Publicado no Diário Oficial da União – D.O.U. de 20 dez. 2001.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Minha Casa Minha Vida, habitações**. Disponível em: <<http://www20.caixa.gov.br/Paginas/Noticias/Noticia/Default.aspx?newsID=904>>. Acesso em: maio 2016.

CARTAS, Joana Filipa das Neves. **Simulação dinâmica de um edifício de escritórios com os programas Energyplus e Trace 700**. Dissertação de Mestrado, Engenharia Mecânica, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.

COTIA, Frederico Coutinho Guimarães. **Uso de Tecnologias Fotovoltaicas e Aerogeradores para Geração de Energia no Meio Urbano**. Dissertação de Mestrado, Engenharia Urbana, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

DESIGNBUILDER. **Software**. Disponível em: <<http://www.designbuilder.co.uk>>. Acesso em: maio 2016.

ELETOBRAS/PROCEL EDIFICA, INMETRO E CB3E/UFSC. **Introdução ao Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações**. Rio de Janeiro, 2013.

ENERGYPLUS. **Software**. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>>. Acesso em: maio 2016.

_____. **The Reference to EnergyPlus Calculations**. EnergyPlus Engineering Reference. US Department of Energy, October, 2015.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015: ano base 2014**. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **Balanco Energético Nacional 2015: ano base 2014**. Rio de Janeiro, 2015.

GBC Brasil [Green Building Council Brasil]. Disp. em: <<http://www.gbcbrazil.org.br/>>. Acesso em: nov. 2016.

INMETRO [Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial]. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R)**. Portaria nº 18, de 16 jan. 2012. Brasília, 2012.

_____. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C)**. Portaria nº 372, de 17 set. 2010. Brasília, 2010.

_____. **Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações (RAC)**. Portaria nº 50, de 01 fev. 2013. Brasília, 2013.

LUCON O., D. ÜRGE-VORSATZ, A. ZAIN AHMED, H. AKBARI, P. BERTOLDI, L.F. CABEZA, N. EYRE, A. GADGIL, L.D.D. HARVEY, Y. JIANG, E. LIPHOTO, S. MIRASGEDIS, S. MURAKAMI, J. PARIKH, C. PYKE, AND M.V. VILARIÑO, 2014: Buildings. In: **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [EDENHOFER, O., R. PICHS-MADRUGA, Y. SOKONA, E. FARAHANI, S. KADNER, K. SEYBOTH, A. ADLER, I. BAUM, S. BRUNNER, P. EICKEMEIER, B. KRIEMANN, J. SAVOLAINEN, S. SCHLÖMER, C. VON STECHOW, T. ZWICKEL AND J.C. MINX (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014.

McQUISTON, Faye C.; PARKER, Jeral D.; SPITLER, Jeffrey D. **Heating, Ventilating and Air Conditioning**. 6ª ed., John Wiley and Sons: Danvers, Massachusetts, USA, 2005.

ONU [Organização das Nações Unidas]. **Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD)**. Rio de Janeiro, 1992. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global>>. Acesso em: nov. 2016.

_____. **Declaração da Conferência da ONU sobre o Meio Ambiente Humano.** Estocolmo, 5-16 de jun. 1972. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/_arquivos/estocolmo.doc>. Acesso em: nov. 2016.

_____. **Protocolo de Kyoto.** Japão, 11 de dez. 1997. Disponível em: <http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php>. Acesso em: nov. 2016.

OUYANG, K.; HAGHIGHAT, F. **A Procedure for Calculating Thermal Response Factors of Multi-layered Walls–State Space Method.** Building and Environment, Vol. 26, No. 2, pp. 173-177, 1991.

OWENS, Susan E. **Land-use planning for energy efficiency.** Applied Energy, Vol. 43, pp. 81-114, 1992.

PLANTIER, Renato Duarte. **As Crises do Petróleo da Década de 1970.** Meio Ambiente, 2012. Disponível em: <<http://meioambiente.culturamix.com/recursos-naturais/as-crisis-do-petroleo-da-decada-de-1970>>. Acesso em: nov. 2016.

RETSCREEN. **Software.** Disponível em: <<http://www.retscreen.net/pt/home.php>>. Acesso em: maio 2016.

USGBC [United States Green Building Council]. Disponível em: <<http://www.usgbc.org/>>. Acesso em: nov. 2016.

WINKELMANN, F. C.; BIRDSALL, B. E.; BUHL, W. F.; ELLINGTON, K. L.; ERDEM, A. E.; HIRSCH, J. J.; GATES, S. **DOE–2 Supplement.** Version 2.1E, LBL-34947, November 1993. Lawrence Berkeley National Laboratory, Springfield, Virginia: National Technical Information Service, 1993.

ANEXO A - GERAÇÃO LOCAL DE ELETRICIDADE EM MEIOS URBANOS

Para complementar o projeto integrado, foi levantada a hipótese de atender este empreendimento com fontes renováveis de energia. O engenheiro eletricitista Frederico Cotia, aluno do PEU e também idealizador deste projeto, avaliou esta possibilidade (COTIA, 2015). Após analisar fontes de energia a partir do sol (sistema fotovoltaico) e do vento (sistema eólico), foi estabelecida a utilização de placas solares na cobertura do empreendimento para a geração de energia elétrica, devido a este modelo possuir características positivas para uso nos grandes centros urbanos, interligando o sistema à rede de energia elétrica (sistema *on-grid*). Esse sistema opera interligado à rede de distribuição de energia e, por essa razão, deve seguir as regras da distribuidora para que o sistema se acople em potência. A grande vantagem de se ter um sistema ligado à rede é a possibilidade de utilizá-la como armazenamento de energia, eliminando assim a utilização de baterias para o acúmulo da energia residual, o que além de ser ambientalmente benéfico, pela não utilização de metais tóxicos e nocivos, diminui o custo de implementação do sistema.

Para alimentar o empreendimento habitacional em análise, foi escolhido um sistema de geração de energia fotovoltaico interligado à rede como fora mencionado, formando um sistema híbrido rede-solar. A rede, nesse caso, funcionará como um banco de baterias, e no momento em que não houver oferta solar para suprir a demanda, a rede passa a suprir o sistema com a energia da concessionária local.

Baseado na área disponível no telhado do bloco de apartamentos, 10m x 15m, foi projetado e dimensionado um sistema com 40 placas solares, e assim foi realizada uma simulação utilizando o software Retscreen 4.0, com a finalidade de obter o montante de energia gerado pelo sistema. Baseado na radiação solar anual apresentada pelo software chegou-se a um montante de 14.150 MWh de eletricidade exportada para rede com o sistema escolhido. Ou seja, para o melhor caso estudado (caso 7), consumo de 18.293,21 KWh, o prédio seria abastecido 77,35% com energia gerada a partir do sistema fotovoltaico. A figura 30 mostra os dados de eletricidade exportada (gerada) mensalmente de acordo com os parâmetros inseridos no programa de simulação, e a figura 31 mostra a energia consumida e produzida considerando o caso 7, mês a mês durante um ano inteiro.

Avaliação de recursos
 Sistema de posicionamento solar : Fixo
 Inclinação : 26.0
 Azimut : 207.0

Mostrar dado

Mês	Radiação solar diária - horizontal kWh/m²/d	Radiação solar diária - inclinada kWh/m²/d	Preço eletricidade exportada \$/MWh	Eletricidade exportada p/ rede MWh
Janeiro	5.21	4.78	708.0	1.239
Fevereiro	5.41	5.15	708.0	1.186
Março	4.76	4.81	708.0	1.225
Abril	4.31	4.73	708.0	1.166
Maio	3.66	4.29	708.0	1.103
Junho	3.65	4.60	708.0	1.143
Julho	3.66	4.49	708.0	1.158
Agosto	4.32	4.95	708.0	1.266
Setembro	4.18	4.32	708.0	1.095
Outubro	4.74	4.60	708.0	1.202
Novembro	4.97	4.61	708.0	1.170
Dezembro	5.02	4.57	708.0	1.197
Anual	4.49	4.66	707.95	14.150

Radiação Solar anual - horizontal	MWh/m²	1.64
Radiação Solar anual - inclinado	MWh/m²	1.70

Figura 30 - Montante de eletricidade exportada para a rede.

Fonte: Simulação realizada no software Retscreen (2015).

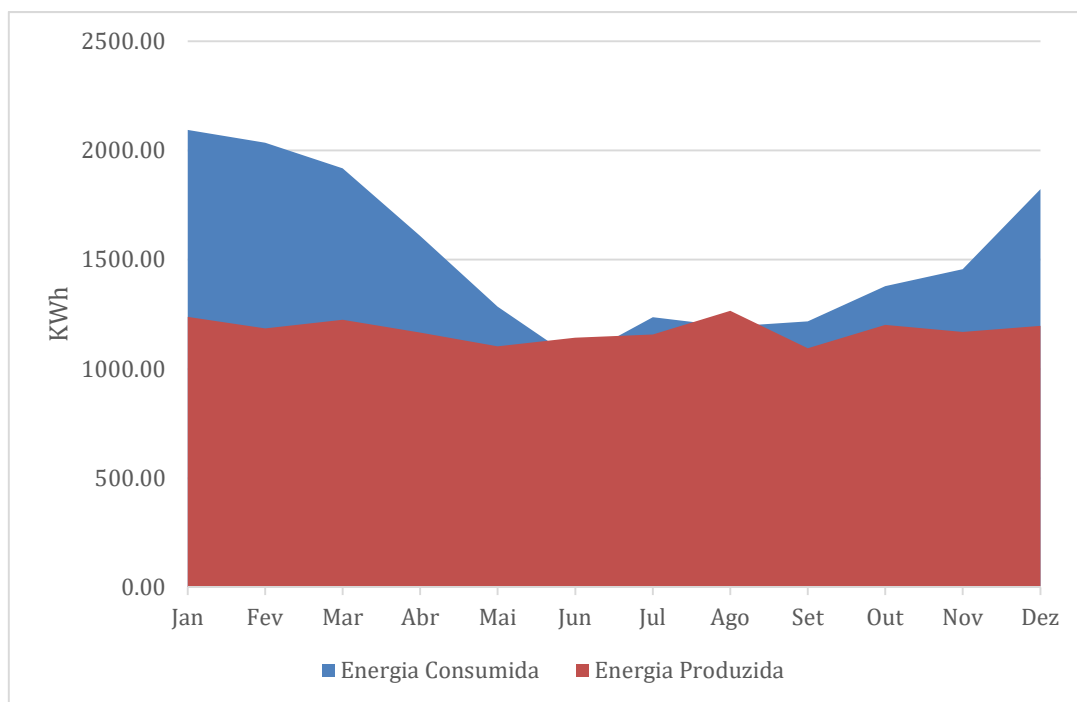


Figura 31 - Energia consumida e produzida anualmente no caso 7. Fonte: produzido pelo Autor

A figura 32 apresenta as especificações técnicas das placas solares e do inversor de frequência utilizado para a realização dos cálculos. Foi considerado o valor de R\$ 7.000,00/KWp instalado, baseado nos preços utilizados no mercado, considerando os equipamentos, projeto e instalação.

Fotovoltaica		
Tipo		Outro
Potência elétrica	kW	10.00
Fabricante		Canadian Solar
Modelo		CS6P-250P
Eficiência	%	15.5%
Temperatura de operação normal da célula	°C	65
Coefficiente de Temperatura	% / °C	0.43%
Área do coletor solar	m²	65
Perdas diversas	%	
Inversor		
Eficiência	%	97.0%
Capacidade	kW	10.0
Perdas diversas	%	
Resumo		
Fator de Utilização	%	16.2%
Eletricidade exportada p/ rede	MWh	14.150

Figura 32 - Especificação técnica dos equipamentos do sistema fotovoltaico.

Fonte: Simulação realizada no software Retscreen.

Considerando o custo inicial (R\$ 70.000,00) e com manutenção (R\$ 2.000,00), além da taxa de inflação (6% aa) o tempo de retorno do investimento é de aproximadamente 7 anos, como pode ser visto na figura 33. Ou seja, o sistema tem vida útil de 25 anos e em 7 anos o consumidor terá o retorno do capital investido, demonstrando a viabilidade financeira deste sistema. A figura 34 apresenta os dados utilizados na análise financeira.

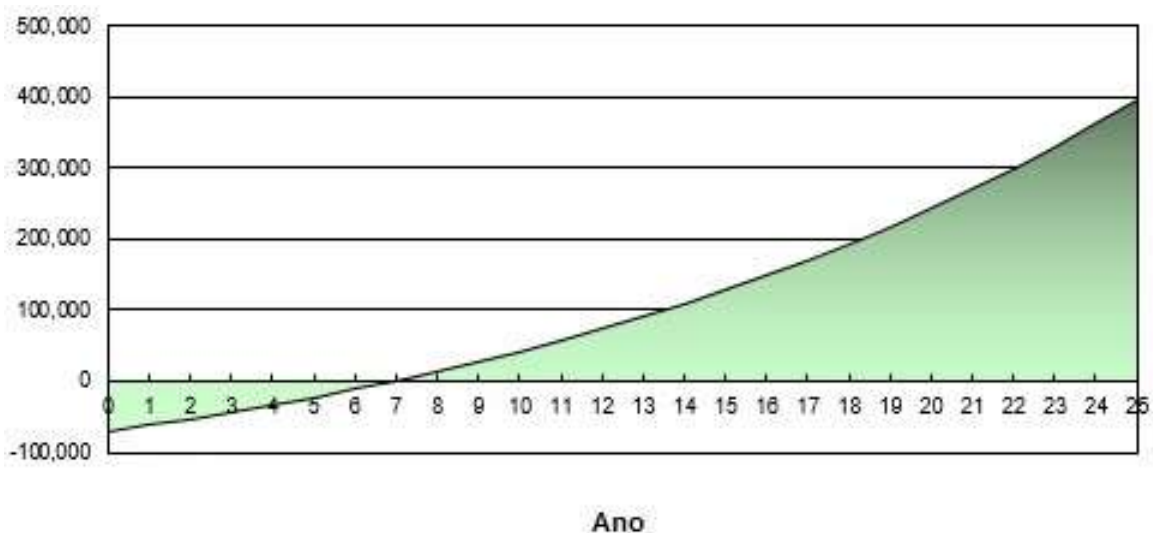


Figura 33 - Fluxo de caixa cumulativo (anos). Fonte: Simulação realizada no software Retscreen (2015).

Análise Financeira			
Parâmetros financeiros			
Taxa de inflação	%	6,0%	
Vida do projeto	ano	25	
Razão da dívida	%		
Custos iniciais			
Sistema de produção de eletricidade	\$	70,000	100,0%
Outro	\$		0,0%
Total de custos de investimento	\$	70,000	100,0%
Incentivos e subsídios	\$		0,0%
Pagamento anual de custos e empréstimos			
Custo (economia) de O&M	\$	2,000	
Custo combustível - caso proposto	\$	0	
	\$		
Total de custos anuais	\$	2,000	
Economia anual e receita			
Custo combustível - caso de referência	\$	0	
Receita com eletricidade exportada	\$	10,018	
	\$		
Total de economia e receita anual	\$	10,018	
Viabil. Financeira			
TIR antes impostos - ativos	%	17,1%	
Retorno simples	ano	8,7	
Retorno do capital próprio	ano	6,9	

Fluxo de caixa cumulativo (\$)

Figura 34 - Dados da Viabilidade Financeira do Sistema Fotovoltaico.

Fonte: Simulação realizada no software Retscreen (2015).