INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL

KAMILLA RODRIGUES BELÉM

A RELAÇÃO ENTRE O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA CLIMATIZAÇÃO E A ORIENTAÇÃO SOLAR DE TRÊS APARTAMENTOS, NO CONTEXTO CLIMÁTICO DE PALMAS – TO

PALMAS

2022

KAMILLA RODRIGUES BELÉM

A RELAÇÃO ENTRE O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA CLIMATIZAÇÃO E A ORIENTAÇÃO SOLAR DE TRÊS APARTAMENTOS, NO CONTEXTO CLIMÁTICO DE PALMAS – TO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito final para obtenção do título de Bacharel no curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas.

Orientadora: Profª. Dra. Elen Oliveira Vianna.

PALMAS

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

B428r Belém, Kamilla Rodrigues
A relação entre o consumo de energia elétrica para climatização e a orientação solar de três apartamentos, no contexto climático de Palmas – TO. / Kamilla Rodrigues Belém. – Palmas, TO, 2022.
91 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2022.

Orientadora: Dra. Elen Oliveira Vianna

1. Eficiência Energética. 2. Ar-Condicionado. 3. Conforto Térmico. I. Vianna, Elen Oliveira. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.
Elaborado pelo sistema de geração automatica de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

KAMILLA RODRIGUES BELÉM

A RELAÇÃO ENTRE O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA CLIMATIZAÇÃO E A ORIENTAÇÃO SOLAR DE TRÊS APARTAMENTOS, NO CONTEXTO CLIMÁTICO DE PALMAS – TO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito final para obtenção do título de Bacharel no curso Superior de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas.

Aprovado em:_____/____/_____

BANCA AVALIADORA

Profª. Drª. Elen Oliveira Vianna
Orientadora
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFTO)

Profª. Drª. Liliane Flávia Guimarães da Silva
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFTO)

Prof. Dr. Marcus André Pereira Oliveira
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFTO)

AGRADECIMENTOS

Para mim, a vida é feita de sonhos. São eles que nos movem e nos fazem seguir adiante: viver desafios, buscar o improvável, e tornar real aquilo que nos dizem ser impossível. Esse trabalho de conclusão de curso traz muito mais do que a sensação de um dever cumprido: é um sonho realizado. Mas não um sonho que se sonha só; ele é um sonho alicerçado na presença de pessoas especiais que tornaram mais fácil a minha caminhada. Gostaria, portanto, de expressar meus agradecimentos a cada um deles.

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitária, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

Agradeço a minha família, meus pais Eloisio e Durcilene, por todo o amor, carinho e incentivo dedicados em minha formação e educação. Palavras não são eficazes na descrição de toda a gratidão por vocês e o meu irmão Daniel por todas as conversas e apoio.

A minha prima, Alessandra, pela ajuda, paciência e apoio durante todos esses anos.

A todos os meus amigos e irmãos de amizade que sempre estiveram presentes durante o meu crescimento, fazem parte da minha formação. A minha turma sete, por todos os momentos (e que momentos) passados juntos que sempre serão lembrados.

A minha orientadora Profª. Drª. Elen Oliveira Vianna, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração por todos os benefícios proporcionados.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que de alguma forma me auxiliaram a concluir não só este trabalho, mas toda a minha graduação.

“Lembre-se que as pessoas podem tirar tudo de você, menos o seu conhecimento.”

Albert Einstein

RESUMO

A utilização de aparelhos de ar-condicionado tem crescido cada vez mais, o que interfere no consumo de energia e traz impacto ao sistema de abastecimento elétrico brasileiro. Para diminuir esses impactos é importante investir em equipamentos eficientes, contudo, antes é necessário que as edificações tenham um bom aproveitamento térmico, tendo uma redução nesse consumo do condicionamento de ar e aperfeiçoamento do consumo de energia elétrica por esses dispositivos. A elaboração de um bom projeto deve considerar a forma, a orientação, o uso e o clima local, a fim de estabelecer os elementos construtivos mais apropriados: quais materiais utilizar na envoltória (fachadas e coberturas), quais tipos de aberturas, entre outros. No presente trabalho faz-se a comparação entre três apartamentos com orientações solares diferentes, contrapondo-se a análise das contas de energia elétrica no período de um ano, na cidade de Palmas- TO, com o foco no consumo de energia elétrica dos condicionadores de ar. O intuito é mostrar a relação entre a eficiência energética, o conforto térmico e as estratégias bioclimáticas. Os resultados apresentados foram obtidos por meio dos cálculos estimativos do consumo de energia elétrica em condicionadores de ar. Por fim, verificou-se que há relação entre a orientação solar dos apartamentos e o respectivo consumo de energia, o que levou a sugestões de diretrizes de projeto para o contexto climático da cidade de Palmas, tais como paredes e coberturas pesadas, com o intuito de diminuir a carga térmica absorvida pelas envoltórias dos edifícios.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Ar-condicionado. Conforto Térmico. Energia Elétrica. Estratégias Bioclimáticas.

ABSTRACT

The use of air conditioning units has grown more and more, which interferes with energy consumption and has an impact on the Brasil electricity supply system. In order to reduce these impacts it is important to invest in efficient equipment, however, it is necessary before that the buildings have a good thermal utilization, having a reduction in this consumption of air conditioning and improvement of the electric energy consumption by these devices. The elaboration of a good project must consider the form, the orientation, the use and the local climate, in order to establish the most appropriate construction elements: which materials to use in the envelope (facades and roofs), which types of openings, among others. In the present work, a comparison is made between three apartments with different solar orientations, in contrast to the analysis of the electricity bills in the period of one year, in the city of Palmas-TO, with the focus on the electricity consumption of the conditioners of air. The aim is to show the relationship between energy efficiency, thermal comfort and bioclimatic strategies. The results presented were obtained through the estimated calculations of electricity consumption in air conditioners. Finally, it was found that there is a relationship between the solar orientation of the apartments and the respective energy consumption, which led to suggestions for design guidelines for the climatic context of the city of Palmas, such as walls and heavy roofs, in order to to reduce the thermal load absorbed by the buildings' envelopes.

Keywords: Energy Efficiency. Air conditioning. Thermal comfort. Electricity. Bioclimatic Strategies.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Selo Procel de Economia de Energia 21
Figura 2: Etiqueta para Edificação.....24
Figura 3: Decomposição do consumo final de eletricidade em 2017 26
Figura 4: Consumo por uso final de residência 26
Figura 5: Crescimento do consumo de eletricidade kWh total e para condicionamento de ar no setor residencial 27
Figura 6: Crescimento estimado da venda de aparelhos de ar-condicionado residenciais 28
Figura 7: Participação no consumo final de eletricidade por equipamento uso final no setor residencial 29
Figura 8: Ganho da eficiência energética estimado no setor residencial e do ar condicionado 29
Figura 9: Parâmetros de desempenho energético 31
Figura 10: Trocas térmicas entre o corpo e ambiente e variáveis físicas ambientais e individuais envolvidas no conforto térmico 33
Figura 11: Mapas dos climas do Brasil.....35
Figura 12: Dados climáticos de médias mensais segundo normal climatológica provisória 1981–2010 do Município de Palmas. 36
Figura 13: Zoneamento bioclimático brasileiro 41
Figura 14: Requisitos da eficiência energética em edificações 44
Figura 15: Passo a Passo do que o edifício deve considerar.....48
Figura 16: Fluxograma dos procedimentos metodológicos 52
Figura 17: Localização de Palmas -TO 53
Figura 18: Visão geral da quadra 306 sul via satélite 53
Figura 19: Localização do Residencial Mirante Du Park 54
Figura 20: Posição dos apartamentos.....54
Figura 21: Disposição dos apartamentos no edifício.....55
Figura 22: Posição do apartamento A (5).....56
Figura 23: Posição do apartamento B (2).....57
Figura 24: Posição do apartamento C (1).....58
Figura 25: Carta solar da trajetória do sol na fachada nordeste (até 21 de junho)...71
Figura 26: Carta solar da trajetória do sol na fachada nordeste (após 21 de junho) 72
Figura 27: Carta solar da trajetória do sol na fachada sudeste (até 21 de junho) 72
Figura 28- Carta solar da trajetória do sol na fachada sudeste (após 21 de junho) .73
Figura 29: Carta solar da trajetória do sol na fachada sudoeste (até 21 de junho) ..73
Figura 30: Carta solar da trajetória do sol na fachada sudeste (após 21 de junho) .74
Figura 31: Carta solar da trajetória do sol na fachada noroeste (até 21 de junho)...74
Figura 32: Carta solar da trajetória do sol na fachada noroeste (após 21 de junho) 75
Figura 33: Exemplo de um modelo de parede de acordo com as recomendações da NBR 15575 para a cidade de Palmas 79

Figura 34: Exemplo de um modelo de cobertura de acordo com as recomendações da NBR 15575 para a cidade de Palmas 80
Figura 35: Exemplos de fachada verde 80
Figura 36: Atuação do vidro de alto desempenho 81
Figura 37: Brises Móveis 82
Figura 38: Jardim vertical 83
Figura 39: Ventilação Cruzada 84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo das diretrizes construtivas definidas pela Norma NBR 15220-3 da Zona Climática 7 42
Tabela 2: Frequência de Uso do Condicionador de Ar da Região Norte 49
Tabela 3: Percentual de Condicionadores de Ar Utilizados nos Meses do Ano (em média), em Relação ao Total de Aparelhos 49
Tabela 4: Percentual de Condicionador de ar ligados no período (hora) em relação ao total de aparelhos em edifícios residenciais 50
Tabela 5: Questionário respondido pelos moradores dos três apartamentos 60
Tabela 6: Consumo dos Apartamentos A, B e C 61
Tabela 7: Consumo por pessoa dos Apartamentos A, B e C.....61
Tabela 8: Estimativa do consumo do ar-condicionado em cada apartamento 67
Tabela 9: Porcentagem do consumo do ar-condicionado em relação ao consumo de energia 68
Tabela 10: Porcentagem do consumo do ar-condicionado por pessoa 76
Tabela 11: Dados do consumo dos apartamentos 77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Linha do tempo de Programas e Políticas de eficiência energética existentes no Brasil 19
Quadro 2: Pré-Requisitos para obtenção da etiqueta na Edificação 45
Quadro 3: Etiqueta dos condicionadores de ar 66
Quadro 4: Informações dos condicionadores de ar 66
Quadro 5: Resumo das orientações dos apartamentos 71
Quadro 6: Síntese das diretrizes e soluções para a Z7.....78
Quadro 7: Recomendações e estratégias para diminuir os efeitos da absortância solar e a transmitância térmica.....79

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Temperatura Média (ºC) de Palmas-TO no ano de 2019 62
Gráfico 2: Radiação solar (kj/m²) de Palmas-TO no ano de 2019 62
Gráfico 3: Consumo kW/PESSOA dos três apartamentos 63
Gráfico 4: Precipitação (mm) de Palmas- TO no ano de 2019.....64
Gráfico 5: Umidade média (%) de Palmas -TO no ano de 2019 64
Gráfico 6: Velocidade do vento (m/s) de Palmas -TO no ano de 2019 65
Gráfico 7 - Porcentagem consumo dos condicionadores de ar dos apartamentos e os dados da Eletrobrás do percentual de aparelhos utilizados da região norte 69
Gráfico 8: Percentual de Condicionadores de ar ligados no período (hora) em relação ao total de aparelhos em edifícios residenciais 70

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnica
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
CONSERVE	Programa de Conservação de Energia Elétrica
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
MEE	Medidas de Eficiência Energética
OIA	Organismo de Inspeção Acreditado
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
PNE 2030	Plano Nacional de Energia 2030
PROCEL	Programa Nacional de Eficiência Energética
PROCEL EDIFICA	Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
Z7	Zona Bioclimática 7

Sumário

1 INTRODUÇÃO 13
1.1 Problema de pesquisa 14
1.2 Justificativa 15
1.3 Objetivos 16
1.3.1 Objetivo Geral 16
1.3.2 Objetivos Específicos 16
2 REVISÃO DE LITERATURA 17
2.1 Eficiência Energética 17
2.1.1 Promoção de Eficiência Energética no contexto histórico 18
2.1.2 Consumo energético no Brasil 25
2.1.3 Eficiência energética e conforto térmico em edificações 30
2.2 Clima e Edificação 31
2.2.1 Conforto Térmico 32
2.2.2 Clima 34
2.2.3 Arquitetura Bioclimática 37
2.2.4 Estratégias Bioclimáticas 38
2.3 Eficiência Energética nas Edificações 42
2.4 Medidas para economia do uso de ar-condicionado 46
2.4.1 Eficiência nos condicionadores de ar 47
2.4.2 Dados do Procel em relação ao consumo de ar-condicionado 48
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 51
3.1 Descrição do objeto de estudo 52
3.2 Consumo do ar-condicionado 59
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 60
4.1 Consumo de energia e estimativa do consumo do ar-condicionado 60
4.2 Relação do consumo com as variações climáticas do ano de 2019 62
4.3 Relação do consumo com os dados do Procel 65
4.6 Relação do consumo do ar-condicionado com a orientação dos apartamentos 70
4.7 Estratégias 78
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 85
REFERÊNCIAS 87

1 INTRODUÇÃO

A utilização da energia elétrica no decorrer das décadas foi fundamental para o crescimento de diversos setores. No contexto mundial atual, a energia elétrica apresenta funções essenciais na vida das pessoas, empresas e indústrias. Relacionado ao crescimento econômico e avanços tecnológicos, a eletricidade tem sido um dos bens mais consumidos no mundo, fator este que tem motivado a população a buscar o uso mais eficiente e racional dessa energia (MACHADO, 2011).

O uso eficiente da energia apresenta como finalidade a redução dos impactos ambientais provenientes da construção de novos projetos geradores e estruturas de transmissão e de distribuição da energia elétrica. Aliás, é mais lucrativo economizar energia do que fornecê-la.

A utilização da energia para climatização em edifícios cresce mais rápido que qualquer outra em relação ao uso final, triplicando entre 1990 e 2016 (IEA, 2018). O conforto, usualmente gerado por meio de ventiladores elétricos ou aparelho de ar-condicionado, está colaborando cada vez mais para o crescimento da demanda global de energia. No Brasil, apenas no setor residencial, a conquista do ar-condicionado pelas famílias mais que duplicou de 2005 a 2017 (EPE, 2018).

O gasto eficaz de energia com os climatizadores está relacionado ao desempenho térmico do edifício e à eficiência do sistema de condicionamento de ar nas suas distintas situações de operação. O desempenho térmico de uma edificação tem relação com a carga térmica do edifício e suas alterações durante o dia e noite. Por sua vez, essas mudanças estão associadas com a maneira de ocupação dos ambientes e com as variações climáticas.

A eficiência de um aparelho de climatização é definida através do consumo energético de cada integrante do sistema e a habilidade de geração do frio ou calor nas várias formas de operação no decorrer do ano. Assim sendo, o desempenho do sistema é motivado principalmente pela eficiência dos equipamentos, configuração do sistema e estratégias de operação (MACHADO, 2011).

Na atualidade, existem algumas possibilidades da diminuição do crescimento da demanda de energia devido à utilização de condicionadores de ar por meio de políticas de eficiência energética. Várias medidas podem ser tomadas, mas aquela

que oferece a capacidade certa da demanda potencial por energia é os índices mínimos de eficiência energética. Também se podem adotar programas, como etiquetagem, permitindo que o acesso crescente a resfriamento ambiental não ocasione grandes custos econômicos, sociais e ambientais (IEA, 2018).

As decisões de projeto têm grande influência no desempenho térmico e energético da edificação. Edifícios adequados ao clima e que utilizam estratégias naturais de iluminação, de aquecimento e resfriamento dos ambientes, mostram vasto potencial em diminuir a demanda de energia (LAMBERTS *et al.* 2016).

Apesar do amplo avanço científico no campo da eficiência energética e de projetos bioclimáticos, a maior parte dos arquitetos, até a última década, não integrava esses conhecimentos à percepção do projeto (MACIEL, 2007). Em parte, isto deve se à combinação do trabalho do arquiteto somente à elaboração do projeto arquitetônico, e a outros profissionais a atribuição sobre os projetos complementares. O ideal é que o processo possibilite que as respostas arquitetônicas aos múltiplos problemas produzam, em vez de soluções superpostas, soluções integradas (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

Neste sentido, têm aumentado o número de pesquisas e aplicações de métodos de projeto de edificações fundamentadas em desempenho energético. Na área da construção civil, são utilizados programas de simulação dinâmica para analisar os desempenhos térmico, energético e luminoso de um edifício em vista de metas específicas, como redução do consumo de energia, diminuição dos impactos ambientais e melhoria do conforto térmico (NGUYEN, REITER e RIGO, 2014).

1.1 Problema de pesquisa

As edificações são responsáveis pela maior parcela do consumo de energia elétrica do país. Os principais responsáveis por esse consumo são: as geladeiras, chuveiros e lâmpadas; porém, mais recentemente, o ar-condicionado chegou a 20% na média nacional. Devido a não adequação das edificações ao clima local e com o aumento do poder aquisitivo da população, esse valor tende a crescer (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Além disso, o desenvolvimento da demanda por ar-condicionado está diretamente ligado com o aumento da poluição, abrangendo emissões de gases do efeito estufa. Então nota-se que é necessário fazer algo para suprir essa demanda,

cada vez mais alta, de modo a impedir os inesperados “apagões”. É importante ressaltar que o desempenho térmico das envoltórias dos edifícios influencia a eficiência energética, assim a problemática se baseia na seguinte pergunta: qual a influência da orientação solar em relação ao consumo de energia pelo uso de ar-condicionado nas edificações?

1.2 Justificativa

A utilização racional e eficiente de energia elétrica mostra, na maioria das vezes, custo e tempo de retorno pequeno quando comparados ao custo de outras soluções. Por exemplo, o preço da economia de 1KW é mais barato do que o preço de um novo 1KW gerado (COSTA, 2006).

O assunto “eficiência energética” oferece um amplo potencial a ser pesquisado em todas as áreas, principalmente em decorrência da ampliação dos fatores ambientais e econômicos, assim como ao avanço tecnológico. Nessa perspectiva, os edifícios têm uma grande parcela no consumo total de energia, em que o sistema de climatização apresenta expressiva participação desse consumo.

A eficiência energética não só gira em torno do uso racional da energia, mas também, na arquitetura, de edifícios que tenham projetos de forma a aproveitar e reaproveitar da melhor maneira os recursos naturais, como a iluminação e a ventilação natural, reaproveitamento da água das chuvas, aquecimento solar, entre opções que deixem a edificação eficiente e que reduza a necessidade de emprego de energia elétrica. Então nas edificações podem-se adotar alternativas bioclimáticas, de maneira que melhorará o conforto térmico e diminuirá o consumo energético.

A eficiência energética é um assunto de suma importância para a sociedade, devido a diversos fatores como mudanças climáticas, desperdício, má gestão, entre outras. Desse modo, o presente estudo tem como justificativa amenizar os impactos causados pelo aumento do consumo de energia por meio da eficiência energética. O foco está na economia de uso do ar condicionador em edifícios, com uso de estratégias de desempenho térmico, sem prejudicar o conforto e qualidade de vida das pessoas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Verificar a relação entre o consumo de energia elétrica de três apartamentos residenciais de um edifício, com suas respectivas orientações solares, tendo o foco no uso do ar condicionado, e indicar diretrizes de projeto que promovam eficiência energética e conforto térmico passivo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analisar e comparar qual a porcentagem energética correspondente somente ao uso do ar-condicionado;
- A partir das normas NBR 15.575 (2013) e NBR 15.220 (2005), propor diretrizes de intervenções nas fachadas dos edifícios, buscando melhor desempenho térmico, de acordo com a zona bioclimática de Palmas - TO.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Eficiência Energética

O termo eficiência energética apresenta diversas definições, dentre as quais se destaca o conceito de Limerick e Geller (2007, p. 6): “Montante de energia necessária para executar uma tarefa particular através de investimentos eficazes” (tradução própria). Gouveia (2008) diz que para se conseguir esses investimentos eficazes no consumo de energia, a eficiência energética concebe artifícios capacitados para combater o desperdício de energia em todo seu procedimento de transformação, isto é, desde que ela é retirada até o momento em que é usada por seus consumidores finais.

No ramo da arquitetura e da construção civil, uma edificação é considerada mais eficiente do que outra se “oferece as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia” (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p. 5). A eficiência energética resume-se em utilizar menos energia, ou seja, o uso eficiente e racional da energia e da redução do consumo. Propiciando, em decorrência, a diminuição dos níveis de emissões de gases na atmosfera.

A definição de eficiência energética para Pinto (2009) consiste na certa utilização dos equipamentos para alcançar o máximo aproveitamento da energia empregada. É muito importante o estudo de eficiência energética nas edificações, pois proporciona uma economia eficaz, que além de diminuir o gasto, reduz o processo do sistema elétrico e os riscos de racionamento, de crescimento do preço e o aquecimento global.

Segundo Schinazi *et al.* (2018) os edifícios eficientes são aqueles que atendem de maneira satisfatória às necessidades dos usuários sob as premissas de projeto com o menor consumo de energia, e/ou, até mesmo, incorporando um sistema de geração de energia. Para que um edifício seja eficiente energeticamente, não basta somente ter um baixo consumo de energia, é necessário e fundamental satisfazer os requisitos de conforto ambiental dos usuários.

Conforme Pinto (2009), o prédio precisa ter o aproveitamento máximo da energia ambiental disponível, como a iluminação e ventilação naturais, diminuindo futuros consumo energéticos. Isso ocorre se houver adequações no projeto, geometria e orientação, além de atitudes disseminadas na fase de construção, como

a relação de iluminação artificial com a luz natural, o uso de sistemas de controle, sensores de presença, temporizadores, sistemas de climatização natural e a utilização de equipamento mecânico apenas quando for verdadeiramente necessário. A arquitetura bioclimática, ou de elevada eficiência energética, colabora para esta finalidade.

2.1.1 Promoção de Eficiência Energética no contexto histórico

A revolução industrial, por volta do século XVIII, e as grandes invenções trouxeram o crescimento do consumo de energia elétrica dos séculos seguintes. Acrescentando a isto, houve a reconstrução das cidades europeias pós duas grandes guerras mundiais (1914-18 e 1939-45) e o sucessivo desenvolvimento industrial conquistado em escala a nível global. A utilização exagerada dos recursos energéticos existentes, o progresso técnico e a dependência de recursos derivados do petróleo foram alguns dos fatores que conduziram o crescimento elevado dos preços do petróleo, acarretando a crise de 1973.

Através do repentino choque do petróleo na década de 1970, o conceito de eficiência da energia ganhou destaque. A crise do petróleo verificou que os combustíveis fósseis não teriam seus preços sempre fixos, nem a sua utilização seria sem lesão ao meio ambiente. Para diminuir os efeitos provocados por tal crise, tornaram-se necessários a correção de costumes e o uso de equipamento mais eficiente, minimizando, dessa forma, a ampliação da geração de energia elétrica, geração por vezes vinculada a fontes não renováveis de energia. Essas condutas, como a mudança de hábito e emprego de equipamentos mais eficientes, foram denominadas Medidas de Eficiência Energética - MEE (POVOÁ, 2014).

Depois da crise do petróleo, vários países concentraram os recursos e linhas de pesquisa para o desenvolvimento de fontes alternativas de energia e sistemas mais eficientes. O foco principal foi o desempenho energético das edificações (setores residencial, comercial e público), pelo fato de ter uma parcela significativa do gasto de energia elétrica na maioria dos países.

O governo brasileiro reparou que a indústria era o setor que mais consumia o derivado de petróleo (óleo combustível), então aumentaram os valores de tal insumo e foi inserido um sistema de controle de abastecimento por meio de cotas de combustíveis.

Nesse contexto, a Quadro 1 mostra a linha do tempo dos programas e políticas de eficiência energética existentes no Brasil no decorrer dos anos.

Quadro 1: Linha do tempo de Programas e Políticas de eficiência energética existentes no Brasil

Ano	Programas e Políticas de Eficiência Energética
1984	Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) Coordenado pelo Inmetro Etiquetagem de eficiência energética de equipamentos eletroeletrônicos
1985	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)
1991	Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET)
1993	Selo Procel Coordenado pela Eletrobrás Selo para produtos mais eficientes
2000	Lei 9.991/2000, Programa de Eficiência Energética PEE Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)
2001	LEI 10.295/2001 Lei da Eficiência Energética Desenvolver mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações. Cria o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética Inmetro: responsável pela implementação e fiscalização
2005	Selo Conpet NBR 15.220: Desempenho Térmico de Edificações
2007	Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030) Abordagens de políticas públicas Mecanismos indutores Expectativas de economia de energia
2008	NBR 15.575: Edificações Habitacionais -Desempenho
2010	Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (PROCEL EDIFICA)
2011	Plano Nacional de Eficiência Energética – PNEf Indicação de Metas de para Eficiência Premissas e diretrizes para economia de energia Meta de redução de 10% do consumo de energia elétrica até 2030 Conjunto de ações para edificações

Fonte: EPE (2018), adaptado pela autora (2021)

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) foi criado em 1984 pelo Inmetro com o intuito de colaborar com a racionalização da utilização da energia no Brasil

por meio de informações que ajudassem o consumidor no momento da compra. Inicialmente, o PBE foi criado para atender apenas à área automotiva, porém, se desenvolveu e se restabeleceu como um programa de extrema importância, agindo especialmente em produtos consumidores de energia elétrica.

O objetivo do programa é esclarecer o desempenho energético de equipamentos, edificações e veículos leves, para quem for consumir esses produtos considerar este indicador em suas escolhas de compra. Segundo a EPE (2018) o principal objetivo das etiquetas é informar o consumidor sobre o nível de eficiência energética das edificações, equipamentos e instalações, comparando produtos com funcionalidade idêntica.

A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) classifica os equipamentos em cinco faixas coloridas, geralmente de “A” (mais eficiente) a "E" (menos eficiente), conforme o coeficiente de eficiência energética. Fazem parte também, informações como tensão de alimentação, modelo, marca ciclo reverso ou não capacidade de refrigeração e o consumo médio mensal.

Em 1985 foi criado Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) pelo Ministério de Minas e Energia. É gerido pela Eletrobrás, com recursos da empresa, da Reserva Global de Reversão (RGR) e entidades internacionais. Seu principal objetivo é promover e combater os desperdícios e proporcionar a utilização eficiente da energia elétrica em diversos setores de consumo.

Em 1991, o Governo Federal através de um decreto presidencial criou o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural, cujo selo recebeu o nome de CONPET, para incentivar o desenvolvimento de uma cultura sem desperdício na utilização dos recursos naturais não renováveis no Brasil. Ao longo de sua existência, as atividades do CONPET se concentraram, sobretudo na capacitação de pessoal, divulgação de informações e realização de diagnósticos em veículos de carga e de passageiros.

Os objetivos do CONPET são: a racionalização do consumo dos derivados do petróleo e do gás natural; redução da emissão de gases poluentes na atmosfera; promoção da pesquisa e o desenvolvimento tecnológico; e fornecimento do apoio técnico para o aumento da eficiência energética na utilização final da energia (EPE,

2014). Este selo caracteriza-se pelo controle das emissões atmosféricas poluentes, devido à circulação de veículos e queima de combustíveis.

Em 1993, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), iniciou o Selo de Eficiência Energética (Figura 1) a fim de combater o desperdício energético, sendo utilizado como comparativo em diversos equipamentos. Com o passar dos anos, o selo vem colaborando para uma ampliação dos índices de eficiência energética de vários equipamentos, e consequentemente, para uma diminuição significativa do consumo de energia elétrica no país (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Figura 1: Selo Procel de Economia de Energia

Fonte: Procel (2019, p. 29)

No ano de 2000, a Lei 9.991 regulamentou a obrigatoriedade dos investimentos em desenvolvimento de pesquisa e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica (EPE, 2014).

Com a Lei 9.991/2000 foi criado o Programa de Eficiência Energética (PEE) da ANEEL, que é uma importante fonte de financiamento de projetos de eficiência energética. As concessionárias de energia elétrica são obrigadas a aplicar, anualmente, no mínimo 0,5% de sua receita operacional líquida (ROL) em pesquisa e desenvolvimento no setor elétrico e 0,5% em eficiência energética no uso final, até 2022 (EPE, 2017).

Em 2001, ocorreu a crise de energia elétrica no Brasil, denominada Crise do Apagão. Nesse período o país passou por comprido período de estiagem,

encurtando a contribuição energética proveniente pelas hidrelétricas. Então a população teve que reduzir seu consumo de eletricidade em 20%, pois caso contrário, teria um aumento no valor de sua conta mensal de energia (CASTRO, 2015).

Nesse contexto, a Lei 10.295/2001, conhecida como a Lei de Eficiência Energética, foi aprovada para fortalecer os programas de etiquetagem, consentindo ao governo brasileiro determinar os padrões mínimos para cada aparelho e, assim, impedir a comercialização de modelos com baixa eficiência. Também por essa lei, foi criado o Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética (CGIEE) responsável por estabelecer os padrões mínimos aos equipamentos, além de introduzir o Programa de Metas com designação dos avanços dos níveis a serem obtidos, por meio de Regulamentações Específicas (EPE, 2018).

Em 2005 surgiu o selo CONPET de Eficiência Energética com objetivo de destacar para o consumidor aqueles produtos que atingem o grau máximo de eficiência energética na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia do programa Brasileiro de Etiquetagem do INMETRO (CASTRO, 2015).

Também no mesmo ano, como tentativa de trazer para o mercado o atendimento de requisitos mínimos de desempenho térmico nas edificações, foi lançada a NBR 15220, que apresenta as diretrizes construtivas para as edificações residenciais de interesse social (ABNT, 2005). A norma dividiu o país em oito zonas bioclimáticas, agrupando cidades com características climáticas semelhantes e definindo as estratégias para ventilação natural, sombreamento de aberturas e propriedades térmicas dos materiais da envoltória.

No ano de 2007 foi publicado o Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030), constitui-se no primeiro documento oficial de planejamento energético integrado do governo brasileiro, apontando metas de eficiência energética de longo prazo para o país.

Entre as contribuições do PNE 2030, destacam-se, principalmente: especificar, dentro do planejamento energético integrado nacional, o papel da eficiência energética na ampliação de longo prazo do setor energético brasileiro, através da indicação de metas de eficiência energética; colaborar no desenvolvimento de estudos na área; supervisionar o avanço de indicadores de

eficiência energética e alimentar a análise de impacto de políticas referente ao assunto (EPE, 2017).

Em 2008, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) lançou a NBR 15575, com a finalidade de certificar o atendimento dos desempenhos mínimos das edificações residenciais e entre estes requisitos a serem atendidos foi incluído o desempenho térmico, usando como base a norma anterior NBR 15220 (ABNT, 2013). A NBR 15575 é dividida em seis partes, sendo o desempenho térmico abordado nas partes 1, 4 e 5, onde a norma traz os critérios mínimos a serem atendidos pela edificação conforme com a sua zona bioclimática e indica três procedimentos para a avaliação: simplificado, simulação e medição, este último somente informativo. A norma NBR 15575 foi revisada em 2013, e passou a ser obrigatória desde então.

Em 2010, foi instituído o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (PROCEL EDIFICA), tendo como objetivos ampliar as atividades com vistas à divulgação e ao estímulo à aplicação dos conceitos de eficiência energética em edificações, dar suporte à viabilização da Lei de Eficiência Energética (10.295/2001), colaborar com a expansão, de forma energeticamente eficiente, do setor de edificações do país, reduzindo os custos operacionais na construção, emprego e manutenção dos imóveis (PROCEL, 2019).

O Procel Edifica estabeleceu as principais barreiras em relação ao emprego da eficiência energética nas edificações no Brasil, sendo elas:

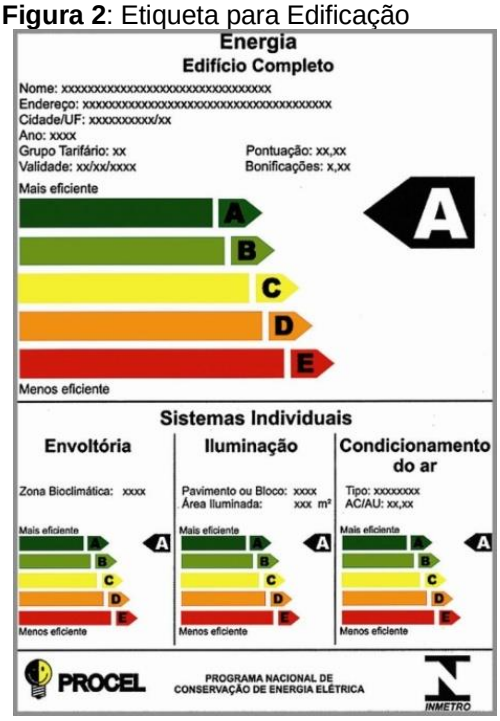
- Insuficiência no código de obras;
- Projetos Inadequados, como por exemplo: Orientação inadequada do edifício em relação à trajetória solar;
- Não considerar os ventos e falta de ventilação cruzada;
- Ausência de simulação energética na fase de projeto;
- Pouco aproveitamento de energia renovável
- Péssima escolha de materiais;
- Uso de equipamentos não eficientes;
- Falta de compatibilização entres os profissionais.

Segundo Castro (2015) o Procel Edifica tem intuito de estimular a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais (água, luz, ventilação etc.) nos

edifícios, diminuindo os desperdícios e os impactos no meio ambiente. As categorias básicas desse programa são: envoltória; iluminação; condicionamento de ar; aquecimento de água.

Após a etiqueta de eficiência energética brasileira ter sido oficialmente lançada, foi apresentado o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas, conhecidos como RTQ-C, e após dois anos foi divulgado o RTQ-R, destinado às edificações residenciais. Os regulamentos expõem as diretrizes para emissão da etiqueta nacional de conservação de energia (ENCE), que traz em uma escala, de A (máximo) até E (mínimo), o nível de eficiência energética das edificações no Brasil, conforme a Figura 2.

Figura 2: Etiqueta para Edificação



Fonte: EPE (2018, p. 16)

O Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) foi divulgado em 2011, tendo a finalidade de desenvolver ações estruturadas para alcançar as metas de eficiência energética no longo prazo. Cabe ressaltar, ainda, que apesar da meta de eficiência energética adotada no PNEf refira-se explicitamente apenas à eletricidade (aproximadamente 10% de redução do consumo em 2030), as diretrizes e premissas propostas se estende também para a eficientização no uso de combustíveis (EPE, 2014).

De acordo com o Procel (2019), o PBE entidade encarregada pela coordenação deste programa, os refrigeradores e condicionadores de ar, que estiveram na etiquetagem, são responsáveis por pelo menos R$ 2,4 bilhões de economia do consumo de energia, desde 1984 até os dias atuais, deste modo deixando de impactar nas contas de energia dos consumidores.

Do ano de 1986 até 2018, a Eletrobrás-Procel investiu cerca de R$ 3,11 bilhões nos programas de eficiência energética, em que foram economizados 151,6 bilhões de quilowatts-hora (kWh), ao longo desses anos (PROCEL, 2019).

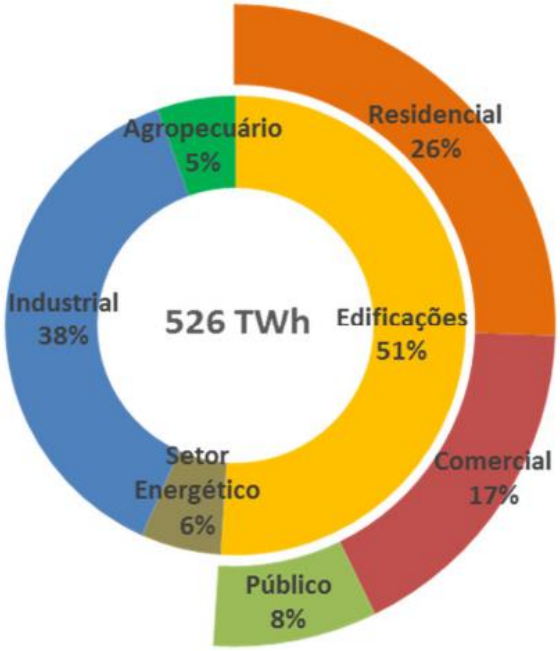
De acordo com os dados da Eletrobrás, em 2018, o Procel contribuiu para uma economia de 23 bilhões kWh, o equivalente a 4,87 % de todo o consumo nacional de energia elétrica naquele ano. Esse resultado corresponde ao gasto anual de energia elétrica de aproximadamente 12,12 milhões de residências brasileiras. Os reflexos ambientais também foram significativos, pois houve uma redução das emissões de gases de efeito estufa de 1, 701 milhão de toneladas de CO_2 equivalentes, o que corresponde às emissões de 584 mil veículos em um ano.

Atualmente, as políticas de etiquetagem e índices mínimos de eficiência energética retiram do mercado equipamentos menos eficientes e incentivam os fabricantes a ampliar e ofertar equipamentos mais eficientes, colaborando com a diminuição da demanda potencial de energia elétrica. É preciso ressaltar a importância dos mecanismos regulatórios de eficiência energética, que são encaminhados à mudança de procedimento no mercado de energia, em geral, de caráter mandatório ou indicativo, requerimentos legais, critérios de desempenho, programas, entre outros (EPE, 2018).

2.1.2 Consumo energético no Brasil

O consumo de energia elétrica pelo setor residencial, no ano de 2017, corresponde a 26 %, enquanto 17% correspondem ao setor comercial e 8 % ao setor público, como mostra a Figura 3. Portanto, esses três setores juntos, correspondem a 51% de toda energia elétrica consumida no país (EPE, 2018).

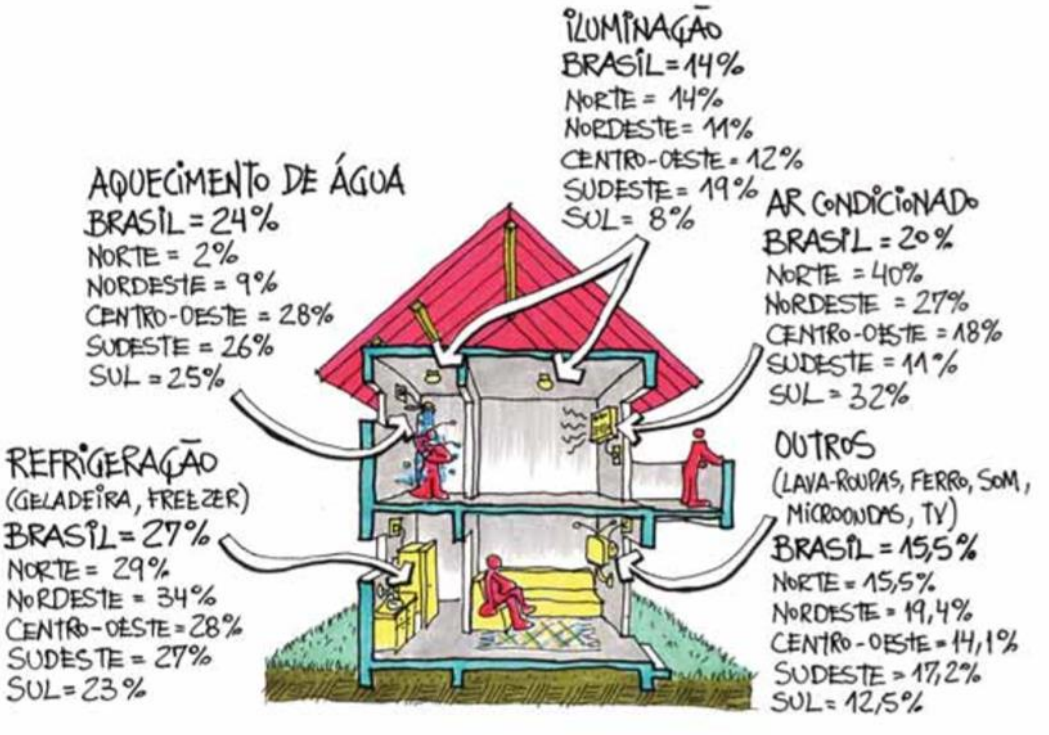
Figura 3: Decomposição do consumo final de eletricidade em 2017



Fonte: EPE (2018, p. 8)

O setor residencial corresponde a uma parcela bem significativa no consumo de energia elétrica do país. A distribuição desse consumo é feita de acordo com a utilização do equipamentos e aparelhos como mostra a Figura 4.

Figura 4: Consumo por uso final de residência



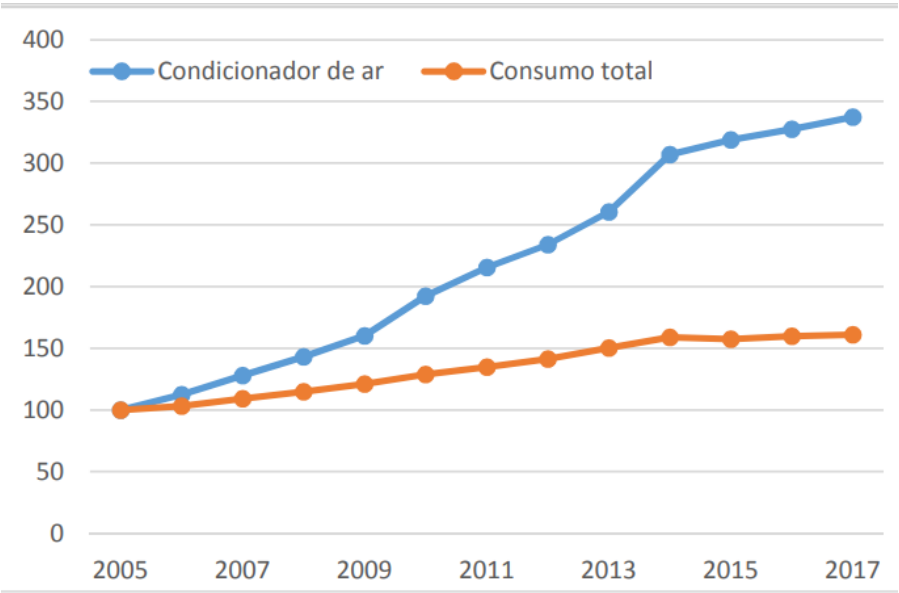
Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p. 37), baseada na Eletrobrás (2007)

Observa-se que, em 2007 o consumo de energia elétrica em residências na maior parte é por causa da utilização das geladeiras, chuveiros e lâmpadas, mas ultimamente, o ar condicionado começou a crescer no seu consumo, chegando a 20% na média nacional. Esse número só tende a crescer de acordo com o poder aquisitivo e de acordo com a não adaptação das edificações com o clima da localidade (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

A região norte é a que mais consome energia elétrica com ar condicionado, o que corresponde a 40% do total do consumo residencial de energia. Isso ocorre por causa das elevadas temperaturas presentes durante o ano todo.

Segundo EPE (2018, p. 9) “entre 2005 e 2017, o consumo de energia elétrica do setor residencial passou de 83 TWh para 134 TWh, crescimento de 61% no período”. Esse aumento foi influenciado diretamente pela elevação do uso de aparelhos de ar-condicionado, como indicado na Figura 5.

Figura 5: Crescimento do consumo de eletricidade kWh total e para condicionamento de ar no setor residencial

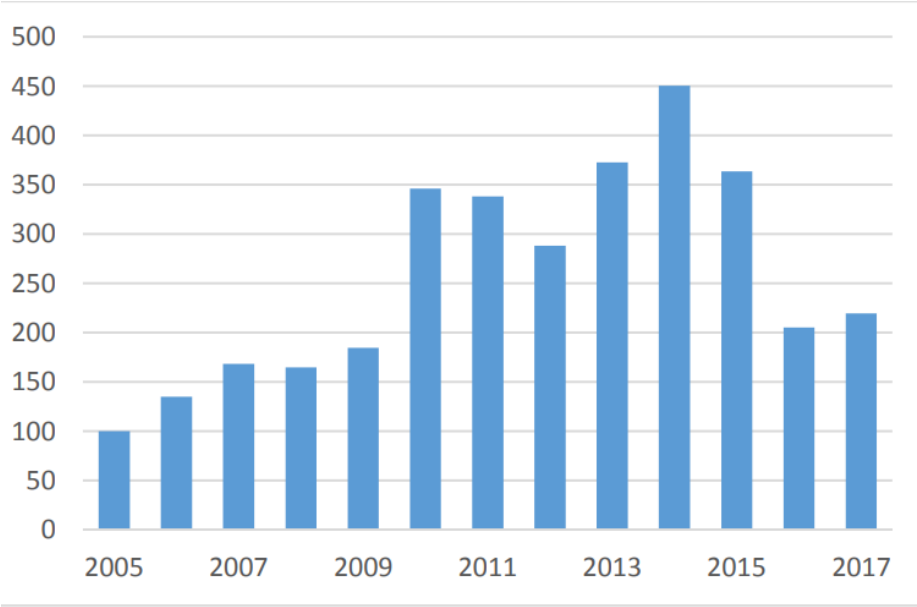


Fonte: EPE (2018, p. 10)

Segundo a EPE (2018) a obtenção dos aparelhos nas residências cresceu 9,0% ao ano entre 2005 e 2014, influenciado, especialmente, pelo aumento das vendas de condicionadores de ar novos entre 2010 e 2015, como mostra na Figura 6. Nessa ocasião, além do desenvolvimento da renda e do crédito direto às famílias, a onda de calor que registrou recordes históricos em muitos municípios em 2014 e 2015 impactou a venda de aparelhos.

É importante destacar que os acontecimentos atípicos de ondas de calor, podem crescer de modo permanente a demanda por eletricidade, na proporção em que os aparelhos obtidos ao longo desses eventos passam a ser usados constantemente em períodos com a temperatura amena (EPE, 2018).

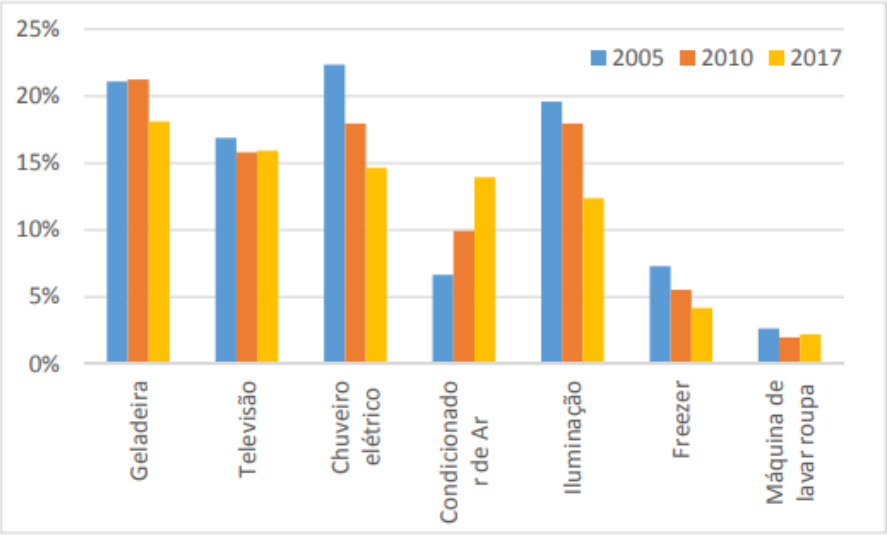
Figura 6: Crescimento estimado da venda de aparelhos de ar-condicionado residenciais



Fonte: EPE (2018, p. 10)

O aumento das vendas de aparelhos condicionadores de ar permitiu um ganho de participação ressaltante nos últimos anos em comparação ao consumo energético residencial. O ar-condicionado se tornou o quarto equipamento (ou uso final) que mais consome energia elétrica nas residências, cuja participação passou de 7% em 2005 para 14% em 2017, como mostra a Figura 7.

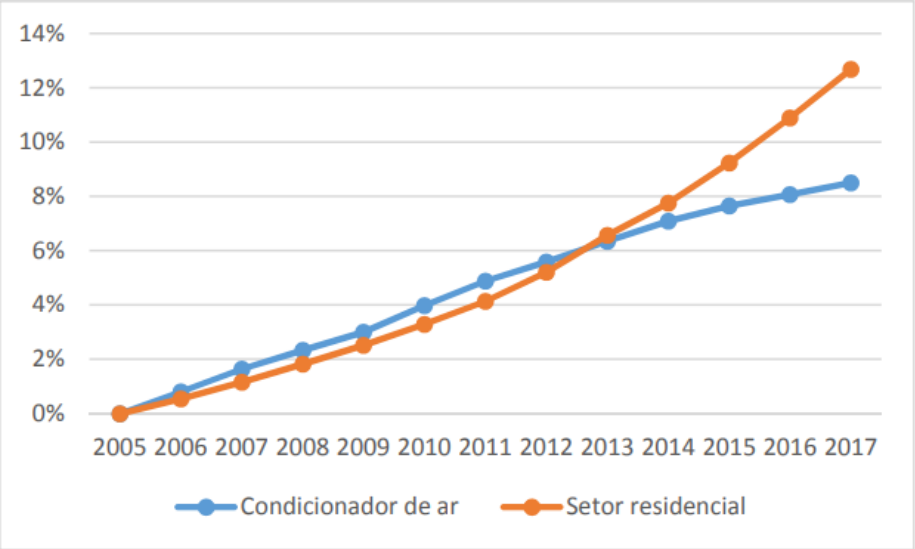
Figura 7: Participação no consumo final de eletricidade por equipamento uso final no setor residencial



Fonte: EPE (2018, p. 11)

Nesse fundamento, a inserção de etiquetas comparativas, começada em meados da década de 1980, e a implantação dos níveis mínimos de eficiência energética a partir de 2007, inseriram condicionadores de ar mais eficientes em posse das famílias. Deste modo, como mostra a Figura 8, estima-se que o ganho apurado de eficiência energética dos aparelhos de ar-condicionado foi 8% entre 2005 e 2017, enquanto a eficiência energética do setor residencial como um todo atingiu 13% no mesmo período (EPE, 2018).

Figura 8: Ganho da eficiência energética estimado no setor residencial e do ar condicionado



Fonte: EPE (2018, p. 12)

Portanto, por meio dos dados apresentados, é possível notar que os setores residencial, comercial e público, juntos apresentam uma parte considerável no consumo de energia elétrica do país, sendo o uso de condicionamento ambiental muito significativo no consumo de energia elétrica, principalmente na região Norte.

2.1.3 Eficiência energética e conforto térmico em edificações

Uma edificação eficiente é aquela que, comparada com outra edificação não eficiente, atende da mesma forma as exigências do usuário, porém com um menor consumo energético (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Para que este conceito de edificação se torne mais presente no cotidiano da construção civil, são necessárias mudanças desde a fase de concepção de projeto, até a sua execução e uso.

O gasto por utilização de ar-condicionado no Brasil é entre 25% a 45%, mais elevado do que o necessário por causa de projetos inadequados, isto é, traçados executados sem levar em consideração vários aspectos que influenciam no desempenho térmico da edificação como a localização, o entorno, radiação solar, características térmicas dos materiais dentre outros, impondo de se usar o ar-condicionado como estratégia para o conforto térmico (MORAES, 2013).

Como já foi mostrado, o sistema de condicionamento de ar artificial é responsável por boa parcela do consumo final de energia elétrica do brasileiro, principalmente na região Norte do país. Logo, é necessário ter uma economia energética, uma integração de técnicas construtivas, aproveitando os sistemas naturais e artificiais de circulação de ar para alcançar o conforto térmico ideal, dispensando ou diminuindo o condicionamento de ar artificial.

Ao planejar e elaborar um projeto arquitetônico é importante levar em conta o conforto térmico, porque ele depende, além das condições do cliente que está considerando, de distintas variáveis externas. Pode-se citar como exemplo, a incidência direta do sol, a incidência do vento, maritimidade, arborização, umidade do ar, entre outros (LAMBERTS *et al.*, 2016).

O consumo de energia dos edifícios depende expressivamente do nível de conforto almejado, das condições climáticas, da configuração e da utilização dos sistemas. Também, devido ao consumo de energia ser uma função direta tanto da potência quanto do tempo, práticas de projeto e de operação é igualmente

importante para diminuir os gastos relacionados à compra ou geração de energia, como mostra a Figura 9, alguns parâmetros importantes a serem analisados (SCHINAZI *et al.*, 2018).

Figura 9: Parâmetros de desempenho energético

Schinazi *et al.* (2018, p. 67)

Assim, os edifícios poderão analisar critérios de eficiência energética para o projeto. O prédio consegue se tornar mais eficiente se for desenvolvida uma estratégia bioclimática, por exemplo, que estude de modo adequado à radiação solar incidente numa edificação a temperatura e a umidade histórica do local, e aproveite este conhecimento para determinar mais apuradamente os sistemas de condicionadores de ar e a envoltória (SCHINAZI *et al.*, 2018).

2.2 Clima e Edificação

Lamberts, Dutra, Pereira (2014 p. 43) “o conforto ambiental pode ser entendido como um conjunto de condições ambientais que permitem ao ser humano sentir bem-estar térmico, visual, acústico e antropométrico, além de garantir a qualidade do ar e o conforto olfativo”. Para Manzano-Agugliaro *et al.* (2015), o conforto climático melhora o bem-estar das pessoas. Este conforto é necessário na sua casa, mas também é essencial no local de trabalho.

De acordo com Barbirato, Souza e Torres (2007), o clima é a consequência de fatores globais (radiação solar, latitude e altitude), locais (revestimento de solo, topografia) e elementos climáticos (temperatura, umidade, velocidade dos ventos). Ajustar o ambiente edificado ao clima da localidade constitui em determinar espaços com melhoria nas condições de conforto, além de consentir aspectos culturais, sociais e ambientais.

O fator influenciador para definir a forma do prédio é o clima. Distintos formatos podem se relacionar a alguns dos muitos desempenhos climáticos de uma edificação. Em climas quentes o edifício necessita que o calor seja dissipado. Os prédios devem se expandir mais, apresentar grandes dimensões entre área de superfície e volume e as paredes de frente para o sol protegidas da radiação solar direta. Em situação do clima frio, o calor tem que ficar retido, as edificações deve ser compacto e deixar entrar a radiação solar (ROAF; FUENTES; THOMAS, 2006).

É importante ao fazer o projeto ter a análise dos fatores externos da edificação. Os lugares precisam minimizar a percepção de desconforto impostas pelas condições climáticas que vem de fora e adequar ambientes favoráveis. As elevadas temperaturas urbanas tem enorme influência para condicionamento dos edifícios (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007).

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014) para se fizer um projeto é importante analisar o clima local e as suas variações. É fundamental conhecer as variáveis climáticas para realizar um projeto mais adequado ao conforto para o usuário e mais eficiente em relação ao consumo de energia. Essas variáveis são: radiação solar, luz natural, temperatura, vento e umidade do ar.

2.2.1 Conforto Térmico

Lamberts *et al.* (2016, p. 6) dizem que “o conceito de conforto térmico se refere ao estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda”. O autor complementa também que a insatisfação térmica pode ser ocasionada pela sensação de desconforto devido ao excesso de calor ou de frio, ou seja, quando há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente.

Lamberts *et al.* (2016, p. 6) também citam que, “conforto térmico, tomado como uma sensação humana está situada no campo subjetivo e depende, além de

fatores físicos, de fatores fisiológicos e psicológicos". As autoras Frota e Schiffer (2001) concluem que para analisar as condições de conforto térmico, o indivíduo precisa estar vestido apropriadamente, sem problemas de saúde e em condições ambientais capazes de possibilitar sensação de conforto térmico. Por exemplo, um indivíduo acostumado com um clima seco, se for exposto a um teste em outra região muito úmida, com certeza terá dificuldade para se adaptar.

Para compreender melhor os padrões de conforto térmico humano, é indispensável entender que diversas variáveis influenciam esta condição, e que se dividem em ambientais (climáticas) e individuais (subjetivas). Dentre as aspectos ambientais estão a temperatura do ar, a umidade relativa, a velocidade do ar e a temperatura radiante de um ambiente. Já as individuais são tocantes à atividade metabólica, à vestimenta e às particularidades físicas de um ser humano (SCHINAZI *et al.*, 2018).

A aclimatação, método físico do mecanismo que faz com que a pessoa se adapte às alterações climáticas que acontecem à sua volta, depende não somente de fatores fisiológicos e psicológicos, mas também de fatores comportamentais, como mostra a seguir a Figura 10.

Figura 10: Trocas térmicas entre o corpo e ambiente e variáveis físicas ambientais e individuais envolvidas no conforto térmico

Fonte: Schinazl *et al.* (2018, p. 37)

O conforto térmico do usuário desempenha uma enorme influência no consumo energético da edificação, então é importante estudar o desempenho térmico das edificações. Tal desempenho tende a melhorar as condições do ambiente para o usuário e, ao mesmo tempo, possibilitar menor consumo de energia elétrica.

Para avaliar o desempenho térmico do edifício é necessário analisar as influências do meio externo ao tipo de ocupação. Deste modo, questões climáticas como ventilação, insolação, temperatura e umidade, e o comportamento dos ocupantes, as aberturas de esquadrias, uso de meios artificiais de iluminação e condicionamento, influenciam de maneira direta o conforto térmico e a eficiência energética (SCHINAZI *et al.*, 2018).

O projeto de arquitetura precisa atender ao mesmo tempo à eficiência energética e às condições de conforto das pessoas. O emprego das estratégias passivas de aquecimento e de resfriamento no projeto possibilita a redução do tempo de emprego de sistemas artificiais para garantir o conforto térmico, deste modo a diminuir o consumo de energia nas edificações. Por isso, para o eficaz aproveitamento das estratégias bioclimáticas em projeto é indispensável à correta análise bioclimática do local, por meio dos dados climáticos disponíveis (LAMBERTS *et al.*, 2016)

2.2.2 Clima

O clima dominante no Brasil é o tropical. A influência da continentalidade, maritimidade, latitude, relevo e massas de ar, geram vários subtipos de clima tropical (continental, altitude e semiárido), o subtropical e o equatorial (SIQUEIRA *et al.*, 2005). A divisão do clima brasileiro é mostrada na Figura 11.

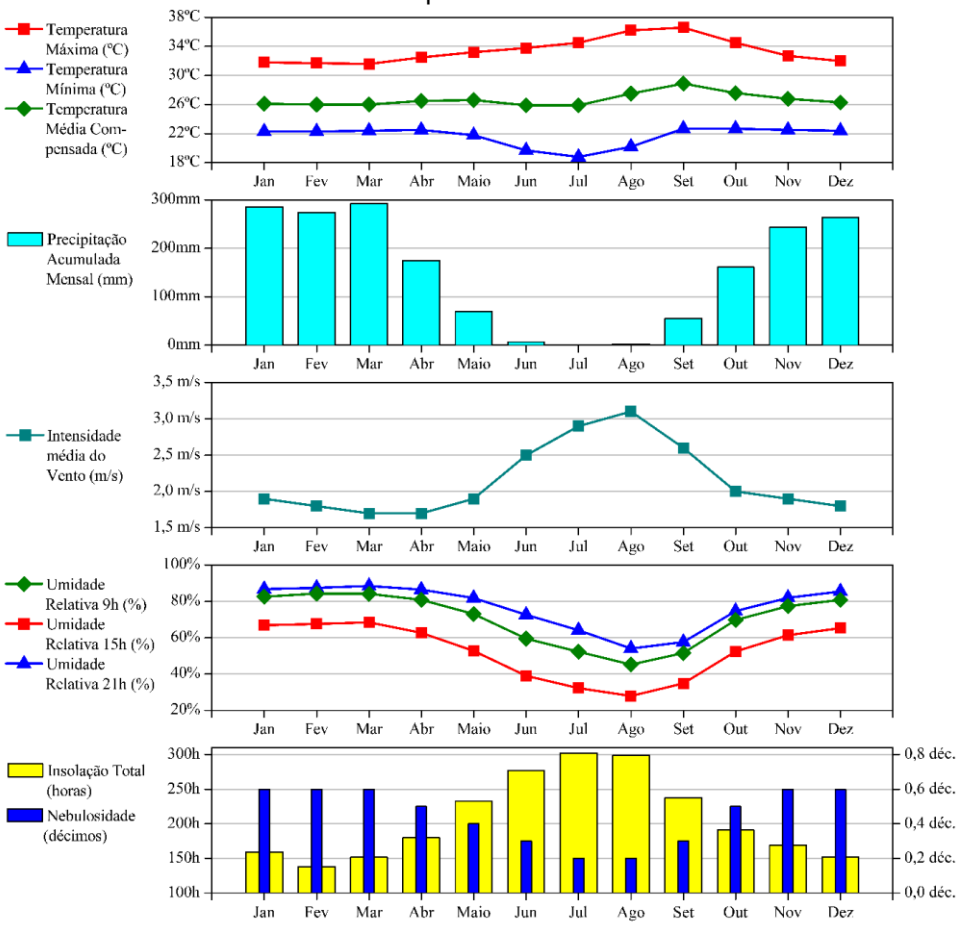
Figura 11: Mapas dos climas do Brasil

Fonte: Adaptado de IBGE (2011)

Segundo Souza (2010, apud SILVA 2018, p. 157), “o Estado do Tocantins é marcado pela sazonalidade do regime climático”. As distinções são mais evidenciadas entre a primavera-verão e o outono-inverno, especialmente no aspecto da disponibilidade hídrica na atmosfera. O Tocantins é caracterizado ainda por singularidades, a partir de demonstrações de episódios de calor, de estiagem e de pluviosidade acentuada. O clima do Estado do Tocantins é condicionado fundamentalmente pela sua vasta extensão territorial e pelo relevo de altitude gradual e crescente de norte a sul. Já na capital do estado, o clima possui algumas especificidades.

Segundo Silva (2018) a normal climatológica provisória 1981–2010, mais atualmente disponibilizadas, mostra os principais parâmetros para a cidade de Palmas: a variação mensal das temperaturas máxima, mínima e média compensada, da precipitação, da umidade relativa, da velocidade média dos ventos, da insolação total e da média de nebulosidade, como pode ser vista na Figura 12.

Figura 12: Dados climáticos de médias mensais segundo normal climatológica provisória 1981–2010 do Município de Palmas.



Fonte: Diniz; Ramos; Rebello (2018), organizado por Silva (2018, p.155).

A normal climatológica provisória 1981–2010 aponta a média anual das temperaturas máximas de 33,4ºC, média anual das mínimas de 21,7ºC e média compensada anual de 26,7ºC. As temperaturas mensais alcançam médias das máximas de 36,6ºC, em setembro, e médias das mínimas de 18,8ºC, em julho. A amplitude máxima de 16,0ºC acontece no mês de agosto, e a mínima de 9,2ºC no mês de março. A média de umidade relativa atinge o máximo de 88,4%, em março, à noite, e o mínimo de 28,0% em agosto, à tarde, com valores maiores de janeiro a março e menores em agosto, em todos os horários. A velocidade média dos ventos atinge 3,1m/s, com velocidades máximas em agosto, e mínimas em março a abril, com 1,7m/s (SILVA, 2018).

Realmente, a análise climatológica é variável de região para região, no caso de Palmas o desconforto é ocasionado principalmente pelo calor, porque apresenta características diversas, como já foi mostrado pelos dados mencionados acima.

Então, para elaboração do projeto adequado, cada componente climática do

entorno da edificação deve ser levada em consideração, assim como suas particularidades, a fim de proporcionar desempenho térmico apropriado.

2.2.3 Arquitetura Bioclimática

A bioclimatologia é uma ciência que realiza pesquisas do clima, relacionando com os seres vivos. Tendo informação dos conceitos que abrangem o clima e o conforto, compreende-se a importância da bioclimatologia aplicada à arquitetura (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

De acordo Maragno (2002), a Arquitetura Bioclimática é aquela que se fundamenta no adequado aproveitamento de elementos arquitetônicos e tecnologias construtivas em relação às características climáticas, aperfeiçoando o nível de conforto ambiental das pessoas de um ambiente e, economizando energia. Para Manzano-Agugliaro *et al.* (2015), a missão da arquitetura tem sido consecutivamente de proteger o homem do ambiente externo e, desse modo, a arquitetura bioclimática pretende alcançar o conforto térmico humano pela interação energética com o clima exterior.

A arquitetura bioclimática consegue beneficiar das características do seu clima local para dar conforto ao morador com menor participação possível de condicionamento ativo, ou apenas se defender de modo adequado contra características contrárias. Por exemplo, uma casa em uma zona que é quente, deveria maximizar a ventilação natural e o uso de dispositivos de sombreamento a fim de diminuir, ou eliminar, a necessidade de ar condicionado (SCHINAZI *et al*., 2018).

Com a informação e as técnicas da arquitetura bioclimática é possível conseguir alcançar um projeto em que a edificação seja agradável tanto no verão quanto no inverno, porque não existirá ganho e nem perda de calor desnecessariamente; seja iluminado e ventilado naturalmente, impedindo ao máximo os sistemas artificiais, tendo a racionalização do consumo de energia, apresentando temperaturas e qualidade do ar agradável e saudável; e ainda colaborando com a preservação do meio ambiente, evitando o consumo sem necessidade de energia (MANZANO-AGUGLIARO *et al.*, 2015).

Contudo, somente com a utilização de recursos naturais (medidas passivas), um desempenho térmico suficiente pode não ser possível, isso ocorre em condições

climáticas extremas. Então, deve-se buscar elevar ao máximo o desempenho térmico natural, porque se pode diminuir a potência necessária dos equipamentos de refrigeração ou aquecimento, visto que a quantidade de calor a ser retirada ou fornecida será menor (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Assim, pode-se entender que a arquitetura bioclimática irá realizar um papel cada vez mais importante no desenvolvimento sustentável, sendo que o projeto bioclimático, de acordo com Corbella e Corner (2011), acrescenta valor sem trocar de lado a tecnologia, a forma e o estilo, colabora para economizar energia, evitar o desperdício de recursos naturais, precaver impactos ou poluição resultante da economia de energia convencional e melhorar a qualidade de vida do usuário.

2.2.4 Estratégias Bioclimáticas

Corbella e Corner (2011) também enfatizam que além de analisar todos os parâmetros tradicionais de projeto, um projeto bioclimático precisa associar o Programa (que parte do usuário ou cliente) ao Local (estudo de clima, topografia e vegetação), avaliando os fenômenos climáticos e as necessidades energéticas e ambientais. Ao acrescentar esses valores ao projeto de arquitetura, sem esquecer a tecnologia, a forma e o estilo, há uma cooperação para conservar a energia, impedir o desperdício dos recursos naturais, prevenir a poluição resultante da geração e da utilização de energia convencional e aperfeiçoamento na qualidade de vida da pessoa. Os autores ainda destacam algumas estratégias de projeto relacionadas ao clima, que são elas:

- Controle solar: proteger do sol do verão e aproveitar o sol de inverno quando aplicável;
- Reduzir as áreas de vidro ao estritamente necessário para prover iluminação natural;
- Utilizar a ventilação para reduzir a umidade, promover a renovação do ar e o resfriamento do ambiente;
- Isolar os ambientes e reduzir os intercâmbios térmicos com o exterior em locais com ar-condicionado;
- Prever paredes exteriores e interiores de grande inércia térmica quando se desejar amortecer as variações da temperatura externa em relação ao

período de uso do ambiente; ou quando se utilizar a ventilação noturna para resfriamento das estruturas do edifício;

- Usar paredes de pouco inércia quando se faz o uso da ventilação natural diurna (troca de ar com o exterior);
- Adaptar a edificação às características do entorno – relevo, vegetação, etc.;
- Localizar corretamente os panos de vidro, evitando o efeito estufa.

A orientação solar é uma técnica muito importante para a adequação da edificação. Os condicionantes do terreno destacam ainda mais a importância da orientação consciente, do formato da edificação e das aberturas de janelas, ambos essenciais para o projeto de edificações com baixo consumo de energia (KEELER; BURKE, 2010 apud TONIN, 2016).

Segundo Hertz (1998 apud TONIN, 2016) a adequada orientação direcional da edificação pode-se alcançar uma diferença de até 3º C entre a temperatura interna e externa. Isso demonstra a importância da apropriada orientação de um edifício do terreno. A orientação, além da radiação do sol, também influencia no controle dos ventos, ruído e privacidade.

O sombreamento das fachadas é um fator extremamente importante para que uma edificação tenha um bom desempenho térmico. O controle solar é uma tática fundamental, devem-se barrar quando possível, a incidência direta da radiação solar nas paredes externas, ou pelo menos parte delas, seja elas em edificações climatizadas ou não. (CORBELLA E CORNER, 2011).

Em locais onde o clima é predominantemente quente é indispensável proteger o edifício da radiação solar direta, evitando ganhos de calor. Para essa proteção, seja com vegetação ou elementos construídos, é fundamental que se compreenda a trajetória do sol e a época do ano em que se deseja barrar os raios diretos (FROTA E SCHIFFER, 2001).

Outra estratégia é a utilização de ventilação natural, segundo Lamberts *et al.* (2016, p. 36) “a ventilação corresponde uma estratégia de resfriamento natural do ambiente construído através da substituição do ar interno (mais quente) pelo externo (mais frio)”. Já Frota e Schiffer (2001) falam que a ventilação proporciona a renovação do ar do ambiente, tornando muito importante para a higiene em geral e para o conforto térmico de verão em regiões de clima temperado e de clima quente e úmido.

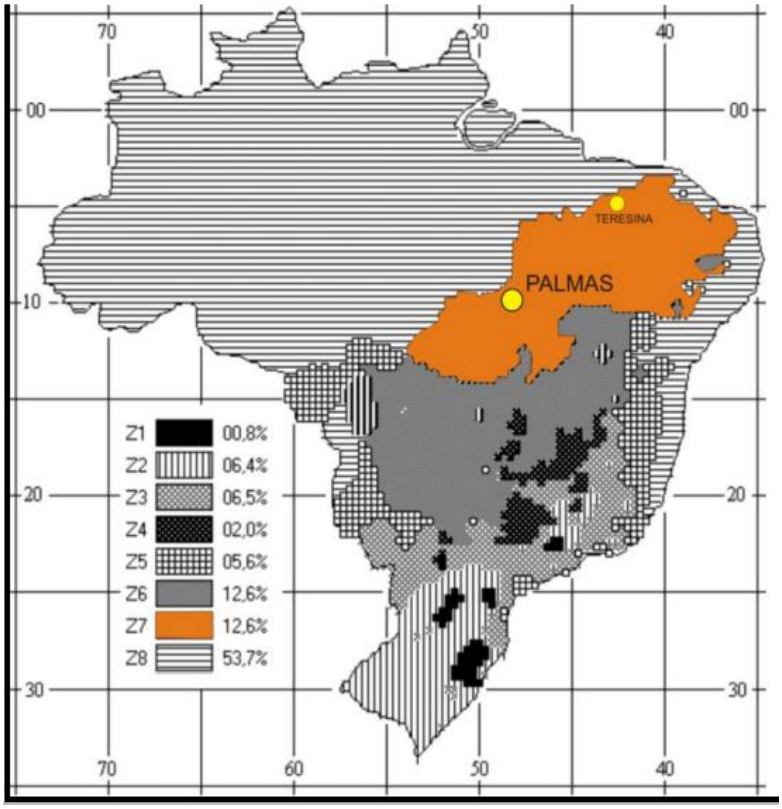
É importante destacar que, dependendo do período do ano, podem ser necessárias estratégias diferentes e, até mesmo, opostas. Assim, é recomendado realizar uma simulação energética anual a fim de encontrar o ponto de otimização em termos de consumo anual de energia ou horas de conforto.

De acordo Maia (2020), após a análise rítmica da cidade de Palmas, verifica-se o emprego do conceito dinâmico do clima, ou seja, os sistemas atmosféricos participantes na decisão para recomendações das estratégias construtivas na medida em que influenciam os elementos climáticos, porque a alteração da temperatura do ar diária, a umidade relativa, a precipitação e insolação diárias influenciaram diretamente na escolha das estratégias.

As estratégias bioclimáticas são organizadas conforme as condições climáticas locais. Elas propõem um melhor o aproveitamento do conhecimento arquitetônico e projetual para que o próprio edifício possa disponibilizar situações adequadas de conforto, sem precisar essencialmente da ativação de sistemas artificiais de resfriamento, aquecimento e iluminação. Desse modo são instrumentos fundamentais para a percepção de projetos mais sustentáveis e com menores gastos de energia (SCHINAZI *et al.*, 2018).

Essas estratégias variam de acordo com a localização do projeto e, consequentemente, o seu clima. Atualmente, o Brasil está dividido em oito zonas bioclimáticas, conforme a NBR 15.220-3, para cada uma das quais são determinadas estratégias que podem ser tomadas para melhor desempenho térmico do edifício. A cidade de Palmas está localizada na zona 7, como mostra a Figura 13.

Figura 13: Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: Paz (2009, p.24), adaptado de ABNT (2005)

As diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 7 devem ser atendidas de acordo como mostra a Tabela 1. Para destacar as principais propriedades térmicas da Z7, é importante saber dos seguintes conceitos:

- Transmitância Térmica (U): a Transmitância Térmica (U) é definida pela NBR 15220 (ABNT, 2005) como sendo o inverso da resistência térmica total do fechamento. Segundo o Labcon (2011), a transmitância térmica determina o fluxo de calor transferido por um sistema construtivo quando há diferentes temperaturas do ar entre dois ambientes (interno-interno ou interno-externo). Quanto maior a transmitância, mais calor é transmitido. Sua unidade é W/(m².K).
- Atraso térmico (φ): é definido pela NBR 15220 (ABNT, 2005) como sendo o "tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor". Ao invés de impossibilitar a entrada de calor como os isolantes, os sistemas construtivos com massa são capazes de atrasar o fluxo. Quanto maior a massa (e o calor específico do

material), mais tempo levará para se aquecer, e com isso, o calor alcançará o interior depois de horas, de modo gradativo (LABCON, 2011). A unidade deste se dá em horas.

- Capacidade Térmica (CT): é definida como sendo a “quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema” (ABNT, 2005a). A unidade é o J/K, mas as normas frequentemente adotam a CT como o quociente da capacidade térmica de um componente pela sua área, cuja unidade é o KJ/(m².K).

Tabela 1: Resumo das diretrizes construtivas definidas pela Norma NBR 15220-3 da Zona Climática 7

Zona	Estratégias		Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas	Paredes			Cobertura		
	Verão	Inverno			U	ϕ	FS0	U	ϕ	FS0
7	Resfriamento evaporativo e inércia térmica para resfriamento / ventilação seletiva nos períodos quentes, em que a temperatura interna seja superior à externa	-	Pequenas 10% < A < 15%	Sombrear aberturas	≤ 2,2 (parede pesada)	≥ 6,5	≤ 3,5	≤ 2,0 (pesada)	≥6,5	≤ 6,5
OBS:	U = Transmitância térmica [W/(m2 .K)]; ϕ – Atraso térmico [horas]; FS0 Fator Solar das Superfícies Opacas [%]									

Fonte: Norma NBR 15220-3, adaptado pela autora (2019).

2.3 Eficiência Energética nas Edificações

A emissão da etiqueta do PBE Edifica é feita pela Eletrobrás, após a avaliação de um Organismo de Inspeção Acreditado (OIA) pelo Inmetro, assim ele é concedido na etapa de projeto e também na edificação concluída. Antes de entregar a documentação ao OIA, o interessado pela obtenção da etiqueta de conformidade deve escolher entre dois métodos de avaliação da eficiência energética: o prescritivo ou o de simulação.

O prescritivo é um método simplificado, que analisa os edifícios através de equações e tabelas. Este observa os requisitos e parâmetros estabelecidos pelo RTQ- C ou RTQ-R (regulamento para edifícios residenciais), avaliando os índices de consumo de energia e conforto térmico planejado para a edificação. Já o método da

simulação compara os parâmetros da edificação proposta (nova ou *retrofit*) com um protótipo de referência em eficiência energética. Essa simulação analisa o consumo de energia anual em função das variações climáticas e dos hábitos de uso. É mais flexível e admite a incorporação de novas tecnologias. Também dá mais liberdade ao projeto e aceita soluções não-previstas nos regulamentos técnicos (CURSINO; NUNOMURA; TRÓI, 2015)

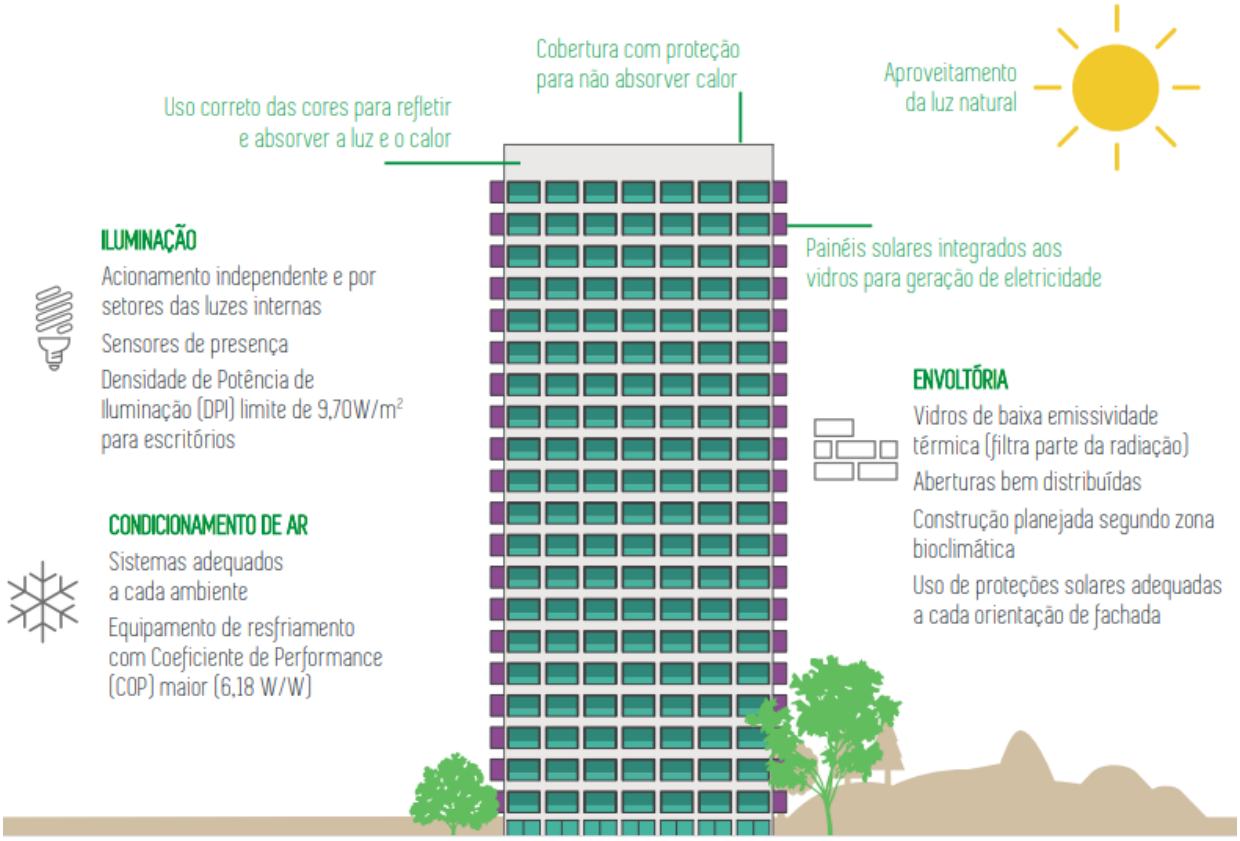
A classificação das edificações do nível A (mais eficiente) até o E (menos eficiente) é feita com base nesse regulamento. A eficiência energética, para ser realmente eficiente, deve estar presente desde o início do projeto de uma edificação ou do planejamento de um *retrofit.* A RTQ-C avalia de maneira separada três grupos principais de requisitos (ver Figura 14) que estabelecem o nível de eficiência da edificação, sendo que cada um desses grupos compõe um peso diferente na edificação, são eles:

• Envoltória = 30%

• Sistema de Iluminação = 30%

• Sistema de Condicionamento de Ar = 40%

Figura 14: Requisitos da eficiência energética em edificações



Fonte: Cursino, Nunomura e Trói (2015, p. 15)

A envoltória corresponde à “pele” da edificação, sendo ela que separa o interior da edificação com o ambiente externo. Para a definição da envoltória, o meio externo exclui a parcela construída no subsolo do edifício, referindo-se exclusivamente às partes construídas acima do solo. Trata-se do conjunto formado pelas fachadas e pela cobertura de uma edificação. Estas superfícies podem ser compostas por elementos opacos ou transparentes. Sendo assim, pode-se garantir que, para que um edifício seja eficiente, é estritamente indispensável que sua envoltória seja eficiente (LIMA, 2017).

A luz natural tem disponibilidade na maior parte das horas do dia, é um dos métodos mais simples e efetivos para se diminuir o consumo da eletricidade, mas não vem sendo utilizada de modo adequado pela maioria dos projetos. Para o RTQ-C, deverá ser priorizada a utilização da iluminação natural em todos os ambientes. A sua utilização correta e eficiente precisaria ser incentivada de forma combinada com a iluminação artificial, assim, ser capazes de diminuir o consumo energético e o de carga térmica (CURSINO; NUNOMURA; TRÓI, 2015).

Os sistemas artificiais para resfriamento ou aquecimento servem para provocar o conforto térmico dos usuários e são essenciais nos casos em que os recursos naturais não sejam capazes de determinar a climatização do ambiente. De acordo com o clima de cada local é inevitável à utilização de ventiladores, aquecedores e ar condicionado. A questão é como tornar o seu emprego eficiente. Mas os aparelhos são um dos grandes vilões no consumo de energia de uma edificação. Quanto mais bem planejada a sua instalação, menores os riscos de haver surpresas desagradáveis na conta de luz após a ocupação do ambiente.É importante notar que as unidades condensadoras devem estar devidamente protegidas da ação do sol para que haja o funcionamento adequado do aparelho, com o gasto de energia previsto (CURSINO; NUNOMURA; TRÓI, 2015).

Para obter a etiqueta e a classificação correspondente da edificação, devem-se levar em conta pré-requisitos específicos e conhecer o procedimento de determinação de eficiência, que serão detalhados a seguir, conforme a Quadro 2.

Quadro 2: Pré-Requisitos para obtenção da etiqueta na Edificação

REQUISITOS	PRÉ-REQUISITOS ESPECÍFICOS			CLASSIFICAÇÃO			
	1	2	3	A	B	C	D
Envoltória	Transmitância térmica da cobertura e de paredes exteriores	Cores e absortância de superfícies	Iluminação zenital	1,2,3 OK	1,2,3 OK	1 OK	1 OK
Iluminação	Divisão dos circuitos	Contribuição da luz natural	Desligamento automático do sistema de iluminação	1,2,3 OK	1,2 OK	1 OK	-
Condicionamento de ar	Isolamento térmico para dutos de ar	Condicionamento por aquecimento artificial	-	1,2 OK	-	-	-

Fonte: Cursino, Nunomura e Trói (2015, p.15), adaptado pela autora (2020)

Já o RTQ-R fornece a classificação da eficiência energética de edificações residenciais, seja uni ou multifamiliar. O regulamento considera dois sistemas: a

envoltória e o sistema de aquecimento de água. Para a envoltória, o sistema é analisado de acordo com seu desempenho para o verão e para o inverno e avaliados conforme a zona bioclimática. Os valores combinados resultam no equivalente numérico da envoltória, que deve ser ponderado também conforme a região geográfica em que se encontra.

Em relação ao aquecimento de água que é outro sistema avaliado no RTQ-R. O peso final desse sistema também depende da região geográfica em que esse se encontra, podendo variar entre 35% para as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, 10% para a região Nordeste e 5% para região Norte, onde por muitas vezes o sistema sequer é usado. Além disso, esse procedimento também prevê uma melhoria de até um ponto na classificação final, decorrente da implementação de avanços para a edificação, as bonificações, que também são estratégias que aumentam a eficiência das unidades habitacionais (PALLADINI, 2016).

Segundo Palladini (2016) a grande diferença entre os dois métodos é a forma de avaliação. Enquanto o RTQ-C avalia a edificação como um todo, o RTQ-R avalia individualmente cada uma das unidades habitacionais.

2.4 Medidas para economia do uso de ar-condicionado

Os dispositivos de condicionamento de ar em edifícios têm como finalidade a moderação da temperatura e, em alguns casos, umidade, pureza e movimentação do ar, num ambiente ou meio delimitado. Sistemas de ar-condicionado precisam ser designados e planejados para assegurar o conforto térmico dos habitantes com a menor utilização de energia.

Como já foi dito nesta pesquisa o uso do ar-condicionado é um grande vilão na conta de energia. Medidas simples de eficiência podem ajudar a reduzir esse consumo, como:

1. Manter o ambiente em uma temperatura de *setpoint (*controle automático para garantir a condição desejada), entre 22°C e 24°C, evita gastos de energia desnecessários e é mais adequado ao corpo humano;
2. Manter portas e janelas fechadas durante o uso do ar-condicionado aperfeiçoa a utilização do mesmo, pois quando abertas provocam perdas,

reduzindo o efeito da climatização e forçando o aparelho a funcionar mais tempo do que realmente é necessário;

3. Desligar o equipamento quando não houver ocupação e em horário de almoço (edificações comerciais);
4. Adquirir no ato da compra, modelos de ar-condicionado que tenham o Selo PROCEL de Economia de Energia com classificação A ou B;
5. Instalar o aparelho em local de boa circulação de ar, evitando o posicionamento de objetos que obstruam a saída e/ou entrada de ar dos equipamentos;
6. Obedecer às dimensões mínimas solicitadas pelo fabricante para a instalação de ar-condicionado de janela e splits;
7. Limpar periodicamente os filtros, pois filtros sujos diminuem a eficiência dos equipamentos e prejudicam a qualidade do ar no ambiente;
8. Proteger a parte externa do aparelho de ar condicionado de janela ou a unidade condensadora do split da incidência do sol, sem bloquear as grades de ventilação;
9. Escolher modelos com tecnologia Inverter, pois possui controle da rotação do motor, sendo mais eficiente em cargas parciais e pode economizar até 40% em relação aos splits convencionais.

2.4.1 Eficiência nos condicionadores de ar

São múltiplos os aspectos a serem considerados para um projeto, compra operação e manutenção eficiente na utilização do ar condicionado, como mostra a Figura 15 a seguir:

Figura 15: Passo a Passo do que o edifício deve considerar

Fonte: SCHINAZI *et al.*, (2018), adaptado pela autora (2020)

2.4.2 Dados do Procel em relação ao consumo de ar-condicionado

O Procel (2019) realiza uma análise denominada Pesquisas de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos junto aos públicos de interesse, ao longo dos anos, com o intuito de conhecer o comportamento, os hábitos, as características de consumo, além do nível de conhecimento sobre eficiência energética da população brasileira. As Tabelas 2, 3 e 4 mostramos resultados da última pesquisa de hábitos

do Procel, até o momento, em relação a utilização de ar-condicionado da região Norte.

Essas pesquisas constituem importante instrumento de gestão, pois seus resultados contribuem na orientação e planejamento das ações do próprio Procel, além de também constar na formulação de diversos planos do setor elétrico como, por exemplo, o Plano Nacional de Eficiência Energética, o Plano Nacional de Energia, o Plano Decenal de Expansão de Energia, entre outros.

Tabela 2: Frequência de Uso do Condicionador de Ar da Região Norte

Especificação	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Intensa – 6 a 7 vezes por semana	85,87%	78,70%	77,66%	79,34%	79,91%	79,90%	79,73%	79,89%	79,19%	80,14%	80,91%	82,25%
Grande – utiliza de 4 a 5 vezes por semana	7,75%	10,47%	8,06%	12,65%	13,72%	13,35%	12,13%	12,53%	13,53%	12,21%	12,26%	11,35%
Média – de 2 a 3 vezes por semana	5,02%	6,86%	11,36%	6,47%	5,47%	5,66%	6,87%	5,78%	5,98%	6,11%	5,52%	5,49%
Pequena – uma vez por semana	0,68%	2,89%	2,20%	0,88%	0,38%	0,51%	0,57%	0,90%	0,61%	0,98%	0,73%	0,53%
Mínima – uma vez a cada 15 dia	0,38%	0,72%	0,35%	0,22%	0,22%	0,14%	0,21%	0,48%	0,34%	0,21%	0,21%	0,15%
Raramente – uma vez por mês	0,15%	0,36%	0,37%	0,29%	0,15%	0,22%	0,21%	0,28%	0,21%	0,14%	0,22%	0,15%
Não sabe/Não respondeu	0,15%	0,00%	0,00%	0,15%	0,15%	0,22%	0,28%	0,14%	0,14%	0,21%	0,15%	0,08%

Fonte: Eletrobrás (2019), adaptada pela autora (2020)

Tabela 3: Percentual de Condicionadores de Ar Utilizados nos Meses do Ano (em média), em Relação ao Total de Aparelhos

Especificação	Região Norte
Não Utiliza	7,97%
Janeiro	75,98%
Fevereiro	76,62%
Março	77,42%
Abril	78,52%
Maio	77,02%
Junho	79,56%
Julho	82,33%
Agosto	82,83%
Setembro	84,06%
Outubro	82,27%
Novembro	79,52%
Dezembro	75,81%

Fonte: Eletrobrás (2019), adaptada pela autora (2020)

Tabela 4: Percentual de Condicionador de ar ligado no período (hora) em relação ao total de aparelhos em edifícios residenciais

Especificação	Região Norte
00:00	47,83%
01:00	46,62%
02:00	44,25%
03:00	39,46%
04:00	33,56%
05:00	27,61%
06:00	18,08%
07:00	6,07%
08:00	2,02%
09:00	0,81%
10:00	0,92%
11:00	1,16%
12:00	2,60%
13:00	3,06%
14:00	3,47%
15:00	3,00%
16:00	2,25%
17:00	1,91%
18:00	5,08%
19:00	8,55%
20:00	15,31%
21:00	30,21%
22:00	49,57%
23:00	50,72%
Eventual	31,37%
Não Utiliza	7,97%

Fonte: Eletrobrás (2019), adaptada pela autora (2020)

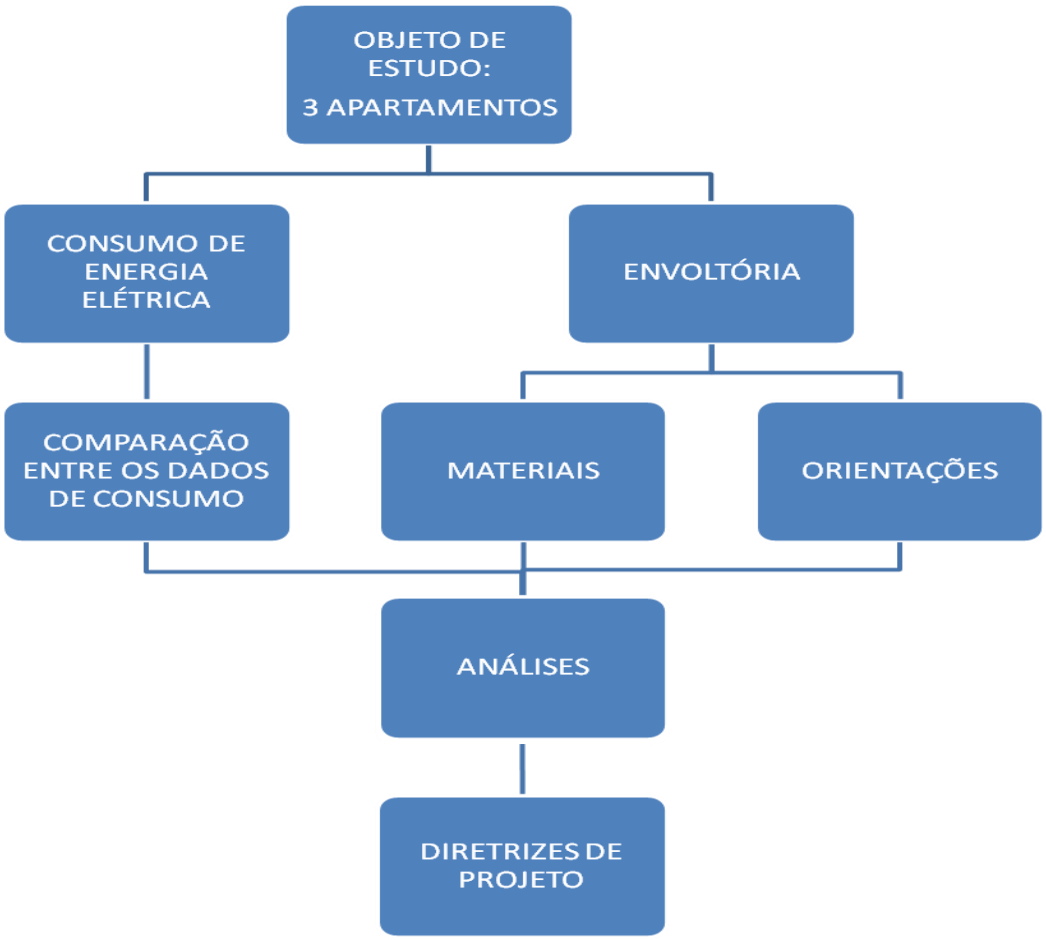
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Em relação aos aspectos metodológicos deste trabalho de conclusão de curso (TCC), considera-se uma pesquisa exploratória, quanto à abordagem prática, e quantitativa, uma vez que trata os dados de consumo de energia elétrica de três apartamentos. Estes dados são expostos em forma de gráficos e tabelas comparativas, tanto do consumo entre si, quanto do consumo relacionado aos materiais da envoltória e orientações das fachadas. Já em relação à natureza, a pesquisa é considerada aplicada, com o objetivo de gerar conhecimentos e solucionar problemas, mostrando a importância da eficiência energética tanto nos equipamentos quanto na edificação.

A metodologia utilizada no trabalho foi dividida em duas etapas. A primeira constitui a revisão bibliográfica sobre o tema eficiência energética e conforto térmico, baseado em livros, revistas, periódicos, dissertações, teses, artigos e publicações relevantes sobre o tema.

A segunda etapa consiste na análise de três apartamentos em um edifício residencial na cidade de Palmas-TO, com orientação solar distinta, em que será estudada se tem alguma relação entre a posição do sol e o consumo de energia. Também será realizada uma estimativa do consumo do ar-condicionado, e posteriormente uma análise da eficiência energética nos apartamentos. A Figura 16 mostra de maneira simplificada os procedimentos metodológicos.

Figura 16: Fluxograma dos procedimentos metodológicos



Fonte: Autora (2020)

3.1 Descrição do objeto de estudo

O estudo em questão será realizado em três apartamentos, no Residencial Mirante du Park, conforme as Figuras 19 e 20, localizado na quadra 306 sul (ver Figura 18), Alameda 3, Lote 15, na cidade de Palmas – TO (ver Figura 17). Os apartamentos são compostos por dois quartos sendo uma suíte, piso em porcelanato polido, banheiro social, sala de estar/jantar com sacada, cozinha e lavanderia, uma vaga de garagem. São 512 apartamentos distribuídos em 4 torres de 16 pavimentos (com 8 apartamentos por pavimento).

Figura 17: Localização de Palmas-TO

Fonte: Adaptado de Mendonça (2021)

Figura 18: Visão geral da quadra 306 sul via satélite

Fonte: Google Maps (2021)

Figura 19: Localização do Residencial Mirante Du Park

Fonte: Google Maps (2020), adaptado pela autora (2020)

Figura 20: Posição dos apartamentos

Fonte: Adaptado pela autora (2020)

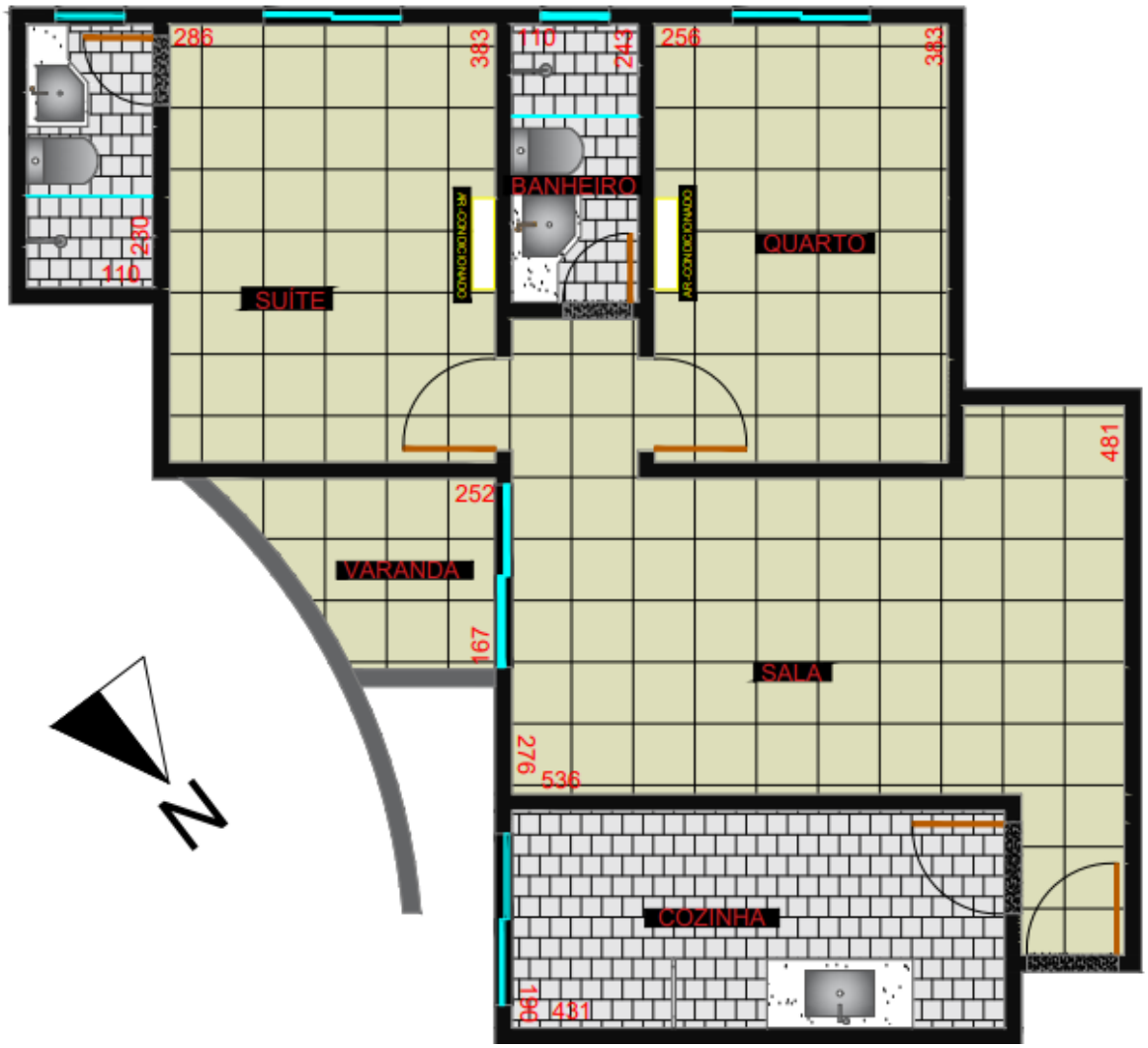
Para facilitar a Figura 21 mostra a disposição dos apartamentos no edifício. A análise será nos apartamentos 1, 2, 5.

Figura 21: Disposição dos apartamentos no edifício

Fonte: Autora (2020)

A orientação solar de cada apartamento é mostrada nas Figuras 22, 23 e 24. Os apartamentos A (5) e C (1) são iguais e possuem área de 62,08 m², já o apartamento B (2) apresenta área de 61,19 m².

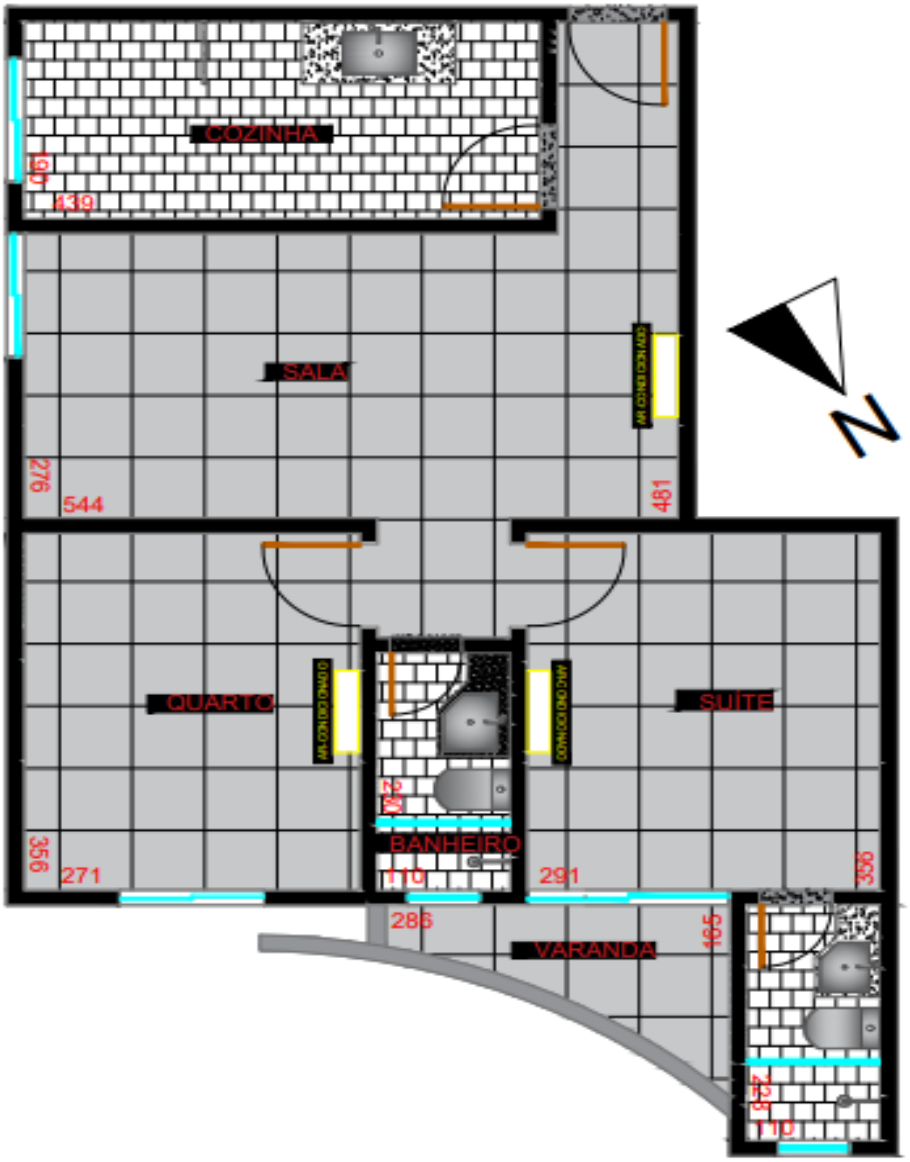
Figura 22: Posição do apartamento A (5)



Fonte: Autora (2020)

O apartamento A está localizado no 5º andar (apartamento 505), no Edifício Arara. Como a comparação é sobre o cosumo do ar-condicionado em que nesse apartamento estão localizados na suíte e no quarto, é importante analisar esses locais, nos quais a orientação incide na radiação solar direta na envoltória. Nota-se que na fachada principal o sol incide nas paredes dos dois ambientes, na direção sudoeste. Já na fachada secundária, os raios solares atingem parte da parede da suíte na direção sudeste.

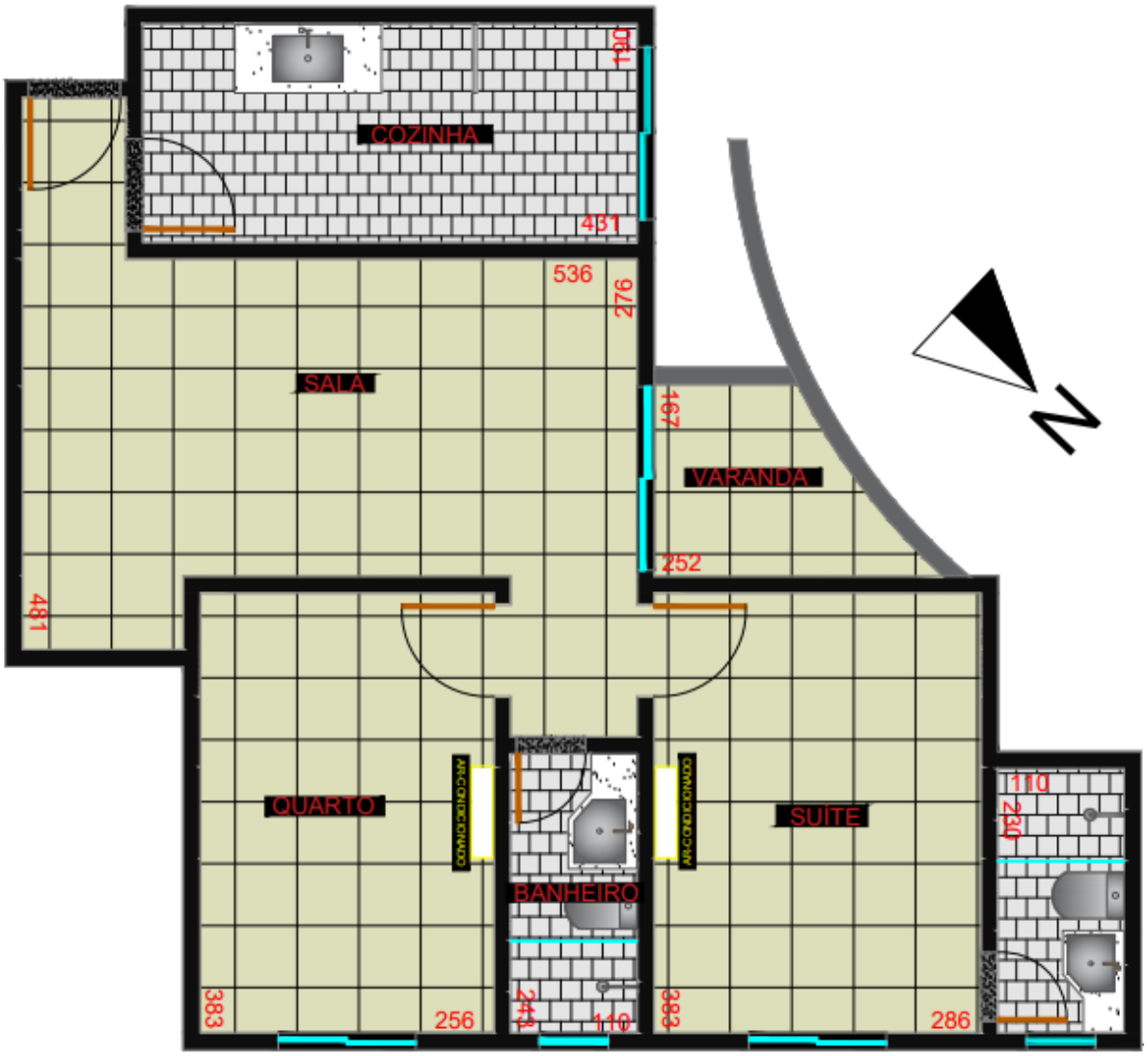
Figura 23: Posição do apartamento B (2)



Fonte: Autora (2020)

O apartamento B também está localizado no 5º andar (apartamento 502), no Edifício Arara, possui três condicionadores de ar localizados na suíte, quarto e sala. Os ambientes que são afetados pela incidência solar são o quarto e a sala, pois fazem parte da fachada principal, envoltória da direção nordeste, enquanto a fachada secundária que está na direção sudeste não recebe raios solares, porque está protegida pela envoltória do apartamento com final 3, impedindo a radiação solar direta.

Figura 24: Posição do apartamento C (1)



Fonte: Autora (2020)

Quanto ao apartamento C, está localizado no 5º andar (apartamento 501), do Edifício Sabiá e contém dois aparelhos de ar-condicionados, um na suíte e o outro no quarto. Relacionado a incidência do sol neste apartamento, nota-se que a envoltória da fachada principal, que abriga a suíte e o quarto, é voltada para a direção nordeste e a fachada secundária, que abrange uma parede da suíte, é voltada a direção noroeste.

3.2 Consumo do ar-condicionado

Diante da impossibilidade do uso de equipamentos apropriados para as medições de consumo dos aparelhos de ar condicionado, buscamos maneiras de promover o cálculo estimativo deste. Assim, para se calcular a estimativa do consumo mensal da utilização do ar-condicionado, é necessário saber o tempo que seu aparelho ficará ligado, tanto em horas por dia quanto em dias por mês. O consumo de energia é dado em kWh/mês, informação essa que está localizada em uma etiqueta no produto, na Procel ou manual de instruções. Então o consumo energético do ar-condicionado pode ser estimado pela seguinte equação:

$$Car = \mathrm{Pe} * \mathrm{Nh} * \mathrm{Nd} \qquad \text{(Equação 1)}$$

Sendo:

Car = Consumo mensal do ar-condicionado;
Pe=Potência do ar-condicionado kW;
Nh= Número de horas por dia que o ar-condicionado ficará ligado;
Nd= Número de dias por mês que você utiliza o aparelho;

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Consumo de energia e estimativa do consumo do ar-condicionado

Inicialmente, foi elaborado um questionário para fazer um levantamento dos eletrodomésticos e a quantidade de moradores (ver Tabela 5). É importante ressaltar que os hábitos dos moradores dos três apartamentos são bem parecidos, uma vez que todos são estudantes e ficam em casa, predominantemente, à noite. Durante o final de semana, o tempo médio fora do apartamento pode diminuir, pois varia bastante, dependendo dos hábitos de cada morador.

Tabela 5: Questionário respondido pelos moradores dos três apartamentos

QUESTIONÁRIO	APART. A	APART. B	APART. C
QUANTIDADE DE MORADORES	1	1	2
PROFISSÃO	ESTUDANTE	ESTUDANTE	ESTUDANTES
TEMPO MÉDIO FORA DO APARTAMENTO (HORAS)	8	6	8
QUANTIDADE DE AR-CONDICIONADO	2	3	2
QUANTIDADE DE GELADEIRA	1	1	1
QUANTIDADE DE APARELHO DE TELEVISÃO	1	1	1
QUANTIDADE DE VENTILADOR	1	1	0
QUANTIDADE DE MICROONDAS	1	1	1
QUANTIDADE DE CHUVEIRO ELÉTRICO	2	2	2
QUANTIDADE DE NOTEBOOK	1	1	2
QUANTIDADE DE MÁQUINA DE LAVAR ROUPA	1	1	1

Fonte: Autora (2020)

Após o questionário, os moradores disponibilizaram o consumo de energia dos respectivos apartamentos (ver Tabela 6), referente ao ano de 2019.

Tabela 6: Consumo dos Apartamentos A, B e C

MÊS	CONSUMO Kw		
	APARTAMENTO A	APARTAMENTO B	APARTAMENTO C
jan/19	132	49	310
fev/19	111	121	332
mar/19	82	179	403
abr/19	177	261	405
mai/19	208	223	520
jun/19	153	290	528
jul/19	137	137	356
ago/19	131	209	418
set/19	358	256	608
out/19	307	305	495
nov/19	222	288	354
dez/19	178	167	390

Fonte: Autora (2020)

Os apartamentos A e B apresentam somente um morador, já o apartamento C tem dois moradores, logo, para facilitar a comparação do consumo de energia, é necessário analisar o consumo por pessoa. Assim, o consumo do apartamento C será dividido por dois, pois é a quantidade de moradores, como mostra a Tabela 7. Outro fato importante de ressaltar é que a conta de energia é menor nos meses de janeiro/fevereiro e julho/agosto, em decorrência das férias.

Tabela 7: Consumo por pessoa dos Apartamentos A, B e C

MÊS	CONSUMO kW/pessoa		
	APARTAMENTO A	APARTAMENTO B	APARTAMENTO C
jan/19	132	49	155
fev/19	111	121	166
mar/19	82	179	201,5
abr/19	177	261	202,5
mai/19	208	223	260
jun/19	153	290	264
jul/19	137	137	178
ago/19	131	209	209
set/19	358	256	304
out/19	307	305	247,5
nov/19	222	288	177
dez/19	178	167	195

Fonte: Autora (2020)

4.2 Relação do consumo com as variações climáticas do ano de 2019

A cidade de Palmas é caracterizada pelo o clima tropical quente e úmido, tendo duas estações bem definidas, uma seca (maio a setembro) e a outra chuvosa (outubro a abril). Durante o ano inteiro, o clima é quente (ver Gráficos 1 e 2). A temperatura máxima do ano de 2019 foi de 40,8ºC no dia 13 de setembro já a temperatura mínima foi de 19,5 ºC no dia 20 de janeiro (INMET, 2020).

Gráfico 1: Temperatura Média (ºC) de Palmas-TO no ano de 2019

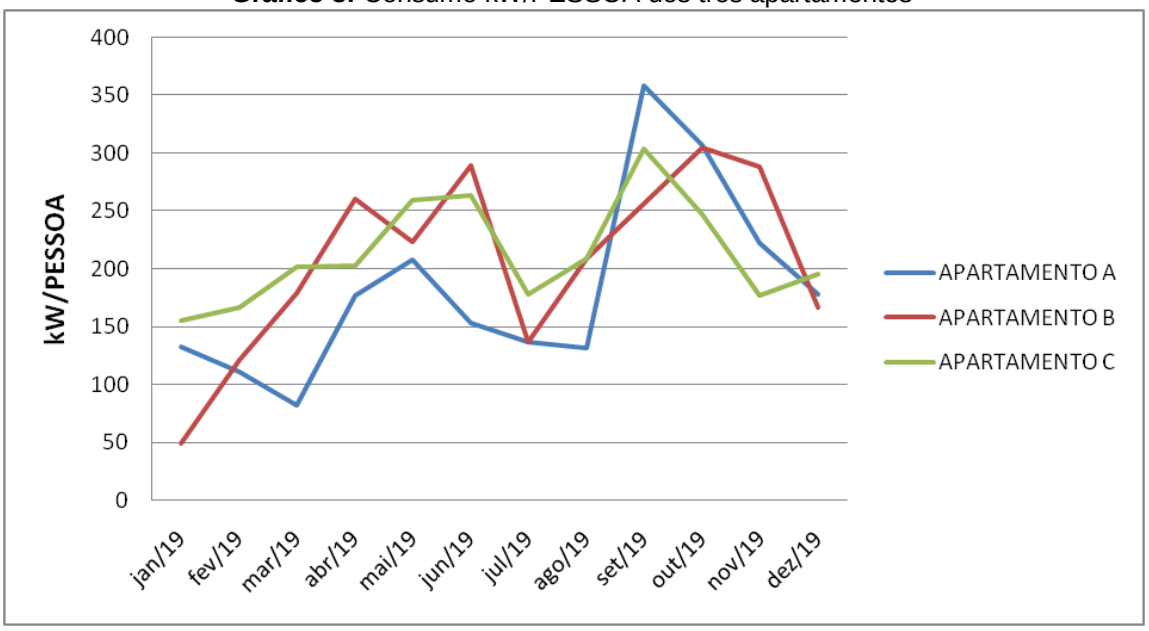
Fonte: Inmet (2020)

Gráfico 2: Radiação solar (kj/m²) de Palmas-TO no ano de 2019

Fonte: Inmet (2020)

Ao observar os gráficos anteriores nota-se que os meses de agosto e setembro são os que apresentam temperatura média mais elevada, ou seja, são os meses mais quentes do ano. Se comparar com o consumo por pessoa dos apartamentos (ver Gráfico 3), observa-se um crescimento no consumo de energia nesses respectivos meses.

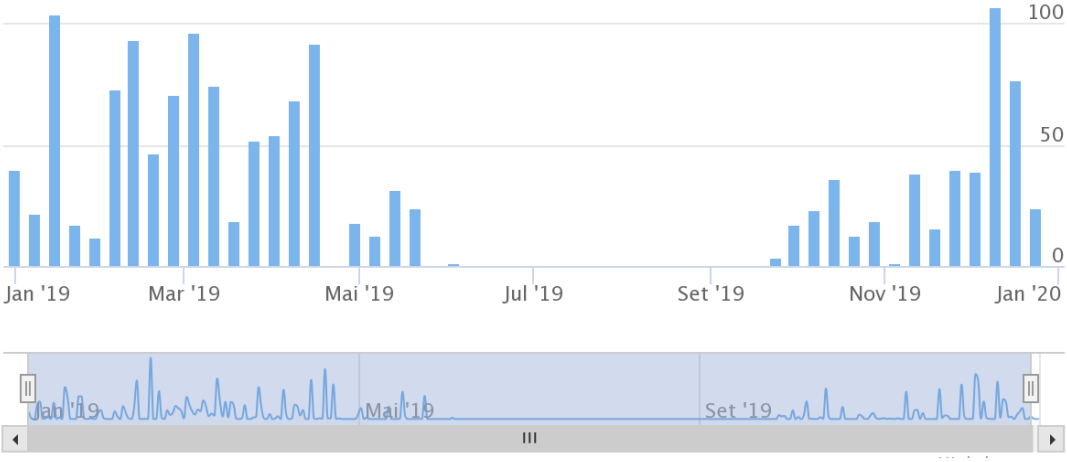
Gráfico 3: Consumo kW/PESSOA dos três apartamentos



Fonte: Autora (2020)

Em relação à precipitação do ano de 2019, a capital ficou sem chuva por mais de três meses – de 5 de junho a 28 de setembro – o período mais chuvoso ocorreu nos meses de dezembro a abril, como mostra o Gráfico 4 a seguir (INMET, 2020). É importante ressaltar que, no decorrer do ano, o período de maior consumo de energia ocorre no período seco ou de estiagem.

Gráfico 4: Precipitação (mm) de Palmas- TO no ano de 2019



Fonte: Inmet (2020)

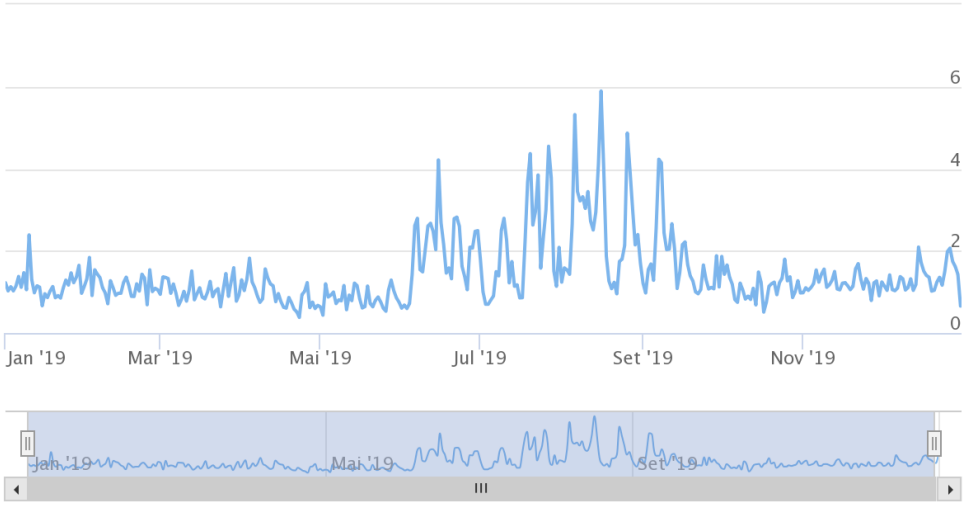
Ao observar os gráficos 3 e 4, nota-se que nos meses de agosto e setembro quase não ocorreu precipitação, coincidindo com os meses em que houve um aumento na conta de energia.

A média de umidade relativa atingiu o máximo de 91,8%, no dia 10 de março, e o mínimo de 12%, no dia 20 de agosto, com maiores valores de janeiro a março e menores em agosto e setembro, como mostra o Gráfico 5 (INMET, 2020). A velocidade média dos ventos é maior nos meses de agosto e setembro, e mínima em março e abril (ver Gráfico 6).

Gráfico 5: Umidade média (%) de Palmas -TO no ano de 2019

Fonte: Inmet (2020)

Gráfico 6: Velocidade do vento (m/s) de Palmas -TO no ano de 2019



Fonte: Inmet (2020)

Então, a partir dessa análise climatológica da cidade de Palmas, no ano de 2019, observa-se que há um desconforto gerado principalmente pelo calor, por apresentar temperaturas e radiação solar elevada durante o ano todo. Ficou mais de três meses sem chuva, consequentemente a umidade diminuiu nesses meses.

Em relação aos ventos máximos, estes são nos meses que apresentam maior temperatura. Por esses motivos, a utilização do ar-condicionado é muito importante para gerar esse conforto térmico.

4.3 Relação do consumo com os dados do Procel

Para calcular o consumo do ar-condicionado é necessário, inicialmente, saber a quantidade de tempo de utilização do aparelho, dado esse que foi levantado junto aos moradores dos respectivos apartamentos. Também foram observadas as etiquetas dos condicionadores de ar para identificar o consumo kW/h (ver Quadros 3 e 4).

É importante ressaltar que todos os condicionadores de ar apresentam etiqueta de eficiência “A”. O apartamento A apresenta o aparelho mais eficiente, pois seu consumo de energia em kWh/mês é menor comparado aos demais apartamentos, ou seja, consome menos energia comparando o mesmo tempo que fica ligado os equipamentos.

O apartamento B apresenta três condicionadores de ar, distinguindo dos outros apartamentos que contém somente dois. Além disso, o terceiro aparelho do

apartamento B está localizado na sala e tem capacidade de resfriamento de 12.000 BTUs, os demais são de 9.000 BTUs.

Quadro 3: Etiqueta dos condicionadores de ar

Apart.	Suíte	Quarto	Sala/Estar
A			x
B			
C			x

Fonte: Autora (2020)

Quadro 4: Informações dos condicionadores de ar

	Quant.	Marca	Capacidade de Resfriamento	Classificação	Consumo de energia em kWh/mês	Ambiente
Apart. A	2	Carrier	9.000 BTUs	A	15,9	Suíte
		Carrier	9.000 BTUs	A	15,9	Quarto
Apart. B	3	Springer	9.000 BTUs	A	17,1	Suíte
		Springer	9.000 BTUs	A	17,1	Quarto
		Springer	12.000 BTUs	A	22,8	Sala/Estar
Apart. C	2	Eletrolux	9.000 BTUs	A	17,1	Suíte
		Eletrolux	9.000 BTUs	A	17,1	Quarto

Fonte: Autora (2020)

Depois foi perguntado para cada morador o tempo médio de horas que o ar-condicionado ficava ligado por dia, e então se realizou a estimativa desse tempo por dia. Também foi questionada a quantidade de dias por mês que o aparelho ficava ligado. A maioria dos meses os moradores mantém ligado todos os dias, quando há uma redução dos dias é por causa do período de férias ou feriados.

Vale ressaltar que os moradores podem usar mais ou menos dependendo do dia, então um horário médio foi estipulado, principalmente no final de semana pelo fato de não haver uma rotina. A partir dos dados obtidos pelos moradores fez-se uma estimativa do consumo do ar-condicionado em cada apartamento (ver Tabela 8).

Tabela 8: Estimativa do consumo do ar-condicionado em cada apartamento

Mês	Número de horas por dia que o ar-condicionado fica ligado				Número de dias por mês que você utiliza o aparelho			Consumo de energia em kWh do ar-condicionado				Estimativa do consumo do ar-condicionado em kW		
	A	B		C				A	B		C			
	ST/ QT	ST /Q T	SL	ST/ QT	A	B	C	ST/ QT	ST/ QT	SL	ST/ QT	A	B	C
jan/ 19	6	0	0	18	15	0	20	0,53	0,57	0,76	0,57	47,7	0	205,2
fev/ 19	3	3	1	14	28	28	28	0,53	0,57	0,76	0,57	44,52	69,16	223,44
mar/ 19	2	6	1	20	20	25	25	0,53	0,57	0,76	0,57	21,2	104,5	285
abr/ 19	7	8	2	18	30	30	30	0,53	0,57	0,76	0,57	111,3	182,4	307,8
mai/ 19	8	6	2	24	31	31	31	0,53	0,57	0,76	0,57	131,44	153,14	424,08
jun/ 19	5	10	2	26	30	30	30	0,53	0,57	0,76	0,57	79,5	216,6	444,6
jul/ 19	8	8	2	22	15	10	20	0,53	0,57	0,76	0,57	63,6	60,8	250,8
ago/ 19	8	8	2	18	15	25	30	0,53	0,57	0,76	0,57	63,6	152	307,8
set/ 19	16	8	2	28	30	30	30	0,53	0,57	0,76	0,57	254,4	182,4	478,8
out/ 19	14	10	2	22	31	31	30	0,53	0,57	0,76	0,57	230,02	223,82	376,2
nov/ 19	9	10	2	14	30	30	30	0,53	0,57	0,76	0,57	143,1	216,6	239,4
dez/ 19	7	7	1	20	30	20	25	0,53	0,57	0,76	0,57	111,3	95	285

Obs: ST= Suíte; QT= Quarto; SL= Sala
O apartamento C apresenta dois moradores e o apartamento B tem ar-condicionado na sala.

Fonte: Autora (2020)

Para compreender melhor como foi feito o cálculo da estimativa do consumo do ar-condicionado, será demonstrado a seguir como foi calculado o mês de janeiro dessa estimativa. Mais uma vez vale destacar que o apartamento B apresenta duas colunas pelo fato de que o ar-condicionado da sala difere o consumo kWh/mês, em que já foi mostrado na Tabela 8.

Estimativa do consumo no mês de janeiro do apartamento A:

$$Apart.A = 6\ horas\ x\ 15\ dias\ x\ \frac{15{,}9\ kWh/mês}{30\ dias} = 6\ x\ 15\ x\ 0{,}53 = 47{,}7\ kW$$

Estimativa do consumo no mês de janeiro do apartamento B:

$$Apart.C = 0\ horas\ x\ 0\ dias\ x\ \frac{17{,}1\frac{kWh}{mês}}{30\ dias} + 0\ horas\ x\ 0\ dias\ x\ \frac{22{,}8\frac{kWh}{mês}}{30\ dias}$$

$$Apart.B = 0\ x\ 0{,}57 + 0\ x\ 0{,}76 = 0\ kW$$

Estimativa do consumo no mês de janeiro do apartamento C:

$$Apart.A = 18\ horas\ x\ 20\ dias\ x\ \frac{17{,}1\ kWh/mês}{30\ dias} = 18\ x\ 20\ x\ 0{,}76 = 205{,}2\ kW$$

Em seguida, calculou-se a porcentagem do ar-condicionado em relação ao consumo total de energia (ver Tabela 9).

Tabela 9: Porcentagem do consumo do ar-condicionado em relação ao consumo de energia

Mês	**CONSUMO kW**			**Estimativa do consumo do ar-condicionado em kW**			**Porcentagem do consumo do ar-condicionado em relação ao consumo de energia**		
	A	**B**	**C**	**A**	**B**	**C**	**A**	**B**	**C**
jan/19	132	49	310	47,7	0	205,2	**36,14%**	**0,00%**	**66,19%**
fev/19	111	121	332	44,52	69,16	223,44	**40,11%**	**57,16%**	**67,30%**
mar/19	82	179	403	21,2	104,5	285	**25,85%**	**58,38%**	**70,72%**
abr/19	177	261	405	111,3	182,4	273,6	**62,88%**	**69,89%**	**67,56%**
mai/19	208	223	520	131,44	153,14	388,74	**63,19%**	**68,67%**	**74,76%**
jun/19	153	290	528	79,5	216,6	410,4	**51,96%**	**74,69%**	**77,73%**
jul/19	137	137	356	63,6	60,8	250,8	**46,42%**	**44,38%**	**70,45%**
ago/19	131	209	418	63,6	152	296,4	**48,55%**	**72,73%**	**70,91%**
set/19	358	256	608	254,4	182,4	478,8	**71,06%**	**71,25%**	**78,75%**
out/19	307	305	495	230,02	223,82	376,2	**74,93%**	**73,38%**	**76,00%**
nov/19	222	288	354	143,1	216,6	239,4	**64,46%**	**75,21%**	**67,63%**
dez/19	178	167	390	111,3	95	285	**62,53%**	**56,89%**	**73,08%**

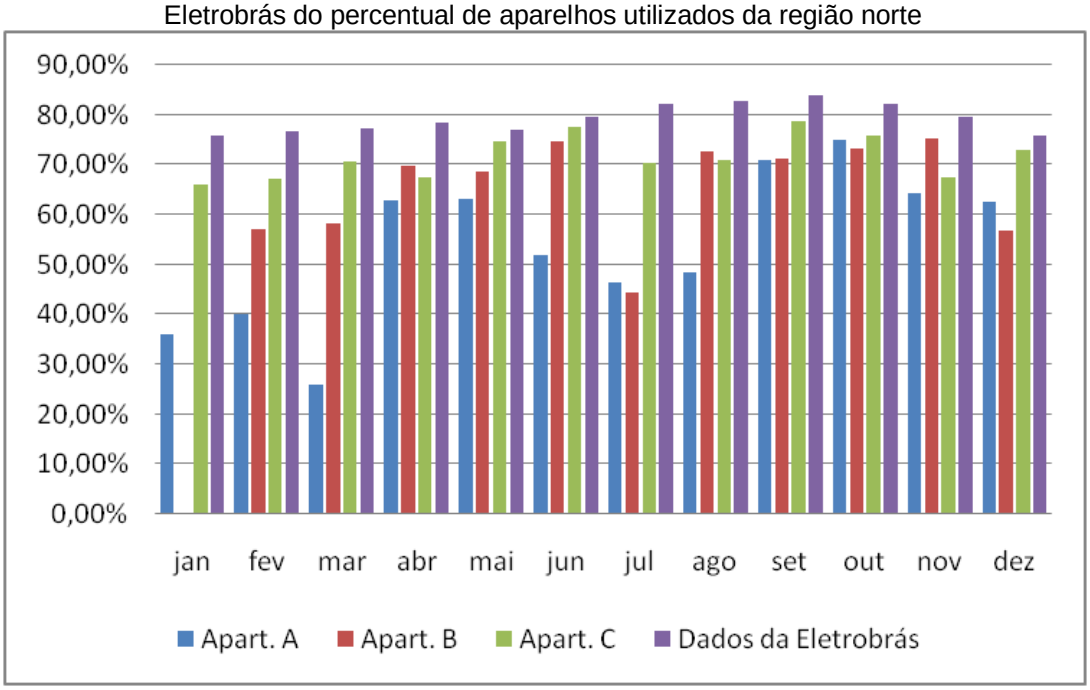
Fonte: Autora (2020)

Ao analisar as Tabela 8 e 9 nota-se que o consumo do ar-condicionado é bem significativo em relação ao consumo total de energia. Isso ocorre principalmente por causa da elevada temperatura da cidade de Palmas.

É importante destacar que esse consumo depende muito também das condições do ambiente em que são instalados. Locais onde há grande incidência do sol, janelas de vidros sem cortinas ou locais com grande concentração de pessoas contribuem para o aumento da carga de trabalho do aparelho para manter o locar resfriado na temperatura desejada, e, dessa forma, o consumo de energia tende a aumentar também.

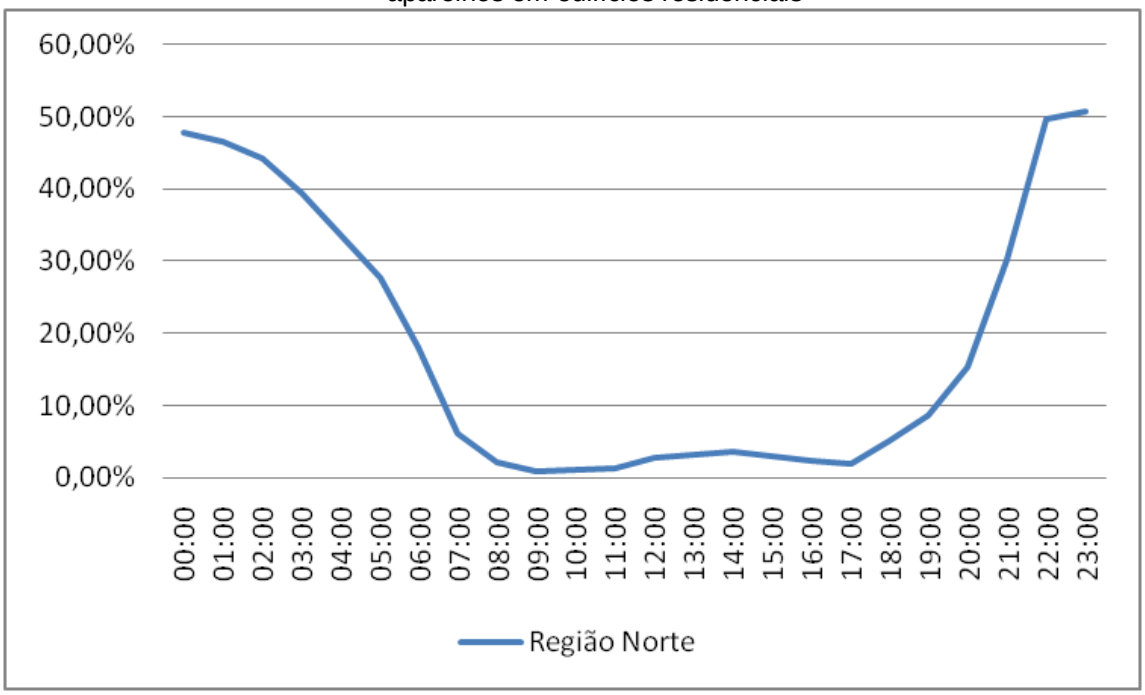
A partir das Tabelas 3 e 9 foi feito o Gráfico 7 comparando as porcentagens do consumo de energia somente do uso de ar-condicionado e o percentual de pessoas quem usam o aparelho na região norte a cada mês de acordo com a pesquisa da Eletrobrás. Já o Gráfico 8 refere ao percentual de ar-condicionado ligados a cada hora do dia em relação ao total de aparelhos em edifícios residenciais.

Gráfico 7 - Porcentagem consumo dos condicionadores de ar dos apartamentos e os dados da Eletrobrás do percentual de aparelhos utilizados da região norte



Fonte: Autora (2020)

Gráfico 8: Percentual de Condicionadores de ar ligados no período (hora) em relação ao total de aparelhos em edifícios residenciais



Fonte: Autora (2020)

A partir dos dados expostos dos apartamentos dos hábitos de consumo da região norte, nota-se que as pessoas utilizam mais o ar-condicionado nos meses de julho a outubro. O horário que mais se utiliza o condicionador de ar é à noite das 21 às 5 horas da manhã, porque normalmente as pessoas passam o dia fora de casa. Uma média de 80% utiliza todos os dias da semana ou pelo menos seis dias da semana.

Ao fazer uma comparação entre os dados obtidos nesta pesquisa e dados expostos pela Eletrobrás (2019) dos hábitos de consumo da região norte, confirma-se o frequente consumo do ar-condicionado por parte da população, neste período do ano e horários do dia.

4.6 Relação do consumo do ar-condicionado com a orientação dos apartamentos

Para simplificar a análise da orientação solar dos apartamentos foi feito o Quadro 5 a seguir.

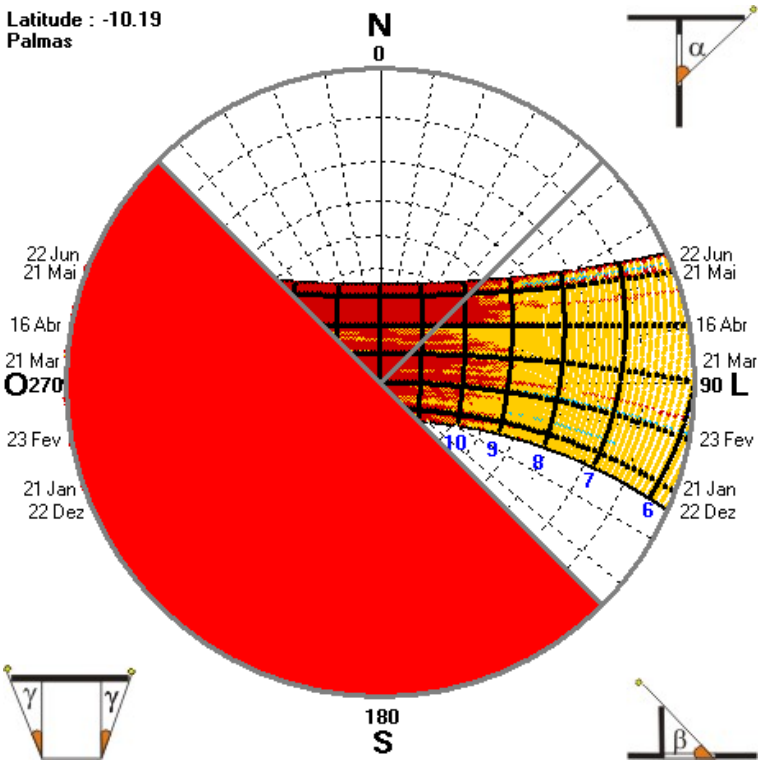
Quadro 5: Resumo das orientações dos apartamentos

FACHADA PRINCIPAL	**Apartamento A**	**Apartamento B**	**Apartamento C**
DIREÇÃO	SUDOESTE	NORDESTE	NORDESTE
RADIAÇÃO SOLAR	SUÍTE/QUARTO	QUARTO/SALA	SUÍTE/QUARTO
FACHADA SECUNDÁRA	**Apartamento A**	**Apartamento B**	**Apartamento A**
DIREÇÃO	SUDESTE	-	NOROESTE
RADIAÇÃO SOLAR	SUÍTE		SUÍTE

Fonte: Autora (2020)

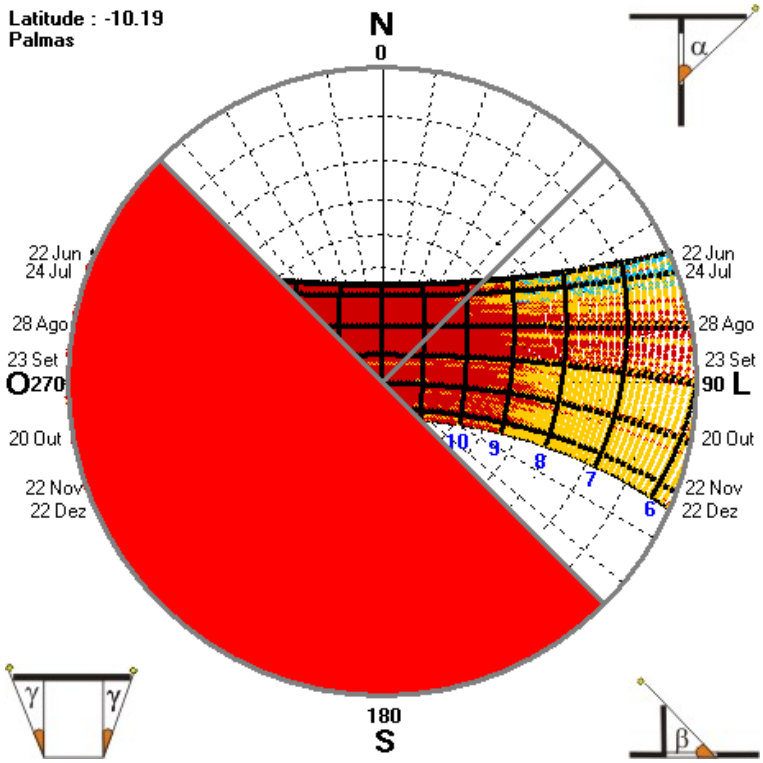
Para demonstrar a trajetória do sol em cada fachada, foi utilizada a carta solar, obtida a partir do programa Analysis Sol-ar, que ilustra de forma simples esta trajetória, como pode se ver nas Figuras (25 a 32) a seguir.

Figura 25: Carta solar da trajetória do sol na fachada nordeste (até 21 de junho)



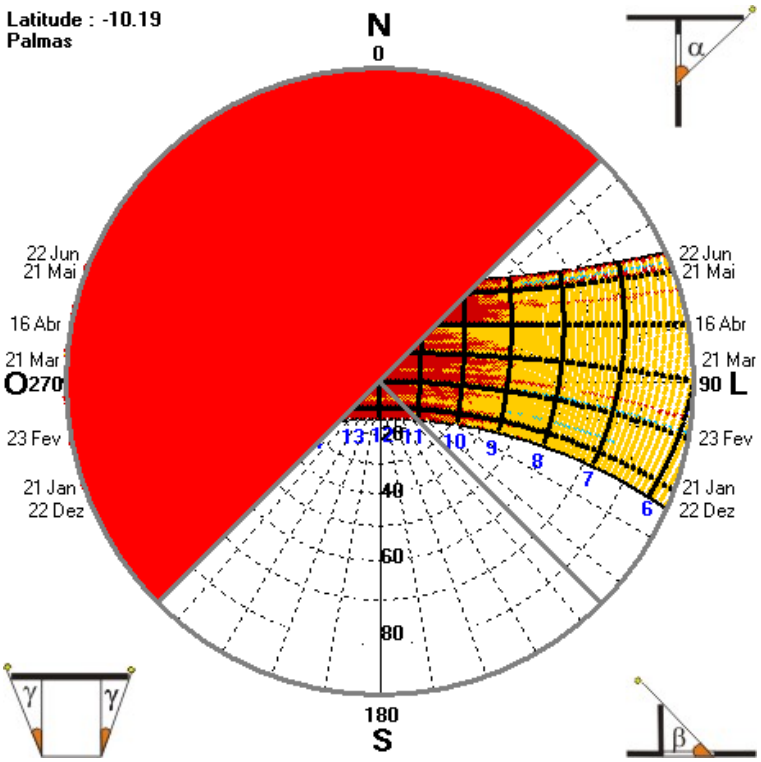
Fonte: Programa analysis sol-ar (2020)

Figura 26: Carta solar da trajetória do sol na fachada nordeste (após 21 de junho)



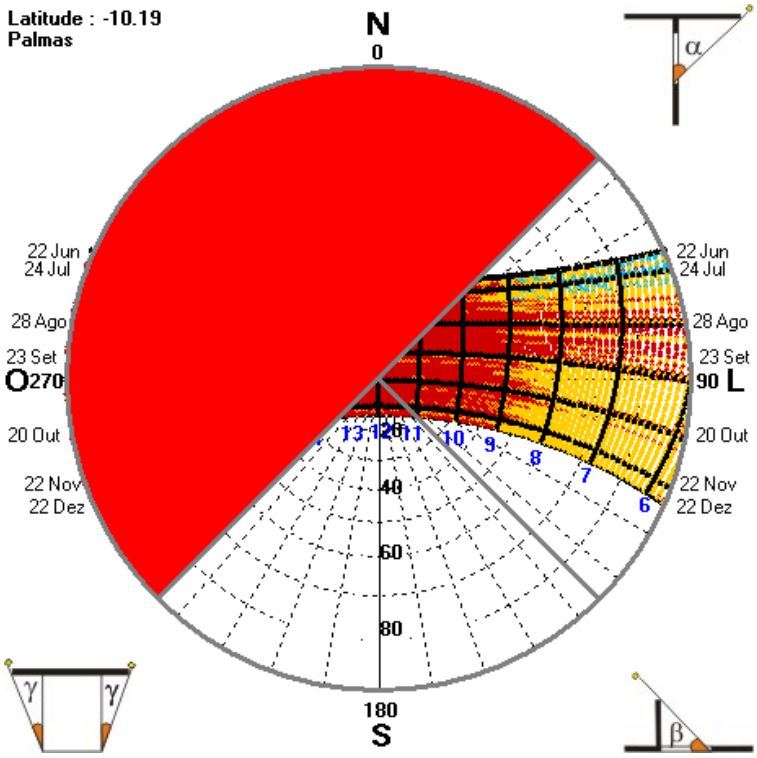
Fonte: Programa analysis sol-ar (2020)

Figura 27: Carta solar da trajetória do sol na fachada sudeste (até 21 de junho)



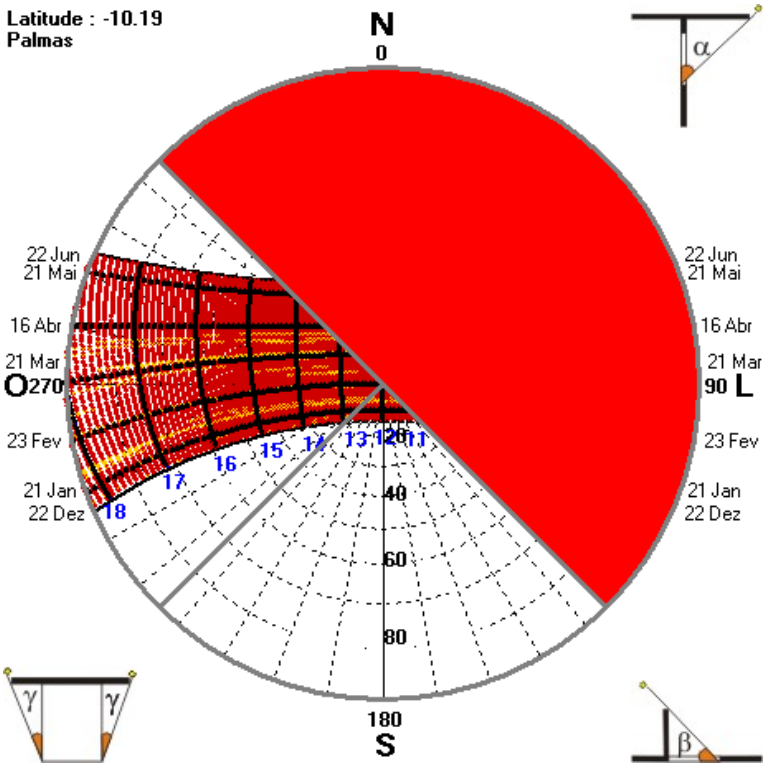
Fonte: Programa analysis sol-ar (2020)

Figura 28- Carta solar da trajetória do sol na fachada sudeste (após 21 de junho)



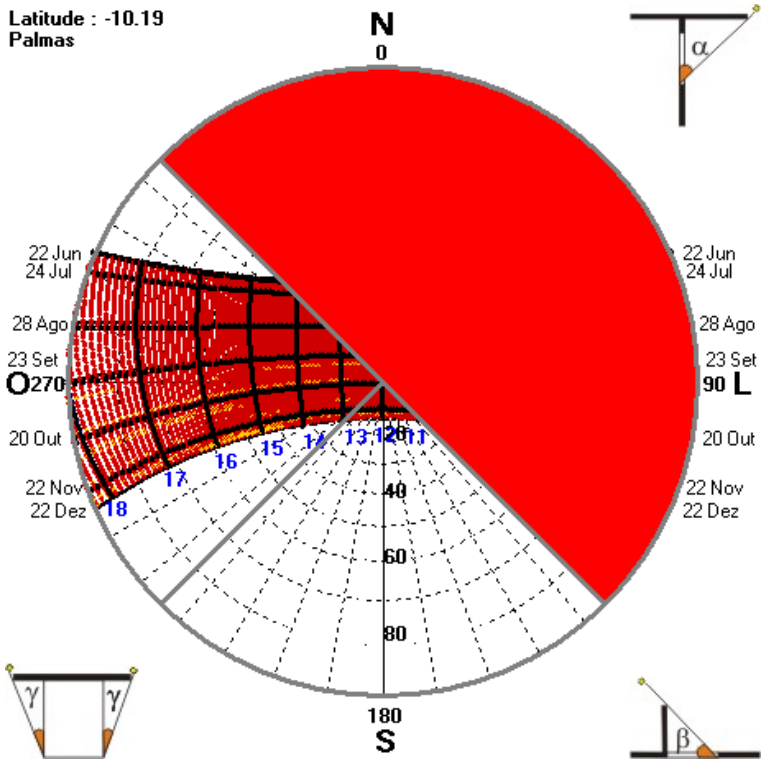
Fonte: Programa analysis sol-ar (2020)

Figura 29: Carta solar da trajetória do sol na fachada sudoeste (até 21 de junho)



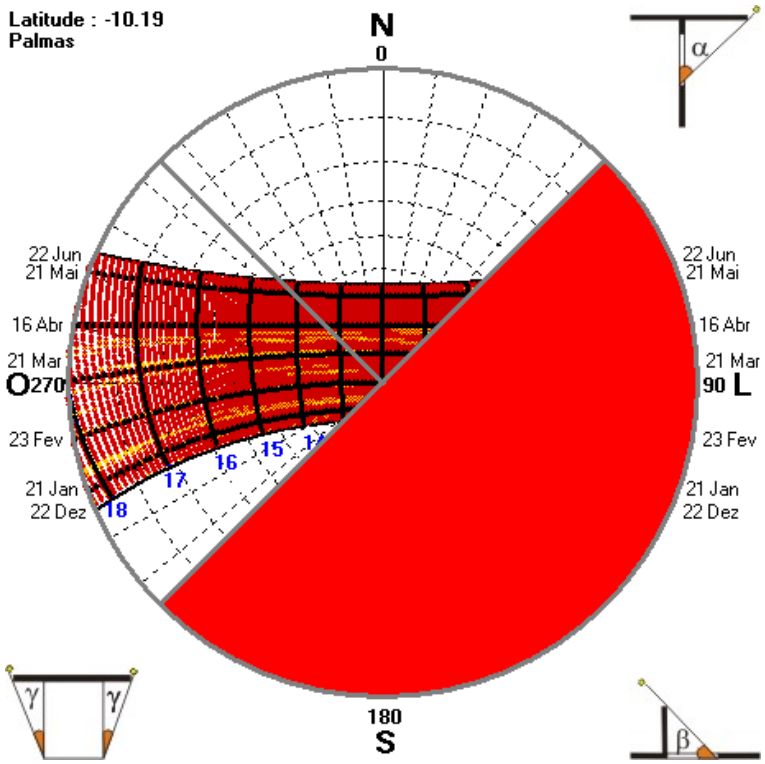
Fonte: Programa analysis sol-ar (2020)

Figura 30: Carta solar da trajetória do sol na fachada sudeste (após 21 de junho)



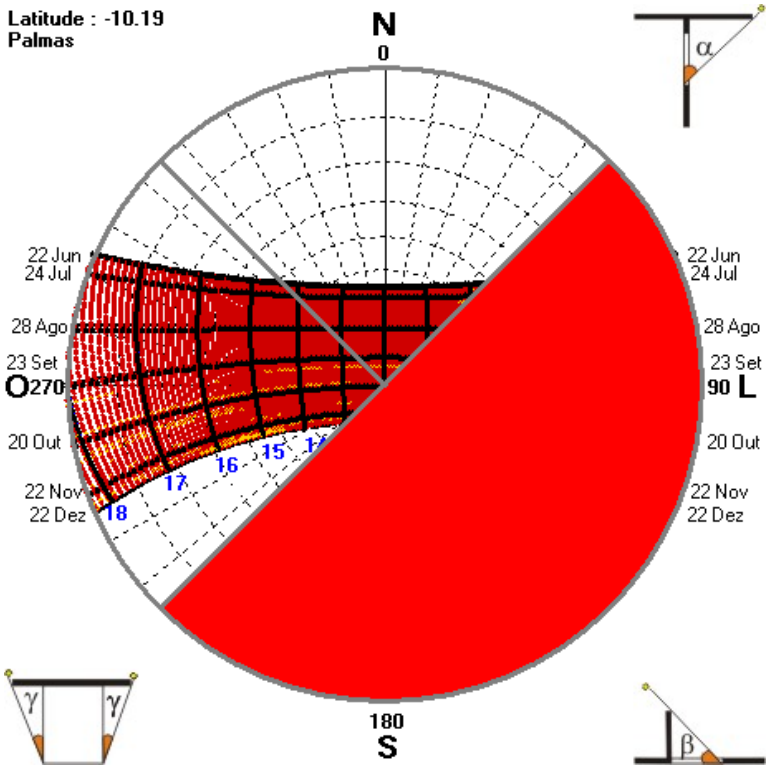
Fonte: Programa analysis sol-ar (2020)

Figura 31: Carta solar da trajetória do sol na fachada noroeste (até 21 de junho)



Fonte: Programa analysis sol-ar (2020)

Figura 32: Carta solar da trajetória do sol na fachada noroeste (após 21 de junho)



Fonte: Programa analysis sol-ar (2020)

Ao analisar as cartas solares nota-se que no apartamento A, a fachada principal está na direção sudoeste e obtém insolação mais frequente durante a tarde, mas isso depende do mês. Por exemplo, os meses de maio, junho e julho a radiação solar começa mais tarde nessa fachada por volta das 14 horas da tarde. Já o na fachada sudeste a radiação solar é mais constante no período da manhã, porém em alguns meses do ano como maio, junho e julho a incidência do sol é somente até às 10 horas da manhã.

Já nos apartamentos B e C, as fachadas principais estão voltadas para nordeste, recebe incidência solar principalmente pela manhã e dependendo do mês do ano obtém também insolação no início da tarde, como por exemplo, os meses de maio, junho e julho a radiação solar vai até umas 14 horas da tarde.

O apartamento C também tem fachada secundária na direção noroeste, em que recebe radiação solar especialmente no período vespertino, porém nos meses de maio, junho e julho essa incidência solar começa às 10 horas da manhã.

Em relação à fachada secundária do apartamento B está voltada a direção sudeste, mas não recebe raios solares, porque está protegida pela envoltória de outro apartamento impedindo a radiação solar direta.

Para ter uma análise mais detalhada a Tabela 10 mostra a porcentagem do consumo de ar-condicionado por mês, assim posteriormente será feito as comparações desse consumo com a respectiva orientação solar de cada apartamento.

Tabela 10: Porcentagem do consumo do ar-condicionado por pessoa

Mês	**CONSUMO kW/PESSOA**			**Estimativa do consumo do ar-condicionado em kW**			**Porcentagem do consumo do ar-condicionado em relação ao consumo de energia**		
	A	**B**	**C**	**A**	**B**	**C**	**A**	**B**	**C**
jan/19	132	49	155	47,7	0	102,6	**36,14%**	**0,00%**	**66,19%**
fev/19	111	121	166	44,52	69,16	111,72	**40,11%**	**57,16%**	**67,30%**
mar/19	82	179	201,5	21,2	104,5	142,5	**25,85%**	**58,38%**	**70,72%**
abr/19	177	261	202,5	111,3	182,4	136,8	**62,88%**	**69,89%**	**67,56%**
mai/19	208	223	260	131,44	153,14	194,37	**63,19%**	**68,67%**	**74,76%**
jun/19	153	290	264	79,5	216,6	205,2	**51,96%**	**74,69%**	**77,73%**
jul/19	137	137	178	63,6	60,8	125,4	**46,42%**	**44,38%**	**70,45%**
ago/19	131	209	209	63,6	152	148,2	**48,55%**	**72,73%**	**70,91%**
set/19	358	256	304	254,4	182,4	239,4	**71,06%**	**71,25%**	**78,75%**
out/19	307	305	247,5	230,02	223,82	188,1	**74,93%**	**73,38%**	**76,00%**
nov/19	222	288	177	143,1	216,6	119,7	**64,46%**	**75,21%**	**67,63%**
dez/19	178	167	195	111,3	95	142,5	**62,53%**	**56,89%**	**73,08%**

Fonte: Autora (2020)

Nos meses de janeiro a março, o apartamento C teve o maior consumo de energia, consequentemente, a maior porcentagem de utilização de condicionadores de ar. Neste apartamento, a fachada está na direção nordeste e noroeste, em que a radiação solar na fachada principal ficou das 6 horas da manhã até mais ou menos 12 horas, já a secundária uma média das 11h30min a 18 horas.

Nos meses de abril e junho o apartamento B obteve o maior consumo de energia, isso pode ter ocorrido pelo fato direção nordeste recebe insolação pela manhã e no início da tarde até umas 14 horas. Outro motivo que pode ter levado o apartamento B ter o maior consumo é por causa do hábito de consumo do morador e também pelo fato de ele ter ar-condicionado na sala com uma etiqueta menos eficiente que as demais.

Nos meses de maio e julho o apartamento C teve o maior consumo de energia, isso pode ter ocorrido, pois a fachada nordeste nesses meses recebe radiação solar até umas 14 horas e a fachada noroeste a incidência do sol começa mais cedo por volta das 10 horas da manhã e vai até às 18 horas.

Nos meses de setembro e outubro o apartamento A teve o maior consumo de energia. Isso pode ter acontecido, pois a fachada sudoeste a radiação solar ocorre por volta das 12 às 18 horas, já a fachada sudeste a insolação vai das 6 as 12 mais ou menos.

No mês de novembro apartamento B teve o maior consumo de energia, recebe radiação solar até 11h30min mais ou menos. Já no mês de dezembro o apartamento C teve o maior consumo de energia, pois recebe insolação ao longo do dia, na fachada nordeste pela manhã e na noroeste pela tarde.

Ao analisar o consumo de energia durante os meses, nota-se que variou entre os apartamentos. A Tabela 11 mostra o consumo médio mensal dos dados obtidos.

Tabela 11: Dados do consumo dos apartamentos

Dados	Apartamento A	Apartamento B	Apartamento C
Consumo de energia anual (kW/pessoa)	2196	2485	2559,5
Média do consumo de energia (kW/pessoa)	183,00	207,08	213,29
Consumo total anual do ar-condicionado (kW/pessoa)	1301,68	1656,42	1856,49
Média mensal do consumo do ar-condicionado (kW/pessoa)	108,47	138,04	154,71
Porcentagem do consumo do ar-condicionado em relação ao consumo total	59,28%	66,66%	72,53%

Fonte: Autora (2020)

O apartamento C apresentou o maior consumo, consequentemente, foi o que teve maior gasto com a utilização do ar-condicionado, já o menor consumo foi no apartamento A. Mas se analisarmos o apartamento que apresenta melhor orientação solar será o B, pois além de uma das suas fachadas não obter incidência do sol e a outra está voltada o nordeste, ou seja, recebe radiação solar principalmente pela manhã e dependendo do mês do ano recebe também insolação no início da tarde, portanto um sol mais ameno.

4.7 Estratégias

De acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005), a indicação para a envoltória da Z7 é o emprego de paredes pesadas, com alta inércia térmica, criando um adiamento do calor que vem de fora do edifício para dentro dele. Nesse sentido, é conveniente que a edificação se volte para dentro de si, para evitar o vento quente e com poeira, impedindo a ventilação diurna. Entretanto, o vento noturno é esperado, porque durante a noite ele está mais frio. O Quadro 6 mostra as propriedades térmicas e as estratégias para a zona bioclimática 7, com as respectivas diretrizes e soluções para os projetos implantados nessa zona.

Quadro 6: Síntese das diretrizes e soluções para a Z7

DIRETRIZ	SOLUÇÃO
Paredes e cobertura pesadas	Uso de materiais e sistema construtivo com alta inércia térmica para ambientes sem climatização artificial. Cobertura com alta inércia térmica e com baixa transmitância
Isolamento térmico (baixa transmitância) de paredes	Paredes com isolamento térmico para ambientes condicionados
Pequenas aberturas	Aberturas ≥ 5% da área do piso
Uso de áreas sombreadas	Distribuição compacta dos ambientes Ambientes voltados para o interior (pátio interno) Uso de vegetação Proteção das fachadas Oeste e Leste com o uso de brises
Resfriamento evaporativo	Ventiladores com aspersão de água Uso de vegetação ao redor da edificação e no pátio interno
Ventilação seletiva (evitar ventilação diurna)	Pequenas aberturas evitando o vento seco Construção compacta Aberturas na cobertura para exaustão do ar quente

Fonte: NBR 15220, adaptado pela autora (2020)

A envoltória é muito importante no desempenho térmico e, logo, energético, pois protege o interior da edificação. Sendo assim, a envoltória de uma edificação é dada pela transmissão de calor para dentro ou para fora do edifício, sempre do elemento mais quente para o mais frio. Dessa forma, será analisado cada um desses elementos que compõe a envoltória e possível estratégia para diminuir essa transferência para o interior do prédio.

As paredes são a maior parte da área da envoltória, por essa razão as paredes externas devem, sempre que possível, ser selecionadas conforme a

estratégia bioclimática. O Quadro 7 a seguir mostra algumas estratégias a serem adotadas para diminuir a entrada interna de calor nos edifícios em geral.

Quadro 7: Recomendações e estratégias para diminuir os efeitos da absortância solar e a transmitância térmica.

Característica	Recomendação	Possíveis estratégias
Absortância Solar (%)	Quanto menor a Absortância Solar, menor a absorção de calor do sol. Mais crítico para edifícios com alta proporção de fachada em relação à cobertura (por exemplo prédios).	• Usar cores claras e/ou tintas refletivas.
Transmitância Térmica (W/m²K)	Quanto menor a Transmitânica Térmica, menor a entrada de calor do ambiente externo ou, no caso dos climas mais amenos, menor a saída de calor do ambiente interno Mais crítico para edifícios baixos e largos, e para edifícios com ocupação no andar superior.	• Usar materiais com baixa condutividade térmica, por exemplo, isolamento térmico.

Fonte: Autora (2020)

A Figura 33 mostra o exemplo de uma parede que atende as normativas de conforto para a cidade de Palmas.

Figura 33: Exemplo de um modelo de parede de acordo com as recomendações da NBR 15575 para a cidade de Palmas

Fonte: ProjetEEE (2020)

A cobertura na maioria das vezes está exposta diretamente ao sol ao longo de grandes períodos do dia, sendo assim, sujeita a uma elevada quantidade de

radiação solar. Por isso, a importância de utilizar de bons recursos que controlem a entrada de calor no edifício. É prioridade usar cores claras (com absortância < 0,6) e materiais isolantes. A Figura 34 mostra o exemplo de uma cobertura que atende as normativas de conforto para a cidade de Palmas.

Figura 34: Exemplo de um modelo de cobertura de acordo com as recomendações da NBR 15575 para a cidade de Palmas

Fonte: ProjetEEE (2020)

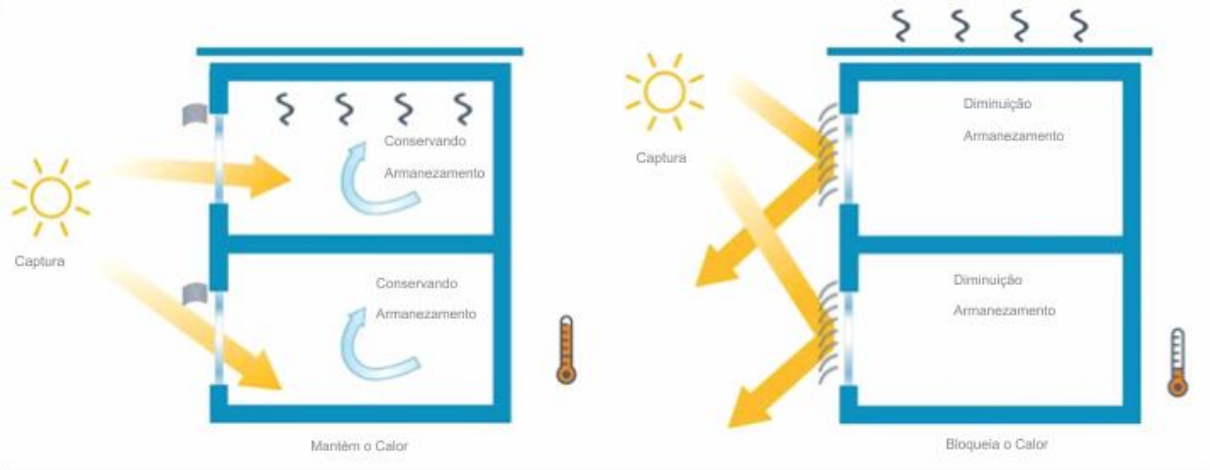
Também outra sugestão é instalação de uma fachada paralela verde (ver Figura 35) com afastamento em relação às paredes do edifício, em que traz uma série de benefícios internos e externos, tanto para as pessoas que convive com ela, quanto para edificação. Este elemento pode trazer inúmeros benefícios como: isolamento térmico, isolamento acústico, melhoria na qualidade do ar interno, proteção à biodiversidade local e proteção às paredes.

Figura 35: Exemplos de fachada verde

Fonte: Palladini (2016, p.48)

Algumas soluções possíveis para diminuir radiação do sol que entra pelas janelas são: bloquear a entrada direta da radiação (por sombreamento, por exemplo), reduzir a área de vidro, ou usar um vidro com proteção solar, caracterizado por um Fator Solar menor (ver Figura 36)

Figura 36: Atuação do vidro de alto desempenho

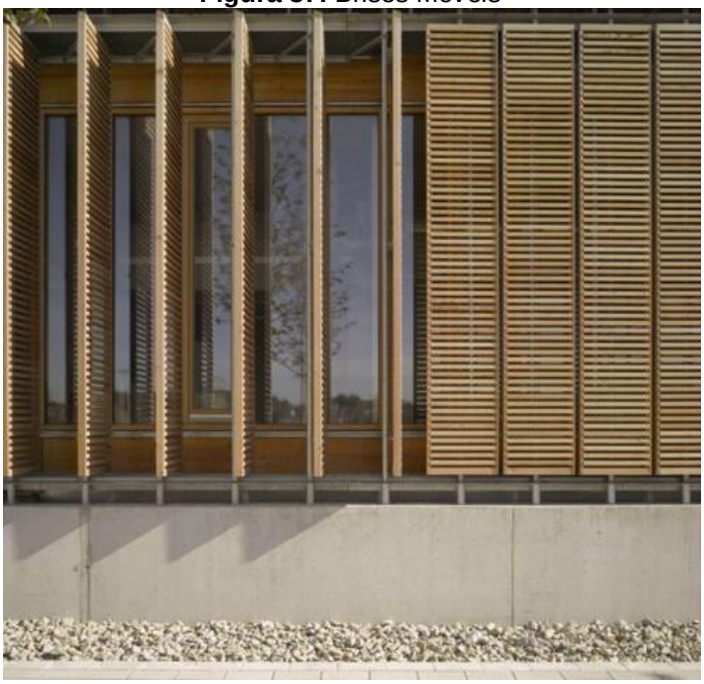


Fonte: Lunni Mais (2018)

Os vidros de alto desempenho têm um elevado custo comparado com o vidro simples, ou seja, às vezes pode ficar inviável. Por outro lado, outras estratégias podem ser utilizadas para impedir a entrada de radiação solar nos espaços internos, sendo o principal delas, o sombreamento externo das janelas e outras aberturas.

São vários os instrumentos que podem ser usados para sombreamento, como terraços, marquises, beirais e proteções solares (brises fixos ou móveis (Ver Figura 37) e muxarabis), eles impedem a radiação solar desde o meio externo.

Figura 37: Brises Móveis



Fonte: Cruz (2018)

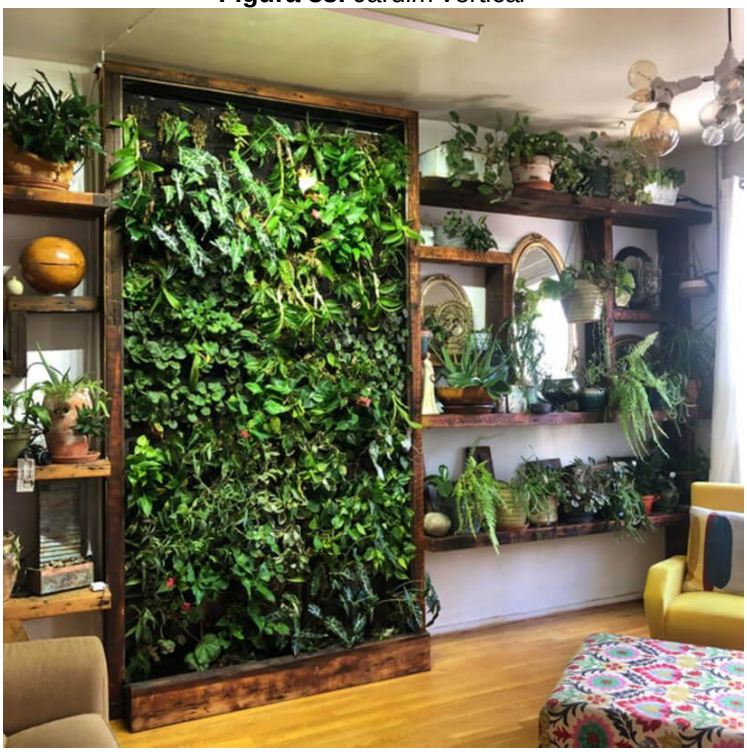
Também existem estratégias de sombreamento interno, como cortinas e persianas, podem ser utilizadas para diminuir a entrada de radiação solar em ambientes internos. Todavia, são bem menos eficientes do que as técnicas usadas na área externa, uma vez que, com a exposição do sol, se aquecem e transmite calor de forma direta ao ambiente, ou seja, não impedem, de fato, a entrada da radiação.

Outra estratégia é o resfriamento evaporativo baseia-se no processo de evaporação da água que retira calor do ambiente ou do material sobre o qual a evaporação acontece. O resfriamento evaporativo pode ser obtido de forma direta ou indireta.

O uso de vegetação, de fontes d’água ou de outros recursos que resultem na evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar constitui-se em formas diretas de resfriamento evaporativo. Uma forma indireta pode ser obtida por meio de tanques d’água sombreados executados sobre a laje de cobertura.

Esse resfriamento é mais bem empregado com a presença de plantas na varanda, paredes verdes, jardim vertical (ver Figura 38) ou vegetação em áreas externas de circulação. O modo mais simples e barato de execução de paredes verdes é através da plantação de trepadeiras ou outras plantas que naturalmente tem a tendência de se fixar em superfícies verticais.

Figura 38: Jardim vertical

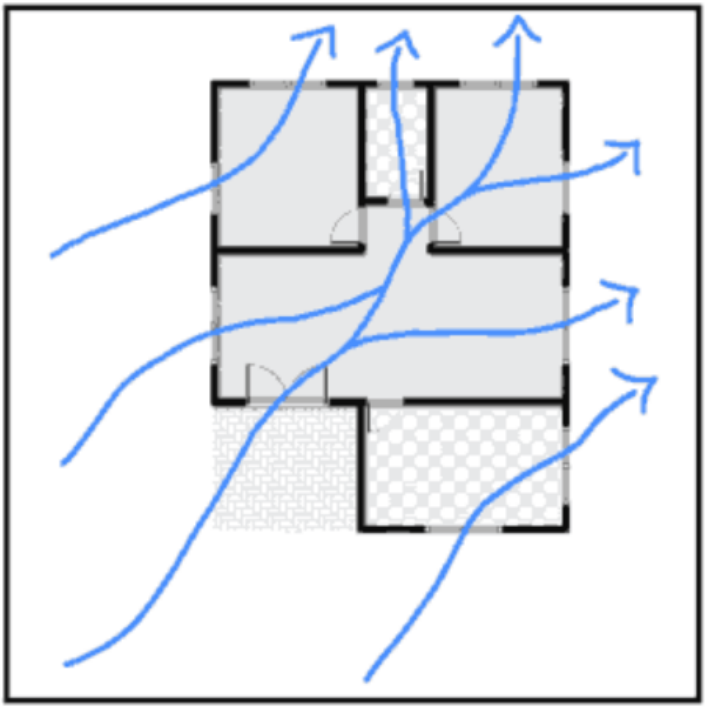


Fonte: Stewart e Bullene (2019)

Uma outra estratégia seria a utilização de ventilação natural que tem o objetivo diminuir a energia requerida para resfriamento interno quando necessário e renovar o ar dos ambientes. Para que aconteça adequadamente o processo de ventilação, pode-se explorar no edifício a forma e a orientação de modo a prevalecer à orientação na direção do vento, também projeção de espaços fluidos permite a circulação do ar entre os cômodos.

A ventilação cruzada é uma das mais interessantes a ser utilizada. É originada basicamente quando, além das janelas, as portas que separam os ambientes se localizam abertas, promovendo a circulação do ar (ver Figura 39). O objetivo é aumentar o tempo do uso da ventilação natural para garantir o conforto, diminuindo as horas em que se utiliza do ar-condicionado.

Figura 39: Ventilação Cruzada



Fonte: Amaral (2015)

.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de energia elétrica para conforto ambiental é crescente no emprego final em edifícios. No Brasil, somente no setor residencial, estima-se que a o uso de ar-condicionado pelas famílias tenha mais que dobrado entre 2005 e 2017.

O consumo de eletricidade nas edificações é estabelecido pela: iluminação artificial, equipamentos, condicionamento de ar, e pelos fatores que envolvem nestes sistemas, como envoltória do edifício, clima, planejamento urbano e comportamento dos usuários.

A cidade de Palmas apresenta clima quente e seco em um período do ano (maio a outubro) e quente e úmido no outro período do ano (novembro a abril). Para equilibrar as enormes cargas térmicas e conforme o projeto da edificação é preciso um sistema de climatização artificial para neutralizá-la. A habilidade de resfriamento do ar-condicionado está inteiramente associada a esses aspectos, que são determinados no projeto.

É importante ressaltar que o desempenho térmico-energético das edificações depende da relação entre diversos parâmetros, que devem ser avaliados simultaneamente na elaboração do projeto, para garantia bioclimática e redução do consumo de energia. A implantação, urbana e da edificação, deve ser definida em função das melhores orientações para radiação e ventilação, e por isso é importante o estudo do local.

A partir dos resultados obtidos, o apartamento A é o segundo com a melhor orientação solar, mas foi ele que apresentou o menor consumo de energia anual comparado aos demais. Isso pode ter ocorrido pelo hábito e rotina do morador desse respectivo apartamento.

Já o apartamento B é o que apresenta melhor orientação solar, ele teve a segunda menor conta de energia anual, isso pode ter acontecido, pois nesse apartamento tem um ar-condicionado menos eficiente comparado com os outros.

O apartamento C apresenta a pior orientação solar comparada aos outros apartamentos, de acordo com os resultados foi o que gastou mais energia, isso ocorreu, porque a orientação está voltada para nordeste em que recebe incidência solar principalmente pela manhã e dependendo do mês vai até umas 14 horas da tarde e na direção noroeste obtém a radiação solar especialmente no período

vespertino, porém tem meses começa às 10 horas da manhã, ou seja, obtendo raios solares praticamente o dia todo nessa fachada.

Então, nesta pesquisa não ficou completamente comprovado que o apartamento com a orientação mais privilegiada é o que tem o menor consumo de energia, pois não depende só disso, também tem um conjunto de fatores que pode interferir como: hábito do morador e eficiência dos aparelhos. Mas o apartamento com a pior orientação solar obteve a maior conta de energia, por isso é importante sempre que possível escolher, adequar e usar o projeto a favor da direção do sol.

Assim, a partir dessas comparações mostra-se a importância de levar em consideração os dados como a orientação solar e estratégias de conforto térmico para ambientes residenciais, pois ajudam a garantir o melhor desempenho energético. Porém também é importante levar em consideração os hábitos dos moradores do local para que se tenha de fato essa eficiência energética.

Uma das propostas sugeridas foram paredes e coberturas pesadas, com alta inércia térmica, pois assim há um atraso do calor que vem de fora do edifício para dentro dele. A ventilação é almejada durante todo o dia, embora o período da noite seja mais fresco. É importante destacar que a sugestão da NBR 15220 é a de um atraso térmico de no mínimo 6,5 horas tanto para a parede quanto para a coberta.

As principais limitações deste trabalho referem-se à utilização de somente três apartamentos do edifício. Seria ideal analisar pelo menos um pavimento, ou seja, oito apartamentos para assim ter uma comparação mais completa da orientação solar com as contas de energia. Também, a quantidade de moradores e condicionadores de ar varia entre os apartamentos. O melhor seria considerar padrões com a mesma quantia para facilitar os cálculos e análises.

Por fim, para trabalhos futuros sugere-se a utilização de softwares que simulem as condições termoenergéticas das edificações. Deste modo as variáveis de desempenho térmico e luminoso dos edifícios podem ser quantificadas e visualizadas, como temperatura, umidade, movimento do ar, insolação, sombreamento e níveis de iluminação.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575:** Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15.220:** Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

AMARAL, Arquit. Beatriz. **Refresque sua Casa Usando a Ventilação Cruzada**. 2015. Disponível em: https://www.fazfacil.com.br/reforma-construcao/projeto-construcao-ventilacao/. Acesso em: 01 set. 2021.

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. **Clima e cidade:** a abordagem climática como subsídios para estudos urbanos. Maceió: EDUFAL, 2007.

CASTRO, D. F. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA A INSTALAÇÕES ELÉTRICAS RESIDENCIAIS.** 2015. 138 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Cap. 2.

CORBELLA, O.; CORNER, V. **Manual de arquitetura bioclimática tropical:** para a redução de consumo energético. Rio de Janeiro: Revan, 2011.

COSTA, G. J. C. d. **Iluminação econômica:** cálculo e avaliação. [S.l.]: EDIPUCRS, 2006. v. 4.

CRUZ, Talita. **O que é brise: tipos, materiais, vantagens e mais!** 2018. Disponível em: https://www.vivadecora.com.br/pro/arquitetura/o-que-e-brise/. Acesso em: 01 set. 2021.

CURSINO, A.; NUNOMURA, E.; TRÓI, M. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: GUIA PARA ETIQUETAGEM DE EDIFÍCIOS**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental, 2015. 71 p.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2014**: Ano-Base 2013. Rio de Janeiro: EPE, 2014. 288p.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). **Plano decenal de expansão de energia 2026.** Relatório Brasil. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro – Rio de Janeiro: EPE, 2017.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro**: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética. Rio de Janeiro: EPE, 2018.

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

GOUVEIA, João Pedro Luz. **Eficiência energética**: Definição e âmbito. 2008. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/13604/1/Gouveia_2008.pdf#page=25 .Acesso em: 19 out. 2019.

IEA [International Energy Agency]. **The Future of Cooling:** Opportunities for energy-efficient air conditioning. OECD/IEA: Paris, 2018.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estações automáticas**. 2020. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas. Acesso em: 30 mar. 2020.

LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL/UFRN. Propriedades térmicas de sistemas construtivos. Natal: Labcon, 2011.

LAMBERTS, Roberto *et al.* **DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES.** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3ª Edição. Rio de Janeiro: Eletrobrás / PROCEL, 2014, 382 p.

LIMA, L. F. **Estudos de Eficiência Energética em Aparelhos Condicionadores de Ar e Técnicas para Redução da Carga Térmica nas Edificações.** 2017. 132 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

LIMERICK, P.; GELLER, H. **What Every Westerner Should Know About Energy Efficiency and Conservation:** A Guide to a New Relationship. 2007. Disponível em: <https://library.cee1.org/system/files/library/1770/951.pdf>. Acesso em: 16 out. 2019.

LUNNI MAIS. **ECONOMIA DE ENERGIA, POR QUE A PROTEÇÃO SOLAR DINAMICA?** 2018. Disponível em: https://lunnimais.com.br/promocao?c=8. Acesso em: 01 set. 2021.

MAIA, C. S. **Recomendações para aplicação de estratégias construtivas bioclimáticas em Palmas – TO**. 2020. 84 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2020.

MACHADO, A. T. *et al.* **Análise e gerenciamento de curva de carga visando a eficiência energética – estudo de caso.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 39., 2011, Blumenau. Anais..Blumenau, 2011.

MARAGNO, G. V. **Adequação bioclimática da arquitetura de Mato Grosso do Sul.** Ensaios e Ciências, Campo Grande, v. 6, n. 003, p. 13-37. 2002.

MENDONÇA, Gustavo Henrique. **Tocantins**. Disponível em: https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/tocantins.htm. Acesso em: 07 set. 2021.

MORAES, C. **Análise de Medidas para Eficientização e Uso Racional da Energia Elétrica em Condicionadores de Ar.** 180 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Matogrosso, Cuiabá, 2013. 44

PADILHA, I.J.S.; PASSOS, I.C.S. Instituição de ensino tecnológico para a construção civil: uma experiência de projeto bioclimático em Maceió-AL. In:

ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO,12.; : ENCONTRO LANTINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO,8., 2013 Brasília, **Anais**... Brasília p. 1285-1294

PALLADINI, G. D. **ANÁLISE DO INVESTIMENTO NECESSÁRIO PARA O ALCANCE DA MÁXIMA CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM EDIFÍCIO**. 2016. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

PINTO. C. F. **Em busca de uma arquitetura sustentável:** o uso de fontes alternativas de energia. 2009. 224 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

PROCEL (Org.).**Resultados PROCEL2019 ano base 2018.** 2018. ed. Rio de Janeiro: Abóborax Design, 2019. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2019/Procel_rel_2019_web.pdf>. Acesso em: 18 out. 2019.

PROJETEEE – PROJETANDO EDIFICAÇÕES ENERGETICAMENTE EFICIENTES.**Compomentes Construtivos:** paredes. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/componente/argamassa-interna-2-5-cm-bloco-ceramico-9x14x24-cm-camara-de-ar-2-a-5-cm-bloco-ceramico-9x14x24-cm-argamassa-externa-2-5-cm/>. Acesso em: 28 mar. 2020.

_____**.Compomentes Construtivos:** pisos e cobertura.Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/componente/telhado-vegetado-extensivo-laje-pre-moldada-12-cm-terra-argilosa-seca-10-cm-vegetacao/>. Acesso em: 28 mar. 2020.

_____**.CompomentesConstrutivos:**vidros.Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/componente/vidro-laminado-com-verde-8mm-guardian-snl-37-clear-verde/>. Acesso em: 28 mar. 2020.

ROAF, S.; FUENTES, M.; THOMAS, S. **Ecohouse***:* a casa ambientalmente sustentável. Tradução de Alexandre Salvaterra. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006

SCHINAZI, A. *et al.* **GUIA INTERATIVO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES**. São Paulo: Mitsidi Projetos, 2018. 269 p.

SILVA, L. F. G. da.; SOUZA, L. B. e. **Caracterização da direção predominante e velocidade do vento em Palmas (TO).** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 12., out. 2016, Goiânia. Anais... Goiânia: Associação Brasileira de Climatologia, 2016. p. 1210–1221

SILVA, L. F. G. da.**Percepção climática e conforto térmico:**contribuição ao estudo interdisciplinar dos aspectos objetivos e subjetivos do clima em Palmas, TO. 2018. 550 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2018.

SIQUEIRA, T. C. P. A.; AKUTSU, M. ; LOPES, J. I. E.; SOUZA, H. A. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações**. Revista

Escola de Minas, Ouro Preto, vol. 58, n. 2, abril/junho 2005. Tocantins, Palmas, 2005.

STEWART, Martha; BULLENE, Rebeca. **Jardim vertical no apartamento**. 2019. Disponível em: https://minhacasaminhacara.com.br/jardim-vertical-no-apartamento/. Acesso em: 01 set. 2021

TONIN, M. L. **ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE TÉCNICAS DE ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA: Simulação computacional em edificação escolar.** 2016. 151 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maring Centro de Tecnologia, Maringá, 2016.