

**ANA CAROLINA HIDALGO ARAUJO
LEONARDO VIVEIROS**

**ANÁLISE DO BALANÇO ENGERGÉTICO DE UMA EDIFICAÇÃO COMERCIAL NA
CIDADE DE SÃO CARLOS**

**SÃO CARLOS
2019**

**ANA CAROLINA HIDALGO ARAUJO
LEONARDO VIVEIROS**

**ANÁLISE DO BALANÇO ENERGÉTICO DE UMA EDIFICAÇÃO COMERCIAL NA CIDADE
DE SÃO CARLOS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Graduação de Engenharia Civil do Centro Universitário Central Paulista, como requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor Esp. CAIO GUSTAVO
PEREIRA DENARI

**SÃO CARLOS
2019**

Aos nossos familiares.

AGRADECIMENTOS

Somos gratos à todas as pessoas que contribuíram para nossa formação como futuros engenheiros civis, principalmente aos professores e funcionários da instituição. Agradecemos especialmente aos nossos familiares e amigos por todo o apoio ao longo dessa trajetória.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	VIII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	2
1.2 OBJETIVO	2
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	3
2.2 CONCEITOS FÍSICOS DE TRANSMISSÃO DE CALOR	3
2.2.1 Convecção térmica	4
2.2.2 Condução térmica.....	5
2.2.3 Radiação solar.....	7
2.3 O ESPECTRO SOLAR	8
2.4 PROPRIEDADE TÉRMICA DOS MATERIAIS	9
2.4.1 Inércia, amortecimento e atraso térmico	9
2.4.2 Transmitância térmica	10
2.4.3 Absortância solar	11
2.5 GANHOS TÉRMICOS NAS EDIFICAÇÕES	11
3 MATERIAIS E MÉTODO	14
4 RESULTADOS PARCIAIS	15
4.1 DIRETRIZES PROJETUAIS	15
4.1.1 São Carlos	15
4.1.2 Estratégias de condicionamento térmico	16
4.1.3 Dia de projeto (Design Day)	16
4.2 PROJETO	17
4.2.1 Situação preliminar	17
4.2.2 Parâmetros não alterados	19
4.2.2.1 Modelo geométrico do edifício	19
4.2.2.1.1 Taxa de ocupação	19
4.2.2.1.2 Taxa de infiltração	20
4.2.3 Alterações	Erro! Indicador não definido.
4.2.3.1 Implantação e orientação das aberturas	20
4.2.3.2 Envoltória.....	20
4.2.3.3 Tipologia do vidro	21

4.2.3.4	Sombreamento e insolação	21
4.2.3.5	Iluminação artificial.....	22
4.2.3.6	Equipamentos	23
4.2.4	Resultados	24
4.2.4.1	Situação original	24
4.2.4.1.1	Inverno	24
4.2.4.1.2	Verão	24
4.2.4.2	Situação alterada	25
4.2.4.2.1	Inverno	25
4.2.4.2.2	Verão	25
5	DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	26
	REFERÊNCIAS.....	27

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: DISTRIBUIÇÃO ESPECTRAL DA ENERGIA SOLAR AO NÍVEL DO MAR (RADIAÇÃO GLOBAL) E ACIMA DA ATMOSFERA TERRESTRE (EXTRATERRESTRE), E PRINCIPAIS GASES ABSORVEDORES DA RADIAÇÃO SOLAR.	8
FIGURA 2 : ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO	8
FIGURA 3: TROCAS DE CALOR ATRAVÉS DE VEDAÇÕES OPACAS.	12
FIGURA 4: CONDIÇÕES DE CONFORTO ANUAL PARA A CIDADE DE SÃO CARLOS.....	15
FIGURA 5: ESTRATÉGIAS CONSTRUTIVAS CONFORME A ZONA BIOCLIMÁTICA	15
FIGURA 6: DADOS CLIMÁTICOS DIA DE PROJETO	17
FIGURA 7: VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DE UM MÊS CRÍTICO DE INVERNO.....	17
FIGURA 8: LOCALIZAÇÃO DO PROJETO.....	18
FIGURA 9: IMPLANTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA QUADRA.....	18
FIGURA 10: MODELAGEM TRIDIMENSIONAL ESQUEMÁTICA SITUAÇÃO ORIGINAL	19
FIGURA 11: MATERIAIS ESCOLHIDOS PARA QUE ATENDESSEM ÀS NECESSIDADES CLIMÁTICAS DE SÃO CARLOS	20
FIGURA 12: ESCOLHA DE VIDRO QUE ATENDESSE ÀS NECESSIDADES CLIMÁTICAS DE SÃO CARLOS	21
FIGURA 13: MODELAGEM DE SKETCHUP ESQUEMÁTICO - SOMBREAMENTO VERÃO E FACHA ENVIDFFAÇADA VOLTADA À NORTE.....	22
FIGURA 14: SIMULAÇÃO DE ISOLAÇÃO UTILIZANDO O PROGRAMA REVIT.....	22

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: TRECHO DA TABELA B.3 DA NBR 15220 (PARTE 2).....	5
TABELA 2: TABELA B.1 DA NBR 15220 (PARTE 2).....	6
TABELA 3: TAXAS TÍPICAS DE DISSIPACÃO DE CALOR POR ILUMINAÇÃO.....	23
TABELA 4: CARACTERÍSTICAS AC	23
TABELA 5: COMPARAÇÃO RELATIVA PERÍODO INVERNO... ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
TABELA 6: COMPARAÇÃO RELATIVA PERÍODO VERÃO ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	

RESUMO

Este trabalho visa analisar como alterações simples no envelope construtivo de edificações podem tornar uma construção mais eficiente termica e energeticamente. Para isso, foi realizado um estudo de caso para o projeto de uma edificação comercial na cidade de São Carlos, cujas modificações feitas se basearam nas estratégias de condicionamento térmico especificadas na norma NBR 15220 para a zona bioclimática do local em questão. A partir de tais dados, foram elaboradas planilhas no excel que pudessem simular a carga térmica da edificação em questão para quatro situações: situação original e situação alterada para as estações de inverno e verão.

A partir dessas análises foi possível quantificar a diminuição da carga térmica da edificação para as duas estações observadas. Com isso foi possível comprovar a eficiência em alterações projetuais simples e de baixo custo no que diz respeito à eficiência térmica e energética de uma edificação, diminuindo-se significativamente a necessidade de aparelhos de climatização artificial na construção.

Palavras-chave: eficiência energética, eficiência térmica, conforto térmico

1 INTRODUÇÃO

Desde meados dos anos 90, principalmente após a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (Eco-92), a pauta sobre sustentabilidade ganhou espaço nas discussões dentro e fora do ambiente acadêmico. Na sua definição, segundo o texto de Goldenberg, Agopyan e John (2003), este conceito deve ser entendido no seu sentido amplo, cujo tripé ambiente-economia-sociedade não deve ser dissociado. Sendo assim, o maior desafio em ser sustentável nos dias atuais consiste em desenvolver a economia, atendendo as expectativas da sociedade sem que se comprometa a saúde ambiental das gerações presentes e futuras.

Um dos setores que mais impactam o tripé citado anteriormente é o meio da construção civil, já que as novas edificações movem a economia, modificam o ambiente e influenciam o modo de vida da sociedade de cada geração. Seus impactos ambientais ocorrem em todas as fases do ciclo de vida do edifício, desde o planejamento de obra até a sua utilização e ocupação. Especificamente na situação de pós construção, a preocupação com o bom desempenho energético e ambiental do edifício, ao longo de toda sua vida útil, muitas vezes não é uma prioridade para os responsáveis por sua construção, já que a etapa que poderia gerar complicações para os mesmos é de execução, por exemplo com problemas referentes a geração de resíduos sólidos e descarte incorreto dos materiais utilizados na obra.

No entanto, globalmente, os edifícios já edificadas são responsáveis por 40% do consumo de energia anual total e por um terço das emissões de gases do efeito estufa (KRIMPALIS; KARAMANIS, 2015), sendo que uma parcela significativa desta energia é utilizada para sistemas de condicionamento artificial em edificações. Infelizmente, espera-se o aumento da tendência já crescente do uso da energia no futuro devido às mudanças climáticas, ao crescimento populacional e ao aumento dos padrões de vida da população.

De acordo com dados do Balanço Energético Nacional de 2017 (EPE, 2017), as edificações brasileiras já são responsáveis por 15% de toda a energia elétrica utilizada no país. Tanto em edifícios residenciais (10,32%), como comerciais (3,48%) e públicos (1,672%), este consumo pode ser explicado pela necessidade de sistemas de climatização que facilitam o desenvolvimento das atividades humanas dentro dos espaços construídos. O Brasil, por ser um país de extensão continental, apresenta significativa diversidade climática, sendo quase a totalidade de seu território sujeito à intensa e abundante insolação durante a maior parte do ano. Assim, o ambiente construído está suscetível à incidência direta da radiação solar e aos efeitos por ela provocados, como o sobreaquecimento do envelope construtivo e das superfícies urbanas pavimentadas.

O uso de materiais com baixa absorvância solar no exterior de edificações sem isolamento térmico, caso típico das construções no Brasil, é uma maneira eficaz de diminuir as cargas de energia com refrigeração. Estudos recentes demonstraram economias de energia para refrigeração de edifícios acima de 20% com a redução da absorvância solar de coberturas. Além disso, com o aumento da refletância solar (ou a redução da absorvância) em superfícies urbanas (edifícios e pavimentos) pode-se reduzir a temperatura ambiente no período de verão e melhorar a qualidade do. Aumentando-se a refletância solar das superfícies urbanas obtém-se maior reflexão da radiação solar que chega à superfície terrestre, minimizando os ganhos térmicos das edificações e os efeitos provocados pelo aquecimento global (AKBARI *et al.*, 2009).

Portanto, pretende-se neste trabalho compreender as relações entre a refletância solar das superfícies externas de uma edificação e a quantidade de energia térmica que deixa de ser absorvida pela mesma. Serão feitas modificações de implantação no lote e materialidade do envelope para possibilitar a análise e comparação do balanço térmico energético inicial e final da construção estudada.

1.1 JUSTIFICATIVA

A relevância deste trabalho justifica-se na necessidade de se buscar possíveis soluções, simples e de baixo custo, que visam melhorar a eficiência energética das construções brasileiras. Com isso, além de diminuir os gastos com energia elétrica, também promove-se um maior conforto térmico aos usuários do edifícios.

1.2 OBJETIVO

Apresentar a análise dos fatores que mais influenciam os ganhos térmicos de uma edificação comercial na cidade de São Carlos e o comportamento de seu balanço térmico energético conforme se altera determinadas variáveis do envelope construtivo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O crescimento acelerado e desorganizado das cidades tem contribuído consideravelmente para a formação das ilhas urbanas de calor, fenômeno capaz de gerar variações positivas de até 10°C em relação a temperatura do ar em zonas nos arredores da cidade. O fenômeno decorre principalmente da substituição de áreas verdes e espaços abertos cobertos com pouca vegetação natural por edificações e superfícies pavimentadas. Como consequência, a absorção mais intensa da energia solar pelas superfícies construídas torna suas temperaturas alguns graus acima da temperatura do ar (Jo *et al.*, 2010; UNEP, 2007) que, aliada ao aumento da geração de calor e uso da energia pelos edifícios, incrementam consideravelmente a formação deste efeito.

As ilhas de calor aceleram a formação de poluição do ar, causam desconforto térmico e problemas de saúde às pessoas que são intensificados pelas ondas de calor sobre as cidades (SYNNEFA *et al.*, 2007). Simultaneamente, o aumento da temperatura do ar externo reflete no aumento de temperatura no interior das edificações, tornando-as mais desconfortáveis para os usuários no caso de edificações não condicionadas, ou contribuindo para o aumento da demanda de energia com climatização artificial.

Em países em desenvolvimento, como o Brasil, a melhoria do desempenho térmico das edificações é fundamental para a redução do consumo energético excedente e impactando positivamente a esfera econômica nacional. O clima quente e úmido brasileiro faz com que os usuários utilizem de sistemas de ar condicionado e ventiladores a fim de reduzir o desconforto térmico no interior de construções mal projetadas; esta questão, atrelada ao fato de que o setor residencial é um dos grupos que mais consomem energia elétrica, cerca de 57% da energia gerada no Brasil são consumidas em edifícios residenciais e comerciais (Relatório de sustentabilidade da Eletrobrás, 2018), nos distancia ainda mais do ideal sustentável almejado hoje em dia. Portanto, é de fundamental importância o desenvolvimento de estratégias que possam ser incluídas no projeto de qualquer tipo de edificação, de forma passiva e de baixo custo. Estas técnicas podem ser úteis na redução do consumo de energia com sistemas de condicionamento artificial na maioria dos dias do ano, principalmente quando as condições climáticas não são extremas (DORNELLES *et al.*, 2011).

2.2 CONCEITOS FÍSICOS DE TRANSMISSÃO DE CALOR

A troca de energia térmica ocorre através do calor – transferência de energia devido a uma diferença de temperatura entre corpos – que flui espontaneamente do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura.

O modo em que o calor é trocado entre corpos depende da relação entre os corpos envolvidos e do meio de propagação da energia térmica, sendo possível ocorrer de três diferentes maneiras: convecção, condução e radiação.

A convecção é a transferência de calor através do transporte de massa, como por exemplo acontece dentro de sótãos ventilados. A condução, segunda colocada no ranking de formas de transferência de calor que mais impactam nos ganhos energéticos dos edifícios, é a troca de energia térmica que ocorre em um meio condutor através da transferência de energia entre moléculas devido a uma diferença de temperatura entre elas. Por fim, a radiação é emissão de energia por meio de ondas eletromagnéticas. A incidência de radiação solar é o principal fator dos ganhos térmicos nas edificações e responsável pela variação da temperatura das construções.

Apesar do comportamento espacial da propagação do calor, em sistemas construtivos pode-se admitir um comportamento unidirecional pois a maior contribuição à variação de temperatura do edifício é o fluxo energético do ambiente externo para o interno.

2.2.1 Convecção térmica

A troca de calor por convecção se dá através do movimento do ar que entra em contato com a superfície dos corpos e busca equilíbrio térmico com os mesmos. Sua fenomenologia pode ser considerada parecida com a condução, no entanto necessita de movimento relativo, ou seja, um dos elementos que estão no processo de troca de energia tem que ser fluido, como o ar e a água. Neste processo ocorre uma troca constante de energia de forma mais eficiente quando comparado com as trocas térmicas entre elementos que estão parados.

A quantidade de calor (J) transferida nesse processo é calculada através das variáveis ΔT ($^{\circ}\text{C}$), área da superfície (m^2) e coeficiente de convecção (W/m^2).

Equação 2-1: Quantidade de energia térmica transferida por convecção.

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T$$

em que:

Q: quantidade de calor (J);

h: coeficiente de convecção (W/m^2);

A: área da superfície para onde a quantidade de calor está sendo transferida (m^2);

ΔT : diferença de temperatura entre o fluido e o objeto ($^{\circ}\text{C}$).

É interessante salientar que o coeficiente de convecção aumenta seu potencial de troca de calor conforme aumenta-se a velocidade do fluido. Isso ocorre, pois, o movimento do fluido aumenta as trocas de energia térmica por convecção, acelerando assim o processo de

reequilíbrio térmico entre fluido e objeto. Um fato a ser destacado é que em superfícies de baixa emissividade a convecção tem maior efeito nos ganhos térmicos do que a radiação. Por isso, nem sempre aumentar a largura da câmara de ar para isolar a cobertura, por exemplo, e é a melhor opção.

2.2.2 Condução térmica

A condução térmica é um tipo de transferência de calor que ocorre principalmente nos sólidos e depende de duas grandezas, a capacidade do material conduzir calor, denominada condutividade térmica, medida em $[W/(m.K)]$ e a espessura do material.

A condutividade térmica também é relacionada com a sensação térmica. Um exemplo para essa situação é o fato de sentirmos a maçaneta metálica mais fria do que a madeira da porta, mesmo as duas estando sob a mesma temperatura. Essa diferente sensação entre os materiais ocorre porque a maçaneta tem a condutividade térmica maior do que a da madeira, ou seja, a transferência de calor da mão para a maçaneta ocorre de maneira mais rápida do que para a madeira.

Analisando os diferentes tipos de materiais, sabe-se que os que diminuem o fluxo de calor entre os corpos (baixa condutividade térmica), impedindo que o calor entre ou saia de um corpo, são denominados isolantes térmicos, como é o caso da madeira, plástico, isopor e lã. E, os materiais que transmitem facilmente calor de um corpo para o outro (alta condutividade térmica) são considerados condutores térmicos em que os metais são os principais exemplos.

Como pode ser observado na Tabela 1, que reproduz a tabela B.3 da NBR 15220 (parte 2) que informa valores relativos a materiais importantes.

Tabela 1: Trecho da Tabela B.3 da NBR 15220 (Parte 2)

Tabela B.3 - Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais			
Material	ρ (kg/m^3)	λ ($W/(m.K)$)	c ($kJ/(kg.K)$)
Argamassas			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00
Cerâmica			
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92
Fibro-cimento			
placas de fibro-cimento	1800-2200	0,95	0,84
	1400-1800	0,65	0,84
Concreto (com agregados de pedra)			
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
concreto cavernoso	1700-2100	1,40	1,00

FONTE: NBR 15220, 2005

É interessante perceber essas relações entre condutividade e espessura do material e suas respectivas propriedades térmicas entre diferentes sistemas construtivos. Quando se projeta um edifício é importante levar em consideração suas propriedades termofísicas e as características de condutividade e resistência térmica dos materiais que o constituem, a fim de utilizá-los de forma a promover um maior conforto dentro das construções.

Sabe-se que a resistência total é a soma das resistências de cada camada do sistema construtivo em análise. No entanto, se houver câmara de ar não ventilada embutido dentro do sistema, não se usa a relação já descrita, mas tira-se tal dado da Tabela B.1, na Parte 2 da NBR 15220 (Tabela 2). Segundo essa Tabela, em uma situação cujo material tenha alta emissividade, ocorre na prática uma redução da resistência do ar, ou seja, altera-se a resistência do fluxo total de calor pelas trocas de convecção.

Também se verifica que a resistência térmica do fluxo de calor é mais baixa quando ascendente, pois esse é o fluxo espontâneo dos fluidos, o que facilita a liberação de ar quente quando há aberturas superiores.

Tabela 2: Tabela B.1 da NBR 15220 (Parte 2)

Tabela B.1 - Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura.

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar cm	Resistência térmica R_{ar} $m^2.K/W$		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
		⇔	⇑	⇓
Superfície de alta emissividade $\epsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\epsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61

Notas:
 1 ϵ é a emissividade hemisférica total.
 2 Os valores para câmaras de ar com uma superfície refletora só podem ser usados se a emissividade da superfície for controlada e previsto que a superfície continue limpa, sem pó, gordura ou água de condensação.
 3 Para coberturas, recomenda-se a colocação da superfície refletora paralelamente ao plano das telhas (exemplo C.6 do anexo C); desta forma, garante-se que pelo menos uma das superfícies - a inferior - continuará limpa, sem poeira.
 4 Caso, no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido por esta tabela.

FONTE: NBR 15220, 2005

Fica clara, então, a relação entre as variáveis referentes à condução térmica. Este tipo de transferência de calor depende da característica do material e de sua espessura, sendo estas as duas variáveis que se deve alterar no momento de se projetar uma edificação, para se determinar qual melhor sistema construtivo para cada região. Desse modo, cada construção irá respeitar a especificidade climática do seu local e ser executada de maneira sustentável, promovendo maior conforto no seu interior e utilizando materiais próprios de sua região.

2.2.3 Radiação solar

A radiação solar é a principal fonte de energia térmica para todos os planetas de seu sistema. O Sol gera uma elevada quantidade de energia que é irradiada, através de ondas eletromagnéticas, para todo o espaço, em todas as direções. Esse tipo de onda não necessita de meio físico para se propagar e sua forma de mais fácil percepção na Terra é a luz visível.

A radiação solar pode ser dividida em dois grupos:

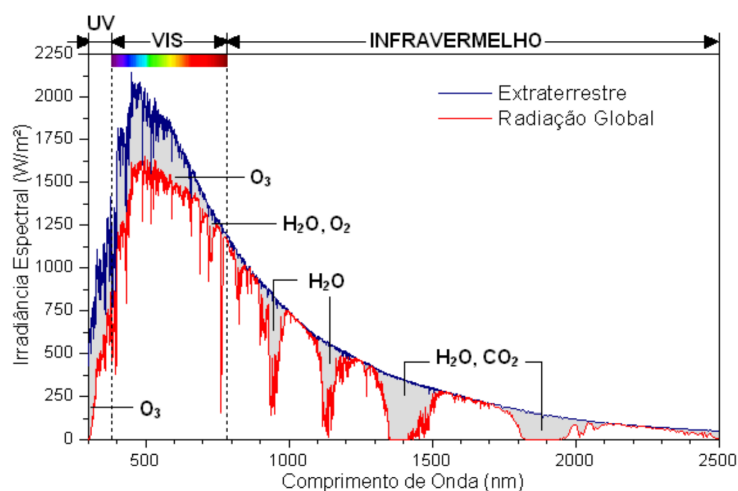
- direta: parcela de radiação solar que passa livremente pela atmosfera e incide sobre a Terra em diferentes ângulos que dependem da posição relativa do Sol a cada momento;
- difusa: parte dispersa pela atmosfera, refletida pelas nuvens e oriunda de todas as direções da abóbada celeste;
- global: radiação total que chega à superfície da Terra, ou seja, é a radiação direta somada com a difusa. A proporção entre ambas dependerá do clima, altitude e das diversas características atmosféricas que se modificam constantemente como a nebulosidade, a presença de vapor d'água e a poluição.

Ao incidir sobre a atmosfera terrestre, a radiação solar pode ser absorvida, refletida ou espalhada, dependendo das partículas e dos gases presentes na abóbada celeste. O ângulo de incidência depende da localização no globo terrestre, variando de acordo com a latitude do local a ser analisado. Neste contexto, e com o intuito de servir como base metodológica única para os Estados Unidos, a American Society for Testing and Materials (ASTM) definiu um espectro solar padrão com base em uma série de amostras medidas experimentalmente (ASTM, 2003). Segundo Dornelles (2008),

A norma ASTM G173-03 apresenta a distribuição da irradiância solar espectral terrestre para uma superfície orientada ao Sul, com inclinação de 37°, para condições atmosféricas específicas. As condições adotadas nesta norma representam uma média para os 48 estados dos Estados Unidos, pelo período de um ano, sendo, portanto, dados médios mais adequados para esses locais. Na figura 1, são apresentadas as curvas de distribuição espectral da energia solar acima da atmosfera terrestre e ao nível do mar (Radiação Global), conforme a norma ASTM-G173-03. A curva de Radiação Global representa o espectro solar padrão e indica a proporção de energia proveniente do Sol correspondente a cada região do espectro solar que atravessa a atmosfera e atinge a superfície terrestre, distribuída

nas seguintes proporções aproximadas: 3% no ultravioleta, 45% no visível e 52% no infravermelho (DORNELLES, 2008, p. 29).

Figura 1: Distribuição espectral da energia solar ao nível do mar (radiação global) e acima da atmosfera terrestre (extraterrestre), e principais gases absorvedores da radiação solar.



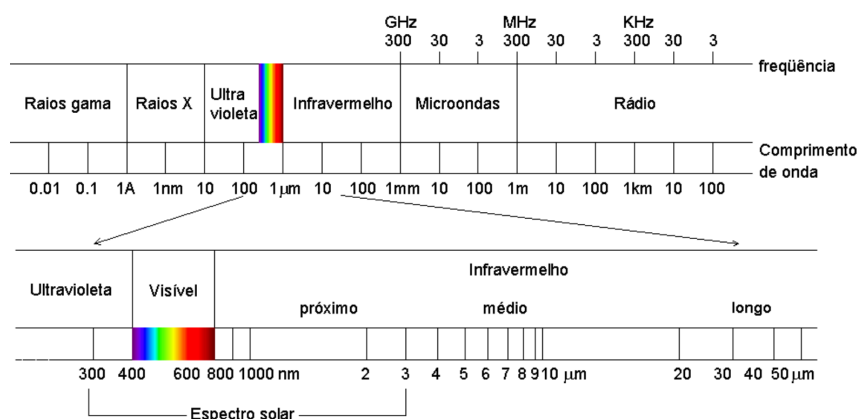
Fonte: DORNELLES, 2008

No entanto, para que as informações sobre a incidência solar na cidade de São Carlos fossem precisas, seria necessário obter um espectro solar padrão para a região, porém, não há esse tipo de normatização no Brasil, por isso este estudo basear-se-á nos dados publicados pela ASTM (2003).

2.3 O ESPECTRO SOLAR

A radiação solar, ondas eletromagnéticas, pode ser analisada através do trecho do espectro eletromagnético que compreende a emissão solar. Este trecho, que varia do comprimento de onda de 280nm a 3000nm, conforme figura 2, ainda pode ser subdividido em três grupos: o ultravioleta, visível e infravermelho.

Figura 2 : Espectro eletromagnético



Fonte: DORNELLE, 2008

A radiação ultravioleta, que corresponde ao menor comprimento de onda, é emitida da faixa de 100nm a 380nm e é a mais energética dentre as radiações emitidas pelo Sol, podendo causar diversos danos à superfície terrestre. No entanto, a camada de ozônio na atmosfera barra grande parte desses raios, filtrando sua perigosa incidência na Terra. Esta radiação pode ser subdividida em UV-A, UV-B e UV-C.

A radiação UV-A (315nm a 380nm) corresponde a maior parte da radiação ultravioleta que consegue atravessar a cama de ozônio. É responsável pelo bronzeamento na pele quando exposta à radiação direta do Sol, em decorrência da sua capacidade de penetrar mais fundo nos tecidos e da consequente estimulação e liberação de melanina, responsável pela pigmentação e proteção contra os raios ultravioletas. A radiação UV-B (280nm a 315nm) é parcialmente absorvida pela camada de ozônio e é a principal causadora das queimaduras de pele mais graves, decorrentes de insolações, e dos desbotamentos superficiais dos objetos quando expostos ao Sol. Já a UV-C (100nm a 280nm) praticamente não chega à superfície terrestre, sendo absorvida pelo oxigênio e pelo ozônio na atmosfera terrestre.

A região do visível é definida pelo intervalo de comprimento de onda que o olho humano consegue detectar, o que nos permite o sentido da visão. Sua faixa espectral compreende o trecho de 380nm a 780nm. Já a faixa do infravermelho não possui seus limites bem definidos, mas é comumente considerado entre 780 nm e 1 mm. Assim como o ultravioleta, também é invisível ao olho humano e seu principal efeito é o térmico, capaz de aquecer os ambientes.

2.4 PROPRIEDADE TÉRMICA DOS MATERIAIS

2.4.1 Inércia, amortecimento e atraso térmico

A inércia térmica representa a capacidade do material em se aquecer e manter essa temperatura e é relativa a uma propriedade intrínseca do material denominada calor específico (KJ/Kg.K), que indica a quantidade de energia necessária para cada unidade de massa do material variar de uma unidade de temperatura. O amortecimento térmico é uma consequência da inércia térmica e se reflete na diferença de temperatura entre um ambiente interior e exterior, diminuindo assim a amplitude térmica dentro das edificações. O atraso térmico, que também está relacionado com a inércia e o amortecimento térmico é o tempo que demora para um fluxo de calor atravessar completamente um sistema construtivo.

A capacidade térmica (KJ/m²K) é outra grandeza relevante no estudo dos efeitos térmicos, uma vez que ela representa a quantidade de energia necessária para variar de uma unidade de temperatura uma superfície de uma unidade de área. Os conceitos de calor específico e capacidade térmica podem ser interpretados como uma resistência a variação de temperatura, uma vez que altos valores dessas grandezas indicam que é necessário

fornecer ou retirar muita energia para que o corpo varie a temperatura de uma unidade. A capacidade térmica é um conceito aplicado a corpos enquanto que o calor específico é tabelado e depende do material analisado; é possível relacionar essas grandezas quando um corpo é constituído de apenas um material;

Equação 2-2 Relação entre o calor específico de um material e a capacidade térmica de um corpo constituído apenas desse material.

$$C = e \cdot c \cdot \rho = c \cdot m$$

Sendo e é a espessura do corpo, ρ a densidade volumétrica e m a massa do corpo. Essa correlação mostra que a inércia térmica de um material é relativa a sua espessura e densidade ou a sua quantidade de massa.

2.4.2 Transmitância térmica

A transmitância térmica (U) é uma propriedade dos materiais que depende de suas espessuras e condutividade. No entanto é um conceito puramente matemático, uma vez que não é possível medi-lo e é definido como o inverso da resistência térmica (R), assim, objetiva uma simplificação para se compreender o comportamento do envelope das edificações no processo de troca de energia térmica com o entorno imediato. A média da quantidade de energia térmica que é capaz de atravessar um determinado sistema construtivo engloba, em uma única grandeza, todas as formas de trocar calor existentes sejam elas por condução, convecção ou radiação.

Equação 2-3 Transmitância térmica, o inverso da resistência térmica total do sistema.

$$U = \frac{1}{R_{total}}$$

A unidade da transmitância térmica é W/m^2K , o que indica a quantidade de joules por segundo (watts) necessário para variar de um kelvin uma superfície de um metro quadrado, assim sendo, é a capacidade de um sistema de ser atravessado por determinado fluxo de energia térmica.

Importante salientar que no cálculo da transmitância térmica também devem ser consideradas as camadas de ar externa e interna, em decorrência de suas resistências térmicas. Tais valores são tabelados, devendo ser somados com as demais resistências térmicas do sistema construtivo em análise. No entanto, essas resistências seriam aproximações, já que para isso teria de se considerar materiais hipotéticos cujo total de radiação e condução fossem iguais.

Além disso, para que seja possível calculá-lo, deve-se considerar um regime permanente, e não transiente como ocorre na realidade. Essa simplificação é feita a fim de considerar apenas o fluxo majoritário de energia térmica no sistema, desprezando a

instabilidade da temperatura em decorrência das infinitas variáveis que a construção está exposta.

2.4.3 Absortância solar

A absortância, quantidade de calor refletido e absorvido por uma superfície, e a transmitância quando aplicadas de maneira conjunta podem influenciar de maneira significativa a temperatura nos ambientes internos das edificações, em relação ao exterior. No entanto, o método simplificado da Norma não considera a ação conjunta de ambas propriedades termofísicas para todas as zonas bioclimáticas brasileiras, o que segundo Chvatal (2014), pode levar a erros no momento de analisar os resultados.

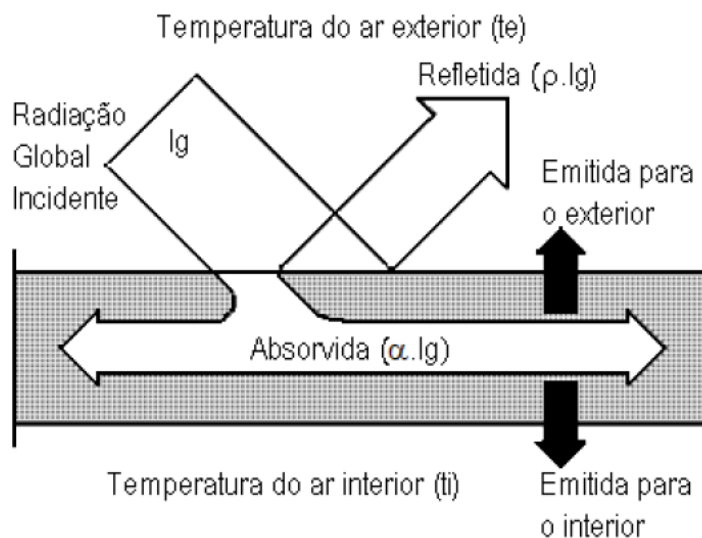
Para coberturas, a utilização de estratégias de conforto ambiental baseadas na relação entre a absortância e a transmitância de mostraram mais eficientes do que nas paredes, já que a incidência solar é mais intensa nas coberturas. Quanto maior a transmitância, maiores serão os ganhos térmicos no interior da habitação, pois mais fluxo de calor atravessará o sistema construtivo. Da mesma forma, quanto maior a absortância, mais energia térmica é absorvida pela superfície, aumentando a quantidade de energia térmica que poderá ser transmitida para o interior do edifício através da transmitância térmica, contudo essa grande influência da absortância nos ganhos térmicos globais do edifício não estão contemplados no método simplificado da NBR.

2.5 GANHOS TÉRMICOS NAS EDIFICAÇÕES

A maior parcela dos ganhos térmicos das edificações é decorrente da radiação solar. Por isso, uma das maneiras mais eficientes de controlar os ganhos térmicos das construções é a partir do manejo correto de como o edifício deve ou não absorver essa energia térmica proveniente do Sol. O envelope construtivo é composto por diversos elementos, sendo eles opacos, translúcidos e transparentes e seus comportamentos frente a radiação solar são diferentes.

Os elementos translúcidos e transparentes permitem a passagem direta, ou difusa, da parte absorvida pela sua superfície da radiação solar, enquanto os elementos opacos transmitem esse calor para o interior do edifício de forma indireta, através da condução e/ou convecção da sua massa sólida. Quando essa energia incide sobre uma superfície, parte é absorvida, parte é refletida e parte é transmitida. Essa parte absorvida é reirradiada para o interior e exterior da edificação, na forma de onda longa, e o restante do calor é conduzido para o interior do edifício.

Figura 3: Trocas de calor através de vedações opacas.



Fonte: DORNELLES, 2008

Considerando-se a transmissão de calor para o interior do edifício como em regime permanente para um corpo opaco, a densidade de fluxo térmico que atinge a superfície externa é a mesma que deixa uma área de mesma proporção na superfície oposta. Neste caso, não se considera a capacidade de armazenamento de calor pelo fechamento. Com relação aos materiais que os compõem, pode-se afirmar que dois fechamentos possuem características idênticas em regime permanente quando: a absorvância à radiação solar da superfície externa de ambos é a mesma, a relação entre a espessura do fechamento e a condutividade térmica (λ) é igual e a emissividade (ϵ) da superfície interna é a mesma (MACKEY; WRIGHT, 1943 apud GRANJA, 2002).

A densidade do fluxo térmico (q) que atravessa esse corpo, por efeito da radiação solar incidente e da diferença de temperatura do ar, em regime permanente, é dada pela equação:

Equação 2-4: Densidade do fluxo térmico (q) que atravessa esse corpo

$$q = U \left(t_e + \frac{\alpha I_g}{h_e} - t_i \right)$$

Onde:

U = transmitância térmica da vedação ($W/m^2.K$);

t_e e t_i = temperatura do ar externo e interno, respectivamente (K);

α = absorvância solar;

I_g = irradiância solar incidente global (W/m^2);

h_e = condutância térmica superficial externa ($W/m^2.K$).

Como indica o modelo matemático, o fluxo térmico através do corpo é diretamente impactado pela absorvância solar de sua superfície exposta ao Sol. Quanto maior for este coeficiente (ou menor sua refletância), maior será o fluxo, induzindo o aumento na carga térmica dos ambientes, de modo que fica evidente o impacto das absorvâncias das superfícies construtivas sobre o comportamento térmico das edificações, pois afeta diretamente as temperaturas alcançadas pelas superfícies expostas ao Sol e, conseqüentemente, a intensidade do fluxo térmico através do envelope construtivo. Portanto, o conhecimento dessas propriedades dos revestimentos é fundamental para determinar com precisão o comportamento térmico do edifício.

3 MATERIAIS E MÉTODO

Como se pretende avaliar o comportamento dos ganhos térmicos de uma edificação através da análise de seu envelope construtivo, este trabalho produzirá diferentes gráficos do balanço térmico do edifício conforme suas condições projetuais. Ou seja, para cada nova proposta para tornar a construção modelo mais equilibrada termicamente, será gerado um gráfico mostrando a variação de temperatura dentro da edificação ao longo de 24 horas. Assim, será possível comparar qual proposta projetual do envelope construtivo melhor responde às demandas climáticas de São Carlos, SP.

As variáveis utilizadas se referem aos materiais e pinturas de paredes externas e coberturas, implantação no terreno e localização das janelas. A edificação analisada será um edifício comercial, a ser determinado nas próximas etapas, possibilitando a inserção no cálculo de seu balanço energético o calor gerado pelos equipamentos eletrônicos e analisar em quais momentos do dia, ao longo do ano, o edifício necessitaria de ar condicionado. Conforme as alterações das variáveis especificadas anteriormente, também será possível visualizar os reflexos dessas mudanças na diminuição da necessidade de climatização artificial dentro do edifício comercial escolhido para análise.

Esse processo de avaliação projetual e alteração das variáveis pré-determinadas será feito no software de planilha Microsoft Excel. Para cada situação será criada uma aba no programa, para que o processo de comparação e análise dos resultados seja feita de forma precisa e organizada. Além disso, para cada nova proposta para o envelope desta edificação serão gerados dois gráficos, um de verão e outro de inverno, exibindo as curvas de suas temperaturas internas ao longo do dia.

Sendo assim, será possível comparar o balanço energético da edificação em todas as situações propostas e assim avaliar quais as medidas projetuais mais eficientes para diminuir os gastos energéticos excedentes de uma edificação comercial.

4 RESULTADOS PARCIAIS

4.1 DIRETRIZES PROJETUAIS

4.1.1 São Carlos

A cidade de São Carlos se encontra na zona bioclimática 4 (NBR 15220-3), cujo clima se caracteriza como tropical semi-úmido, com verões chuvosos e invernos secos, além de da grande amplitude térmica ocorrida ao longo do dia.

Segundo a NBR 15220, o clima local apresenta maior desconfor aos usuários em relação aos períodos de frio (Figura 4), necessitando de inércia térmica para aquecimento (Figura 5-a). e buscando um maior aproveitamento solar, permitindo que o Sol aqueça naturalmente as edificações, conforme exposto na Figura 5-c. Para o período de verão, a NBR 15220 recomenda que a edificação seja dotada de esquadrias que promovam a ventilação cruzada natural, a fim de se diminuir o acúmulo de ar quente dentro da construção.

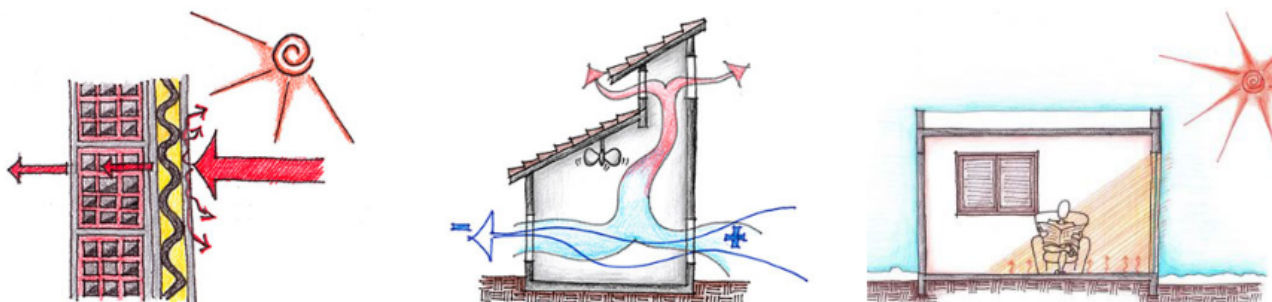
Figura 4: Condições de conforto anual para a cidade de São Carlos



Fonte: PROJETEEE, 2019

Figura 5: Estratégias construtivas conforme a zona bioclimática

a) Inércia Térmica para aquecimento b) Ventilação natural c) Aquecimento solar passivo



Fonte: PROJETEEE, 2019

4.1.2 Estratégias de condicionamento térmico

De acordo com a norma NBR 15220-3, para a zona bioclimática 4, as recomendações construtivas são o uso de aberturas com dimensões médias, o qual se refere à área de abertura de ventilação em porcentagem da área de piso, sendo que a porcentagem da área de piso deve ser superior a 15% e inferior a 25%. Quanto ao sombreamento nas aberturas, deve-se impedir a insolação direta no período de Verão, conforme mostra na Tabela 1.

Tabela 1 – Abertura para ventilação e sombreamento das aberturas para a zona bioclimática 4

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias ($15\% < A < 25\%$)	Sombrear aberturas

Fonte: Adaptado da norma NBR 15220-3 (2005) p. 4.

No que se refere às paredes e cobertura, os materiais devem apresentar uma inércia térmica pesada para as vedações verticais e leve e isolada para as vedações horizontais, conforme a Tabela 2. Tais dados demonstram o quão importante é o atraso térmico para as edificações do zoneamento bioclimático 4, já que tal estratégia visa manter uma temperatura confortável no interior da edificação ao longo de todo o dia.

Tabela 2 – Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa

	Transmitância térmica	Atraso térmico	Fator solar
Paredes (Pesada)	$U \leq 2,20$	$\phi \leq 6,5$	$F_{So} \leq 3,5$
Coberturas (Leve isolada)	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 3,3$	$F_{So} \leq 6,5$

Fonte: Adaptado da norma NBR 15220-3 (2005) p. 4.

4.1.3 Dia de projeto (Design Day)

Os dados climáticos de projeto referem-se a um dia típico dos meses mais quentes e frios do ano. Esses dados permitem avaliar com uma maior precisão a evolução da carga térmica ao longo das 24h do dia, conforme mostra a Figura 6 (utilizou-se os dados da cidade de Campinas pois a NBR 16402 não disponibiliza os dados específicos para a cidade de São Carlos)

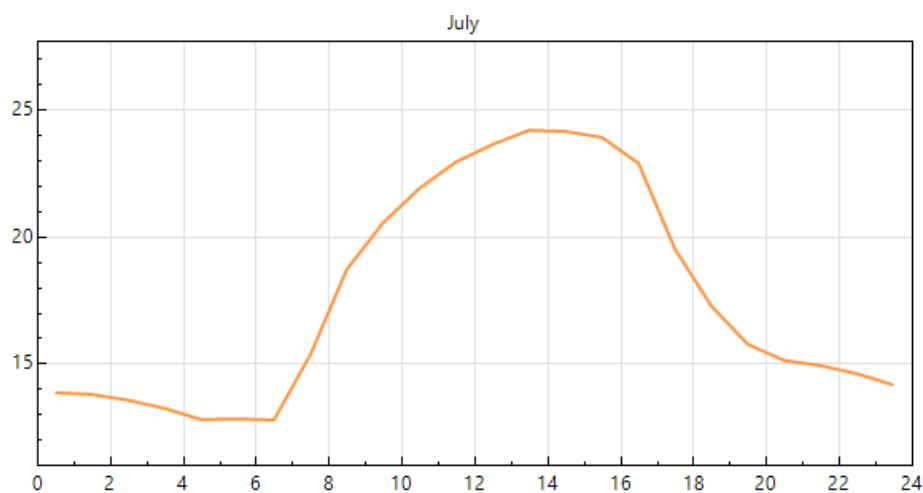
Figura 6: Dados climáticos dia de projeto

SP	Campinas				Latitude	Longit.	Altitude	Pr.atm	Período	Extrem. anuais	TBU	TBSmx	s	TBSmn	s
					23,00S	47,13W	661m	9363	82/01		29,4	35,8	1,4	5,5	2,5
Mês>Qt	Freq. anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa umidade			Mês>Fr	Freq. anual	Aquec.	Umidificação			
Fev	0,4%	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Jun	99,6%	TBS	TPO	w	TBSc	
ΔT_{md}	1%	33,2	21,9	24,4	29,5	23,1	19,3	26,1		99%	8,6	3,9	5,4	16,8	
9,8	2%	32,2	21,7	23,8	28,9	22,2	18,4	25,3		99%	10,0	5,9	6,2	17,7	
		31,3	21,5	23,4	28,4	22,0	18,1	25,2							

Fonte: Adaptado da norma NBR 16401-1 (2008), p. 35.

A Figura 7 mostra a variação de temperatura de um mês crítico de inverno para a cidade de São Carlos, a qual foi necessário recalculer o TBS de projeto de inverno.

Figura 7: Variação de temperatura de um mês crítico de inverno.



Fonte: EPW (Energyplus Weather Data)

$$TBS = TBSp - F \times \Delta T_{md}$$

$$8,6 = TBSp - 1 \times 11^{\circ}\text{C}$$

$$TBSp = 19,6$$

4.2 PROJETO

4.2.1 Situação preliminar

A seguir serão apresentados os parâmetros de estudo de caso preliminar de um projeto genérico localizado no bairro Jardim Maria Alice, em São Carlos. O local atualmente se encontra sem construções.

Figura 8: Localização do projeto



Figura 9: Implantação esquemática da quadra

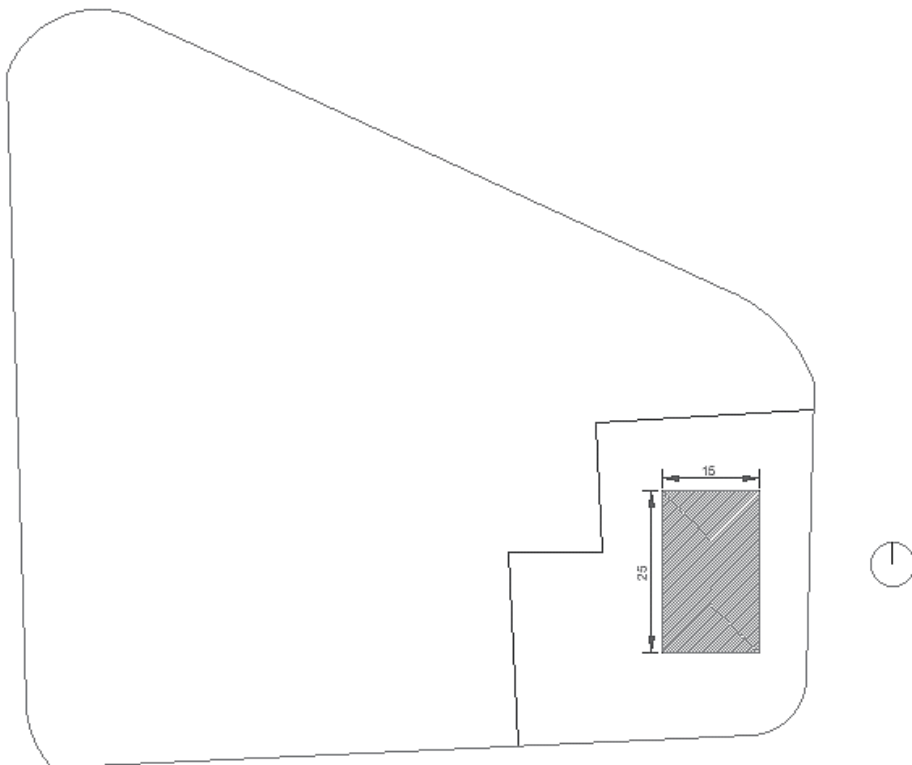
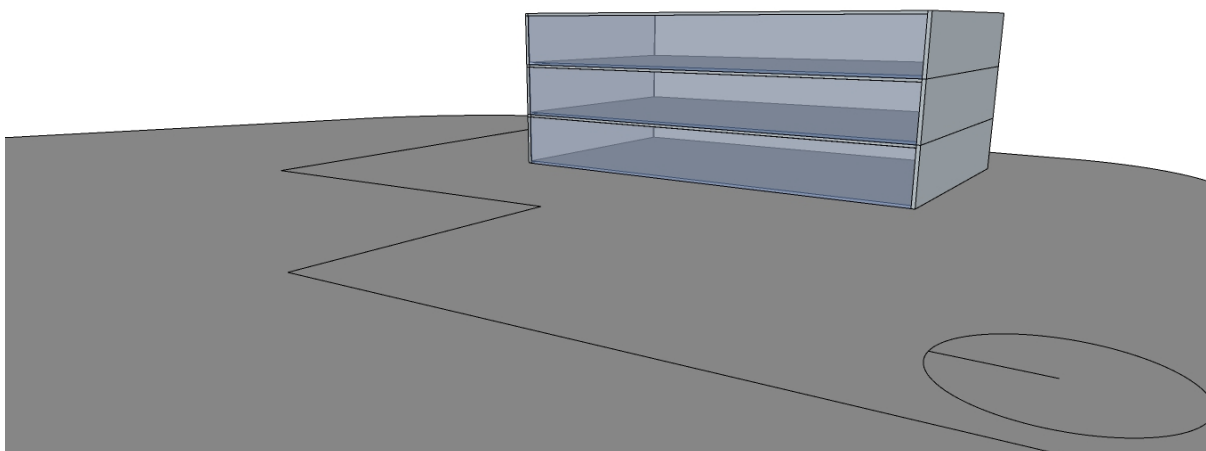


Figura 10: Modelagem tridimensional esquemática situação original



Parâmetros iniciais:

1. Modelo geométrico do edifício: Largura:15m; Comprimento: 25m; pé-direito: 3m com 3 andares.
2. Envoltória: parede de concreto de 10 cm sem revestimento; Laje e cobertura de concreto maciço de 10 cm sem revestimento e nenhum tipo de acabamento externo;
3. Fachada: fachada envidraçada orientada à oeste, sendo esta em vidro comum de 6 mm;
4. Ocupação: 20 pessoas/100m²;
5. Iluminação artificial: 40,00W/m²;
6. Equipamentos (computadores, etc): 21,00W/m²;
7. Taxa de ventilação: 27m³/pessoa x hora.

4.2.2 Parâmetros não alterados

4.2.2.1 Modelo geométrico do edifício

O modelo geométrico do edifício foi mantido, com largura de 15 m, comprimento de 25 m, pé direito de 3 m com 3 andares.

4.2.2.1.1 Taxa de ocupação

A quantidade de pessoas consideradas nos ambientes também não foi alterada. Portanto manteve-se a taxa de ocupação de 20 pessoas/100m². Assim, temos disponíveis 5m²/pessoa. Portanto:

$$\text{N}^\circ \text{ de pessoas} = (\text{Área de piso}) / \text{m}^2/\text{pessoa} = (15 \times 25) / (5) = 75 \text{ pessoas}$$

4.2.2.1.2 Taxa de infiltração

É a relação do Ar de renovação e dos TBs externo e interno. Portanto varia conforme o verão e o inverno. No entanto, como a taxa de A de renovação (L/s) tem como variável o número de pessoas, este valor também se mantém em relação à situação original. Portanto:

$$AR_{ren} = N_{pessoas} \times (27/3,6) = 60 \times (27/3,6) = 450 \text{ L/s}$$

4.2.3 Parâmetros alterados

4.2.3.1 Implantação e orientação das aberturas

Como a NBR 15220 para a cidade de São Carlos recomenda a utilização de estratégias de aquecimento passivo no inverno, optou-se por girar o edifício de modo que a fachada com abertura se voltasse à Norte. Assim, durante o inverno, a edificação estaria exposta a um aquecimento passivo por meio da alta insolação incidente nesta fachada.

4.2.3.2 Envoltória

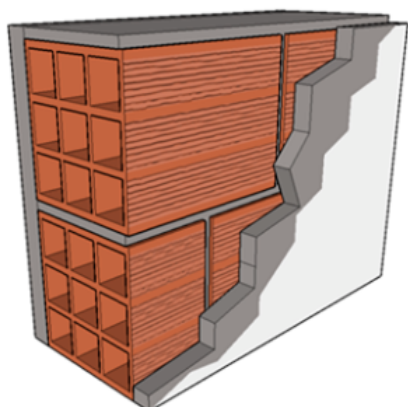
A partir das diretrizes da norma NBR 15220, foram escolhidos os materiais que atendessem às necessidades climáticas de São Carlos. Como ao longo do ano há uma alta amplitude térmica, os sistemas escolhidos proporcionam um atraso térmico relativamente alto, fazendo com que a temperatura no interior dos ambientes se mantenha equilibrada ao longo do dia, durante todo o ano.

Para essa escolha, prezou-se por sistemas construtivos bastante comuns ao mercado por uma questão de menor custo e facilidade de encontrar de mão de obra especializada e matéria prima.

Quanto à absorvância das superfícies externas, optou-se pela cor **Branco Gelo** no valor de 37,2, de acordo com os dados obtidos por DORNELLES (2008). Foi escolhida uma absorvância média-baixa para não sobrecarregar os ganhos térmicos do edifício ao longo do ano.

Figura 11: Materiais escolhidos para que atendessem às necessidades climáticas de São Carlos





Paredes

Argamassa interna 2.5 cm | Bloco cerâmico 14x19x29 cm | Argamassa Externa 2.5 cm

Resistência

0.55 m²K/W

Transmitância

1.83 W/m².K

Atraso Térmico

4.3 h

Capacidade Térmica

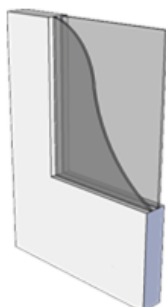
161 J/K

Fonte: PROJETEEE, 2018.

4.2.3.3 Tipologia do vidro

Optou-se por um vidro com fator solar médio (31% da energia solar que incide no vidro se transfere para o lado interno, tanto direta como indiretamente), para que tal sistema pudesse ter bom desempenho tanto no inverno, permitindo aquecimento passivo, quanto no verão.

Figura 12: Escolha de vidro que atendesse às necessidades climáticas de São Carlos



Vidros

Vidro laminado com incolor 8mm | CEBRACE Cool Lite SKN Verde

Transmitância

5.700 W/m².K

Fator Solar

0.310

Transmissão Luminosa

0.460

Reflexão Luminosa

0.180

Fonte: PROJETEEE, 2019

4.2.3.4 Sombreamento e insolação

Para evitar que essa alta taxa de insolação incidente na fachada Norte aquecesse muito o edifício no período de verão, acrescentou-se um beiral de 1,2 m de largura em todos os andares desta fachada, a fim de barrar a entrada do sol nos meses críticos de calor. Para isso, foi utilizado um programa computacional conhecido como Revit para realizar uma simulação de insolação (Figura 4), onde foi possível perceber que no solstício de verão, a sombra gerada por este beiral, sombreia aproximadamente 95% da fachada em questão, proporcionando assim um FS ~ 0,95.

Figura 13: Modelagem de sketchup esquemático - sombreamento verão e fachada envidraçada voltada à Norte

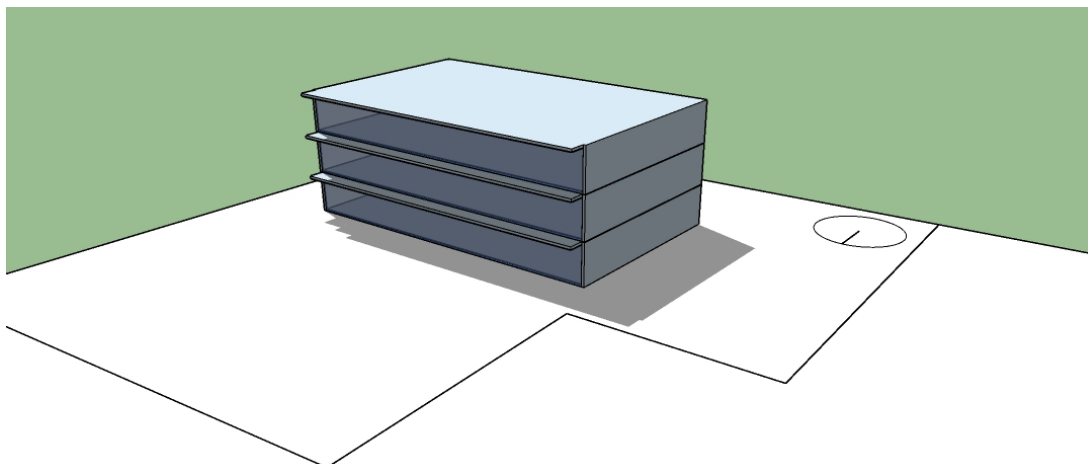
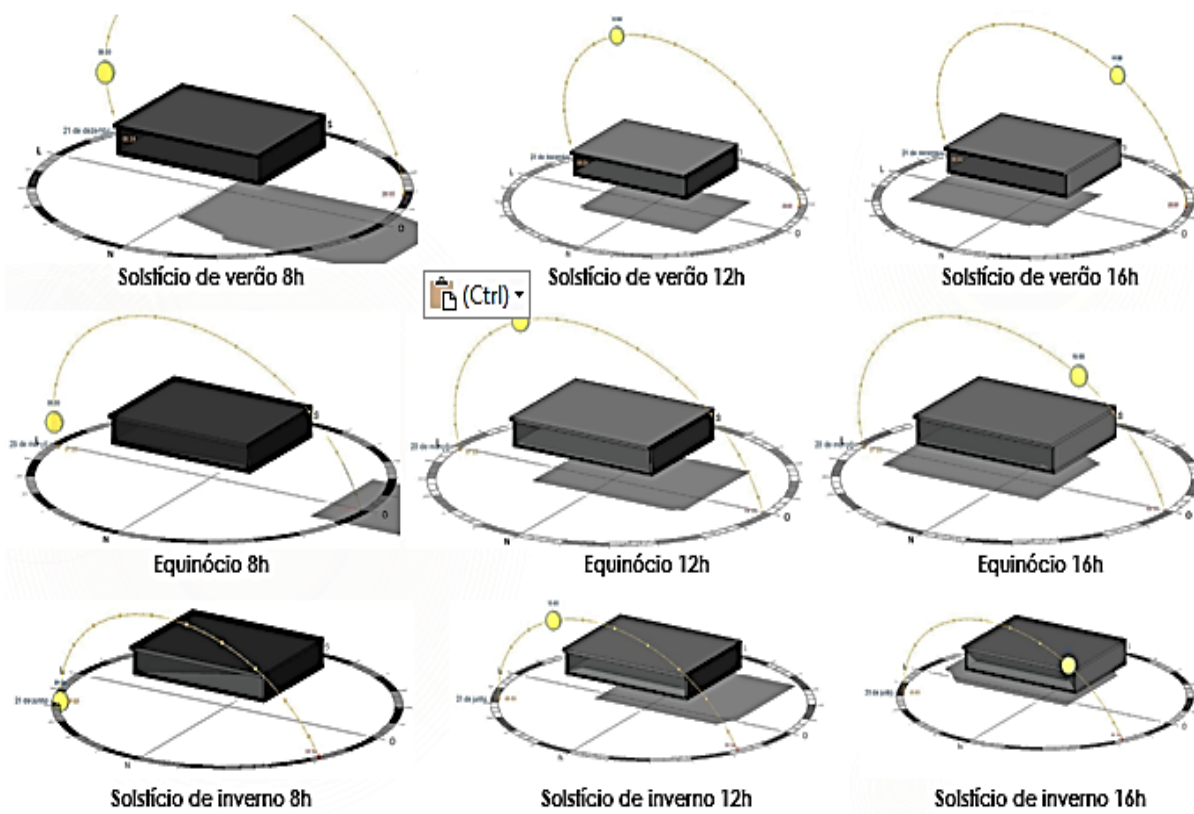


Figura 14: Simulação de isolamento utilizando o programa REVIT.



4.2.3.5 Iluminação artificial

A partir da NBR 16401 (2008), para escritórios o nível de iluminação deve ser de 500 lux, e sua potência dissipada é de 16 W/m², conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 3: Taxas típicas de dissipação de calor por iluminação.

Local	Tipo de iluminação	Nível de iluminação Lux	Potência dissipada W/m ²
Escritórios e bancos	Fluorescente	500	16

Fonte: Adaptado da norma NBR 16401, 2008, p. 54.

4.2.3.6 Equipamentos

Segundo o INMETRO (2018), o melhor coeficiente de performance para ar condicionado do tipo Split é igual a 3,23 W/W.

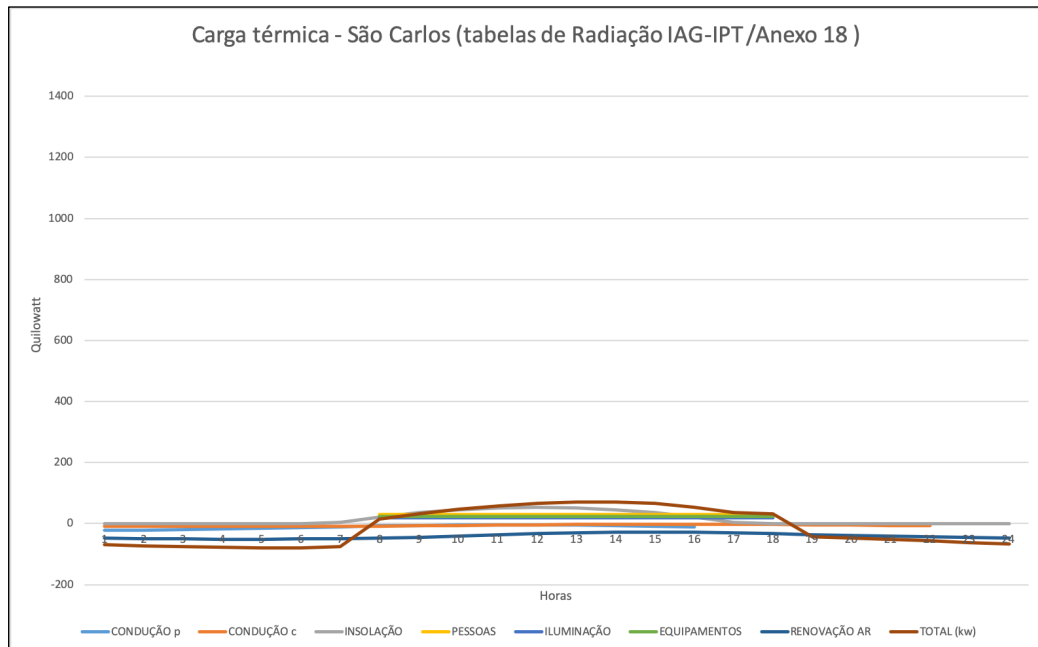
Tabela 4: Características AC

ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia				Critérios 2017			
Selo PROCEL de Economia de Energia							
CONDICIONADORES DE AR SPLIT CASSETE				Data atualização: 22/5/2017			
Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)			Split Cassete			
				Rotação Fixa		Rotação Variável	
A	3,23	<CEE		9	5,0%	20	62,5%
B	3,02	<CEE≤	3,23	37	20,7%	9	28,1%
C	2,81	<CEE≤	3,02	97	54,2%	1	3,1%
D	2,60	≤CEE≤	2,81	36	20,1%	2	6,3%
				Modelos:	179 un		32 un
				Marcas:	62		2

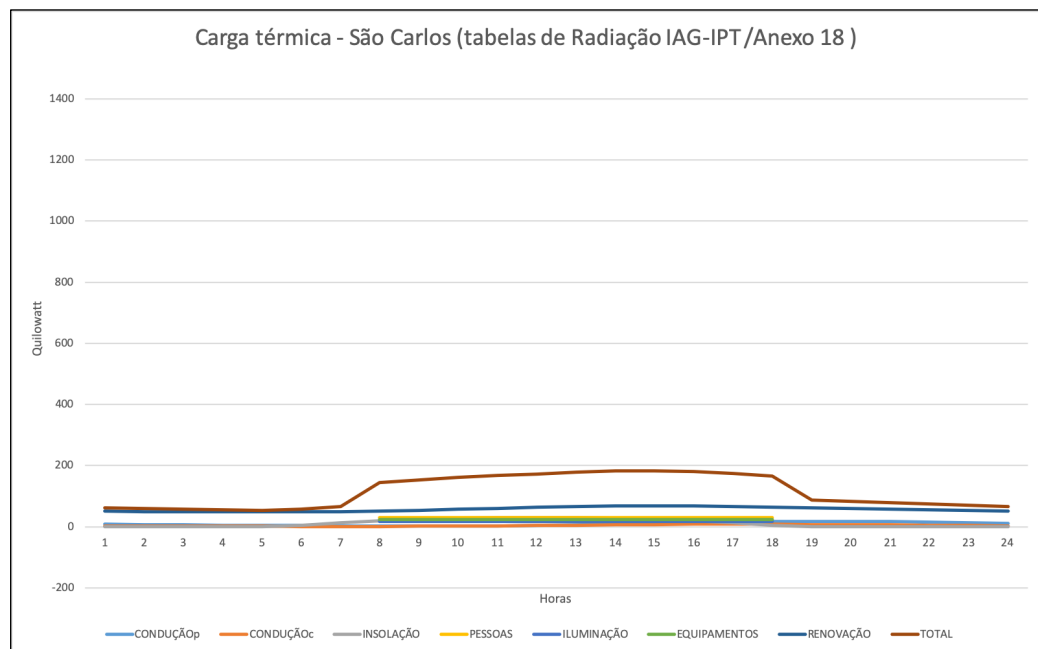
Fonte: INMETRO (2008).

4.2.4.2 Situação alterada

4.2.4.2.1 Inverno



4.2.4.2.2 Verão



5 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A partir das análises realizadas e dos gráficos analisados é possível quantificar a eficiência em se utilizar das estratégias pré determinadas na NBR 15220 para cada zona bioclimática brasileira. No caso analisado neste trabalho, nota-se que a partir de alterações simples na posição de implantação do projeto e na alteração dos materiais de suas superfícies externas, a carga térmica da edificação se aproximou do valor zero (situação ideal) de forma extremamente eficaz.

Podemos concluir que a carga térmica das edificações pode ser facilmente controlada, principalmente na fase de projeto das construções, se consideradas as estratégias de condicionamento térmico presente na norma, já citada anteriormente, e a implantação do local em questão. Soluções simples e de baixo custo podem controlar os ganhos térmicos das edificações de forma relevante, diminuindo assim o gasto energético com climatização artificial a fim de tornar o ambiente no interior do edifício mais confortável aos usuários. Além de se economizar com eletricidade, a maior eficiência térmica da edificação contribui para um ambiente urbano mais sustentável.

REFERÊNCIAS

AKBARI, H.; MENON, S.; ROSENFELD, A. Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO₂. **Climatic Change**, v.95, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. 2008. 160p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. Identificação da absortância solar de superfícies opacas por meio de espectrômetro de baixo custo. In: ENTAC, 11., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2006.

GRANJA, A. D. **Transmissão de calor em regime periódico: efeito da inércia térmica em fechamentos opacos**. 2002. 132p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - FEC, UNICAMP, Campinas. 2002.

RELATÓRIO DE SUSTENTABILIDADE DA ELETROBRÁS, 2018

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; LIVADA, I. A study of the thermal performance and of reflective coatings for the urban environment. **Solar Energy**, v.80, p.968-981, 2006.