

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG
JEAN RODRIGUES POMPEU DA SILVA

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE CONFORTO TÉRMICO SEGUNDO CRITÉRIOS
DA NBR 15220/2003 E DA NBR 15575/2013 DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL, NA
CIDADE DE CASCAVEL, PARANÁ**

CASCAVEL - PR
2016

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG
JEAN RODRIGUES POMPEU DA SILVA

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE CONFORTO TÉRMICO SEGUNDO CRITÉRIOS
DA NBR 15220/2003 E DA NBR 15575/2013 DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL, NA
CIDADE DE CASCAVEL, PARANÁ**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Professora Orientadora: Arquiteta Mestre Janaína Bedin

CASCAVEL - PR
2016

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

JEAN RODRIGUES POMPEU DA SILVA

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE CONFORTO TÉRMICO SEGUNDO CRITÉRIOS
DA NBR 15220/2003 E DA NBR 15575/2013 DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL, NA
CIDADE DE CASCAVEL, PARANÁ**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação da Professora **Mestre Arquiteta Janaína Bedin**.

BANCA EXAMINADORA



Orientadora Professora **Mestre Janaína Bedin**
Centro Universitário FAG
Arquiteta



Professora **Especialista Andrea Resende Souza**
Centro Universitário FAG
Engenheira Civil



Professor **Especialista Ricardo Paganin**
Centro Universitário FAG
Engenheiro Civil

Cascavel, 03 de novembro de 2016.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à responsável por minha
força e meu sorriso, nos bons e maus momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelas misericórdias e sustentação dadas a mim por todo tempo.

À Minha esposa Claudia, principal responsável por minhas alegrias. Agradeço pela companhia, compreensão e pela ternura.

Agradeço aos meus pais Edna e João e aos meus irmãos por todo o apoio, incentivos e carinho; e também aos demais familiares que me apoiaram e contribuíram realização deste objetivo.

Agradeço aos meus filhos Gabriel, Daniel e Davi pela compreensão durante as ausências diárias e pelo apoio às intermináveis horas de silêncio.

Agradeço também aos amigos pelos momentos de descontração, em especial a Mateus Andreetta, Leandro Gomes e Evandro Copceski por estarem sempre dispostos a contribuir e colaborarem para a realização do trabalho.

Agradeço à minha orientadora, professora arquiteta mestre Janaína Bedin por todo o conhecimento transmitido, e por acreditar neste trabalho.

Agradeço ao Centro Universitário FAG e todos os seus docentes e funcionários, por nos propiciar ensino de tamanha qualidade.

Agradeço a todos que participaram direta e indiretamente para a realização desse trabalho.

EPÍGRAFE

A conquista da liberdade é algo que faz tanta poeira, que por medo da bagunça, preferimos, normalmente, optar pela arrumação.

Carlos Drummond de Andrade

RESUMO

Atualmente existe um grande número de pesquisas relacionadas ao desempenho térmico do envelope construtivo e sobre o efeito do clima no conforto térmico dos ocupantes. No entanto, é baixo o número de pesquisas que relacionam a envoltória e a concepção em projeto simultaneamente com o intuito de se chegar a uma condição de conforto térmico mais adequado. Este trabalho teve o intuito de avaliar o desempenho de conforto térmico em projeto do edifício residencial na cidade de Cascavel, Paraná, uma vez que um aspecto de suma importância ao se conceber um projeto arquitetônico é o conforto térmico aos usuários, com o máximo de eficiência energética e o mínimo de impacto econômico e ambiental. Dessarte foi realizado a análise da concepção, localização e a influência dos materiais de construção da edificação, observando as recomendações e diretrizes construtivas que orienta a NBR 15220/2003, Desempenho Térmico de Edificações, tais como zoneamento bioclimático em que a edificação está inserida, tipos de vedações, estratégias de condicionamento térmico passivo e análise dos fechamentos opaco e transparente; e a NBR 15575/2013, Desempenho das Edificações, que utiliza a análise da transmitância térmica e a capacidade térmica. A metodologia utilizada no trabalho consistirá da análise da envoltória projetada e análise da zona bioclimática em que se insere a edificação, observando se o projeto atende aos requisitos da norma quanto aos materiais utilizados frente ao desempenho térmico. Levou-se em consideração os cálculos e conceitos sobre resistência térmica, onde pode-se verificar que os valores referentes a espessura e a condutibilidade térmica influenciam diretamente, principalmente quando avaliado a transmitância térmica, que depende do valor total da resistência térmica imposta pelo fechamento. Com o conhecimento da transmitância térmica, pode-se determinar o fluxo de calor que será transmitido em cada sistema de fechamento, variável de acordo com a orientação, influenciado diretamente pelos valores de radiação solar. Após a tabulação de todos os dados, tem-se que a edificação apresenta maiores valores de fluxo de calor nas orientações norte e noroeste, o que consequentemente apresenta uma maior quantidade de calor entrando nos ambientes voltados para estes lados. Verificou-se então que a edificação atende aos requisitos das Normas quanto as diretrizes construtivas da zona bioclimática que a mesma está situada. O projeto apresenta uma grande área envidraçada na fachada, o qual apresenta altos índices de incidência solar, contudo contou com uma solução quanto ao uso de materiais com baixa transmitância térmica, tornando a condição do edifício termicamente confortável no período de inverno e verão.

PALAVRAS CHAVE: Conforto Térmico. Edificação Vertical. Envoltória. Bioclimatologia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Indicando Carta bioclimática de Givoni, adotada para o Brasil.....	29
Figura 2 – Indicando quadro para determinação da sensação térmica	32
Figura 3 – Indicando o Mapa de classificação climática de Koppen-Geiger	33
Figura 4 – Indicando o microclima	34
Figura 5 - Troca de calor através de paredes opacas	36
Figura 6 – Indicando a relação da radiação solar e a latitude.....	39
Figura 7 - Indicando Coeficientes de transmissão e reflexão	42
Figura 8 – Indicando a linha de sombreamento na carta bioclimática	45
Figura 9 – Indicando os índices de absortância.....	46
Figura 10 – Indicando o zoneamento bioclimático brasileiro	47
Figura 11 – Fluxograma de desenvolvimento	49
Figura 12 – Indicando a planta baixa do térreo	51
Figura 13 – Indicando a planta baixa do pavimento tipo (8X).....	52
Figura 14 – Indicando a planta da fachada da frente - NW	52
Figura 15 – Indicando a planta da fachada de trás - SE	53
Figura 16 – Indicando a planta da fachada lateral - SW e NE.....	53
Figura 17 – Indicando o zoneamento bioclimático brasileiro	56
Figura 18 – Indicando a incidência de calor nos vidros	59
Figura 19 - Zona Bioclimática 2.....	62
Figura 20 - Aberturas para ventilação para a zona bioclimática 2	63
Figura 21 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 2	63
Figura 22 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 2	63
Figura 23 - Indicando o detalhe da envoltória do edifício.....	64
Figura 24 - Indicando a envoltória do edifício	65
Figura 25 - Resistência térmica superficial interna e externa.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela1 - Indicando os valores de Fator Solar (F_s) para diferentes tipos de vidro	41
Tabela 2 - Caracterização da envoltória	54
Tabela 3 - Dimensões consideradas.....	66
Tabela 4 - Resumo de resistência e transmitância dos fechamentos opacos	67
Tabela 5 - Tabela de radiação solar e orientação dos fechamentos.....	67
Tabela 6 - Tabela de cálculo de fluxo de calor na edificação.....	68
Tabela 7 - Quantidade de calor total.....	69
Tabela 8 - Quantidade de calor total na envoltória.....	70
Tabela 9 - Indicando os valores de U e CT	73

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Calor nas faces da edificação de acordo com a orientação	71
Gráfico 2 - Quantidade de calor nos fechamentos opaco e transparente.....	72

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01 - $R = L / \lambda$	57
Equação 02 - $R_t = R_{se} + R_1 + R_2 + R_n + R_{si}$	58
Equação 03 - $U = 1/R_t$	58
Equação 04 - $q = U(a.I.R.se + (t_e - t_i))$	59
Equação 05 - $q = F_s.I$	60
Equação 06 - $CT = e.c.\rho$	61

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	14
1.1 INTRODUÇÃO	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo Geral	15
1.2.2 Objetivos Específicos	16
1.3 JUSTIFICATIVA	16
1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	17
1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	17
CAPÍTULO 2	18
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1.1 Conceito de conforto no ambiente construído	18
2.1.2 Contexto ambiental do conforto	18
2.1.3 Contexto sociocultural e psicoespiritual do conforto	19
2.1.4 O vínculo entre os contextos ambiental e corporal do conforto	20
2.1.5 Conforto térmico	21
2.1.5.1 Variáveis do conforto térmico	21
2.1.5.2 Índices de conforto	25
2.1.5.3 Efeitos da ventilação no conforto térmico	26
2.1.6 Bioclimatologia	26
2.1.6.1 Arquitetura bioclimática	27
2.1.6.2 Carta bioclimática	28
2.1.7 Sensação térmica	31
2.1.8 Clima do Brasil	32
2.1.8.1 Impacto a nível regional	33
2.1.8.2 Impacto a nível local	34
2.1.9 Comportamento térmico da edificação	34
2.1.10 Fechamentos opacos	35
2.1.11 Fechamentos transparentes	36
2.1.11.1 Radiação solar	38
2.1.11.2 Emissividade	39
2.1.11.3 Fator solar	40

2.1.11.4	Transmissão	41
2.1.11.5	Reflexão.....	42
2.1.11.6	Absorção.....	43
2.1.11.7	Refração.....	43
2.1.12	Iluminação natural	44
2.1.13	Sombreamento	44
2.1.14	Orientação solar	45
2.1.15	Escolha da cor.....	46
2.1.16	Aplicação da NBR 15220/2003 no projeto de pesquisa	46
2.1.17	Conforto térmico da NBR 15575/2013 no projeto de pesquisa	48
CAPÍTULO 3.....		49
3.1	METODOLOGIA DE PESQUISA.....	49
3.2	TIPO DE PESQUISA	50
3.2.1	Caracterização da amostra.....	50
3.2.2	Fluxograma de desenvolvimento	49
3.2.3	Levantamento de características construtivas	54
3.2.4	Análise pela NBR 15220/2003	55
3.2.4.1	Arquitetura bioclimática	55
3.2.4.2	Fechamentos Opacos	56
3.2.4.3	Fechamentos transparentes	59
3.2.5	Análise pela NBR 15575/2013	60
CAPÍTULO 4.....		62
4.1	RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
4.1.1	Análise da Arquitetura Bioclimática segundo NBR 15220/2003	62
4.1.2	Análise dos Fechamentos Opaco e Transparente Segundo NBR 15220/2003	64
4.1.3	Análise do Conforto Térmico Segundo NBR 15575/2013	72
CAPÍTULO 5.....		74
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
CAPÍTULO 6.....		76
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		77
ANEXOS		82
APÊNDICES.....		88

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores dilemas enfrentados pela civilização contemporânea é o gerenciamento dos recursos energéticos. Atualmente, no Brasil, estão em discussão várias regulamentações e selos de eficiência energética e/ou de sustentabilidade de edificações (PEREIRA, 2009).

Sob esse ponto de vista, a construção civil, responsável pelo consumo de 40% da energia primária mundial (IEA, 2016), tem na eficiência energética das edificações um campo de pesquisas muito interessante, por envolver a maior parte daquelas variáveis.

Resgatando os conceitos passivos de arquitetura bioclimática e conceitos modernos como alicerce, os projetos de novas edificações podem incorporar tecnologias ativas sustentáveis na estrita medida das necessidades fisiológicas do ser humano.

Assim, conforto, no sentido literal, bem-estar, é o ato ou efeito de confortar. Significa comodidade, conchego (AURÉLIO, 2015). E, está diretamente relacionado com o estado de espírito que reflete a satisfação com o meio ambiente térmico que envolve a pessoa (ASHARE, 2005).

Segundo cita Zaleski (2006), se pode dizer que existem quatro conjunturas importantes em que o conforto está inserido. Seriam eles: físico (relacionado às sensações corporais e mecanismos homeostáticos – do equilíbrio do corpo); psicoespiritual (relacionado à consciência interna de si, em que se pode incluir estima, conceito, sexualidade, significado na vida de alguém), sociocultural (pertencente a relações interpessoais, familiares e sociais e também a tradições familiares, rituais e práticas religiosas); e ambiental (pertencendo à base externa da experiência humana: temperatura, luz, som, odor, cor, mobiliário, paisagem, etc.).

Sendo assim nota-se de diversas maneiras a influência dos materiais de construção da edificação à sua íntima relação com o conforto. E, tendo ciência das características físicas dos componentes empregados na construção civil, tampouco se esquecendo das necessidades do usuário, que se entrelaça por razões fisiológicas e psicológicas, a escolha por determinados materiais construtivos, sejam estruturais ou de acabamento torna-se de vital importância para o propósito ao qual o edifício foi construído seja atendido.

Da qualidade dos materiais empregados irá depender a solidez, a durabilidade, o custo, a estética e o acabamento final da obra (ZALESKI, 2006). Todavia, interessa basilarmente neste trabalho a maneira como os materiais influenciam o contexto térmico do conforto diretamente e, também os outros contextos indiretamente como, por exemplo, a cor da pintura na envoltória, um determinado tipo de revestimento, pela durabilidade que apresentará.

Segundo Longo (2012), o envelope da edificação é o principal determinante do clima interno, responsável pelos fluxos de calor em seu interior e, portanto, fator determinante do seu desempenho de conforto térmico.

No tempo presente a busca pelo conforto físico e ambiental associado à necessidade de economizar energia, impõe a adoção de estratégias projetuais eficientes. Para que esta ideológica estrutura vertical seja realmente eficaz, deve possuir estreita relação com o clima e as especificidades locais, ou seja, as soluções e os componentes construtivos devem ser adequados à tipologia em questão e a cada realidade climática.

Desta forma, desenvolveu-se o presente estudo que apresenta a aplicação de conceitos de eficiência ambiental e energética de edificações e arquitetura bioclimática nas fases de projeto. Pois, segundo Rodrigues (2015) quando da sua implantação tem excelente probabilidade de resultar em economias significativas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar o desempenho de conforto térmico em uma edificação residencial de 09 pavimentos na cidade de Cascavel – Paraná, em fase de projeto, comparando com a NBR 15220/2003 e a NBR 15575/2013.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a concepção do projeto arquitetônico;
- Levantar a zona bioclimática em que se insere a edificação segundo a NBR 15220/2003;
- Indicar os pré-requisitos e critérios da norma NBR 15220/2003;
- Analisar os materiais construtivos propostos para a envoltória, comparando com a NBR 15575/2013.

1.3 JUSTIFICATIVA

A conscientização do uso da energia apresenta estreitos laços com a adequação da concepção arquitetônica ao clima, evitando ou reduzindo os sistemas de condicionamento artificial de ar, quer com a finalidade de refrigerar, quer com a de aquecer os ambientes (FROTA, 2001).

À parte, a dimensão mais concreta que as estratégias bioclimáticas buscadas têm sobre os resultados termoenergéticos da edificação, os efeitos do clima sobre o homem atingem uma seara que é de suma importância para a sociedade em geral e para o ser humano em particular: seu rendimento no trabalho e suas condições psicofisiológicas. Antes de tudo, a busca por conforto térmico é produto do anseio constante do homem por satisfazer suas necessidades mais básicas (FANGER, 1970).

Olgay (1962) há mais de meio século já mostrava o que atualmente é tido como certeza: os melhores rendimentos físicos e mentais do homem são obtidos dentro de um intervalo de condições climáticas favoráveis. Fora dessa zona de conforto térmico ou ambiental, seja no excesso ou falta de calor, sua eficiência reduz consideravelmente, enquanto o stress e enfermidades aumentam.

Diante dessas variáveis de implicações dos materiais construtivos, aliados a envolvimento de variações climáticas e a evolução das necessidades do ser humano, este trabalho procura conhecer a percepção da envoltória sobre o conforto térmico e ainda esclarecer a relação entre clima, especificação de alguns materiais utilizados na construção civil e o contexto térmico proporcionado por eles. Ressaltam-se também as que as

propriedades físicas dos materiais dificilmente são suficientes para caracterizar por si só um ambiente confortável ou não. Portanto a envoltória apesar de inúmeros artifícios extras de controle de temperatura, como aparelhos de ar condicionados cada vez mais potentes, ainda mantém sua função de reguladora da temperatura.

Assim o conforto térmico passou a ter uma relação intrínseca com a eficiência energética. E para se minimizar os impactos ambientais a níveis mais sustentáveis é necessário diminuir o consumo de energia e haver a consolidação que um projeto mais eficiente tornou-se um passo fundamental, tendo em vista que grande parte da energia utilizada hoje se relaciona à construção e utilização das edificações (MATOS, 2012).

1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O projeto de um edifício residencial de 09 pavimentos na cidade de Cascavel - PR atende os pré-requisitos e diretrizes da NBR 15220/2003 - desempenho térmico de edificações e NBR 15575/2013 – desempenho das edificações, em relação ao conforto térmico?

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi limitada ao levantamento de dados dos projetos e memorial de especificações de um edifício na região do bairro Country da cidade de Cascavel – Paraná, destinado ao uso residencial, com 2 subsolos, pavimento térreo, contendo hall de entrada e área de lazer e oito pavimentos tipo de apartamentos residenciais, totalizando uma área de 12.324,00m².

Limitou-se à pesquisa a análise da concepção, localização (análise bioclimática), e características construtivas como, materiais de fechamento da envoltória (opacos e transparentes) da edificação, observando as recomendações e diretrizes construtivas da NBR 15220/2003 e NBR 15575/2013.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Conceito de conforto no ambiente construído

Conforto é um conceito bastante abrangente e a ideia de conforto, associado ao ambiente construído, reúne uma série de parâmetros de diferentes áreas do conhecimento como: acústica, ergonomia, luminotécnica, termodinâmica, entre outras (PAULINO, 1999).

2.1.2 Contexto ambiental do conforto

Segundo Zaleski (2006) a análise do desempenho térmico de uma edificação é uma abordagem complexa, em que inter atua com diversos fatores. Consiste em prever o comportamento potencial do edifício, seus elementos e instalações, quando submetidos a condições normais de exposição e avaliar se tal comportamento satisfaz as exigências do usuário. Souza e Mitidieri (1986), analisando o desempenho de habitações populares, citam a norma internacional ISO 6241 (1984) que estabelece catorze exigências dos usuários. Relativamente àquelas que classificam como bioambientais, são citadas:

- ✓ Exigências de conforto higrotérmico: umidade e temperatura do ar e das paredes.
- ✓ Exigências de conforto visual: aspecto dos espaços, iluminação, das paredes e vista para o exterior.
- ✓ Exigências de conforto acústico: isolamento acústico e níveis de ruído.
- ✓ Exigências de conforto tátil: rugosidade, eletricidade estática, umidade e temperatura de superfície.
- ✓ Exigências atmosféricas: pureza do ar e limitação de odores.

Essa relação poderia ser ainda aprofundada nos diferentes grupos de exigência, incluindo o condicionamento acústico dentro dos ambientes mediante absorção seletiva; controle da velocidade do ar e dos campos radiantes; da condutividade térmica e

capacidade térmica das superfícies, que determina limites de tolerância de temperatura (superior e inferior) para contato com a pele desprotegida (ZALESKI, 2006).

2.1.3 Contexto sociocultural e psicoespiritual do conforto

O espaço habitacional tem inúmeros significados além do utilitário. Dentre eles existem aqueles relativos ao status, à estética e ao simbolismo. O ser humano é o agente que diferencia e delimitam os espaços, atribuindo-lhes essas funções diversas. Sommer (1974) critica o funcionalismo, defendido pela corrente modernista ortodoxa, por não ser baseado no comportamento humano e na satisfação do usuário. Os edifícios não podem ser concebidos sem pessoas dentro. O autor explica os aspectos das funções da arquitetura, dizendo que não apenas a forma deve seguir a função, mas deve acompanhá-la sob todos os seus aspectos.

O desenvolvimento das faculdades humanas depende, entre outras coisas, da qualidade do ambiente onde são desenvolvidas as atividades humanas. Malard (1992) desenvolveu as diretrizes que embasaram a construção de uma metodologia para avaliação de ambientes construídos que, tomando o ser humano como referencial, considera as relações entre as características espaciais humanas e existenciais do espaço, justificando a existência humana como essencialmente espacial. O processo de projeto, hoje, torna indispensável envolver o usuário nesse processo. A abordagem fenomenológica raia como forma de compreensão das características espaciais que ultrapassam suas propriedades físicas (ALMEIDA, 1991).

Essa estreita relação entre homem e espaço também é o enfoque principal de Rapoport (1990), onde o autor trata da questão de como e por que surgiu a arquitetura, explicando o real significado e importância que ela tem para o homem ao longo de sua história.

Rapoport (1990), diz que a arquitetura nasceu pela necessidade de abrigo, o que evidencia que a função de habitação que a casa possui, pode ser considerada como a primeira função atribuída à arquitetura. Uma casa é um espaço complexo, que reúne as principais funções do homem, além de sua utilidade prática de abrigo. A apropriação de seus ambientes dá-se em função da identidade daqueles que o habitam. Ele fala das mesmas relações do homem com o meio ambiente construído que Malard (1992) defende em sua explanação sobre o tema.

Segundo Malard (1992), o homem e o espaço são existencialmente conectados, haja vista todas as ações humanas ocorrem no espaço. São os fenômenos subjetivos relacionados à atividade de habitar, que expressam as chamadas dimensões fenomenológicas, características fundamentais da habitação, que interferem na “habitabilidade”. Este termo é definido, conforme Zaleski (2006) *apud* Korosec-Serfaty (1992), como a qualidade maior dos edifícios, ou seja, a qualidade que os torna habitáveis. A autora faz uma analogia entre a habitabilidade de um edifício e a funcionalidade de um produto a qual chama de “equipamentabilidade”, dizendo que se esta deve ser a maior qualidade de um equipamento, então a “habitabilidade” deve ser a maior qualidade de um espaço arquitetônico. Por fim, a habitabilidade ainda pode ser entendida como um sinônimo de conforto, senão um valor que muito se assemelha a ele (BOLLNOW,2000).

2.1.4 O vínculo entre os contextos ambiental e corporal do conforto

O termo “Saúde” é conceituado como "situação de perfeito bem-estar físico, mental e social" das pessoas (OMS, 2016). Estas têm como seu habitat natural o ambiente urbano, ou seja, a cidade. Esta se apresenta historicamente como sendo a antítese do ambiente natural, ou do campo (ambiente rural) e pode ser definida como um espaço onde habitam e se organizam pessoas voltadas a atividades não agrícolas. Em estudos sobre a relação da cidade com o ambiente natural, percebe-se que a tradição colocou a primeira contra a segunda, e vice-versa (SPIRN, 2012).

Segundo Teixeira e Pereira (2001), analisar o ambiente construído segundo a ótica do conforto ambiental é uma abordagem segmentada e parcial, porque além de confortável, o ambiente deve ser saudável. Nem todas as condições de conforto correspondem a condições saudáveis. O homem, por meio dos sentidos, é levado a propor relevância às condições de conforto, quase sempre desprezando as demais.

Para Gianini (1997) “a saúde de qualquer indivíduo depende da saúde de todos, e a saúde de todos depende da saúde do meio ambiente”. O autor refere-se, neste contexto, ao meio ambiente urbano e aos componentes deste meio que interferem na manutenção da saúde de uma comunidade: alimentação, educação, lazer, segurança, trabalho, justiça, liberdade, cultura, transporte, saneamento e qualidade do ar. No meio urbano mede-se a qualidade do ar pelos índices de poluição, grau de umidade e temperatura do ar. Na caracterização destes

aspectos, interferem as variáveis climáticas: movimento do ar (velocidade e direção dos ventos), fator de radiação solar, precipitação, estação do ano, hora do dia, natureza das superfícies e cobertura do solo. As modificações climáticas provocadas pela urbanização constituem um dos aspectos que têm sido levantados por pesquisadores como possíveis agentes causadores do aparecimento de problemas de saúde nos habitantes urbanos (ZALESKI, 2006).

2.1.5 Conforto térmico

Um ambiente no qual o usuário se sente confortável quanto à temperatura possibilita um melhor rendimento tanto em atividades intelectuais como em atividades que exijam força física. Na definição da ASHRAE (2005), conforto térmico é um estado mental que reflete a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda. Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e o suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o ser humano está em conforto térmico. Por outro lado, quando o balanço térmico não é estável, ou seja, quando há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente, verifica-se o desconforto pelo calor ou pelo frio.

2.1.5.1 Variáveis do conforto térmico

As condições de conforto térmico são em função, portanto, de uma série de variáveis. Para avaliar tais condições, o indivíduo deve estar apropriadamente vestido e sem problemas de saúde ou de aclimação. São certas que as condições ambientais capazes de proporcionar sensação de conforto térmico em habitantes de clima quente e úmido não são as mesmas que proporcionam sensação de conforto em habitantes de clima quente e seco e, muito menos, em habitantes de regiões de clima temperado ou frio.

A partir das variáveis climáticas do conforto térmico, e de outras variáveis como a atividade desenvolvida pelo indivíduo considerado aclimatado e saudável e sua vestimenta. As variáveis do conforto térmico são diversas. E variando diferentemente algumas delas ou

até todas, as condições finais podem proporcionar sensações ou respostas semelhantes ou até igual (FROTA, 2001). Segundo Lamberts (2005), as variáveis podem ser pessoais, que são:

a) Metabolismo

Metabolismo é o processo de produção de energia interna a partir de elementos combustíveis orgânicos, ou seja, através do metabolismo, o organismo adquire energia. Porém, de toda energia produzida pelo organismo humano, apenas 20% é transformada em potencialidade de trabalho. Os 80% restantes são transformados em calor que deve ser dissipado para que a temperatura interna do organismo seja mantida em equilíbrio (LAMBERTS, 2005).

Isto acontece porque a temperatura interna do organismo humano deve ser mantida praticamente constante em 37°C (variando entre 36,1 e 37,2°C). Os limites para sobrevivência estão entre 32 e 42°C.

Como a temperatura interna do organismo deve ser mantida constante, quando o meio apresenta condições térmicas inadequadas, o sistema termorregulador do homem é ativado, reduzindo ou aumentando as perdas de calor pelo organismo através de alguns mecanismos de controle, como reação ao frio e ao calor.

Quando o organismo, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, perde para o ambiente o calor produzido pelo metabolismo compatível com a atividade realizada, experimenta-se a sensação de conforto térmico.

Segundo cita Figueiredo (2007), a taxa de metabolismo é o valor nominado de transformação da energia química em calor e trabalho mecânico devido às atividades do organismo humano. Geralmente essa taxa é expressa em termos de unidade de área da superfície total do corpo, por exemplo, W/m². A taxa de metabolismo também pode ser expressa em “met” ou “Btu/h.ft²”. $1 \text{ met} = 58,2 \text{ W/m}^2 = 18,4 \text{ Btu/h.ft}^2$ (ASHARE, 2005).

b) Vestimenta

A vestimenta equivale a uma resistência térmica interposta entre o corpo e o meio, ou seja, ela representa uma barreira para as trocas de calor por convecção. A vestimenta funciona como isolante térmico, pois mantém junto ao corpo uma camada de ar mais aquecido ou menos aquecido, conforme seja mais ou menos isolante, segundo seu ajuste ao corpo e a porção do corpo que cobre (LAMBERTS, 2005).

É importante notar que este isolamento se refere à transferência de calor do corpo todo, incluindo as partes não cobertas como cabeça e mãos. A unidade em que se expressa o isolamento pela vestimenta é o “clo”. $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W} = 1 \text{ terno completo}$ (ASHARE, 2004).

A norma ISO 7730 (1994) apresenta tabela completa com o índice de resistência térmica para as principais peças do vestuário.

Lamberts (2005) cita também os elementos das variáveis ambientais para o conforto térmico das pessoas. Segundo Fanger (1970), depende de quatro grandezas físicas principais: a temperatura do ar, a temperatura radiante (das superfícies), a umidade (relativa) do ar e a ventilação (velocidade do vento). Todas estariam inter-relacionadas e diretamente influenciadas pela concepção arquitetônica: orientação, disposição, dimensões, materiais, entre outros princípios da arquitetura.

c) Temperatura do ar

Segundo Lamberts (2005), a temperatura do ar é a principal variável do conforto térmico. A sensação de conforto baseia-se na perda de calor do corpo pelo diferencial de temperatura entre a pele e o ar, complementada pelos outros mecanismos termorreguladores. O calor é produzido pelo corpo através do metabolismo e suas perdas são menores quando a temperatura do ar está alta, ou maiores quando a temperatura está mais baixa.

A diferença de temperatura entre dois pontos no ambiente provoca a movimentação do ar, chamada de convecção natural: a parte mais quente torna-se mais leve e sobe enquanto a mais fria, desce, proporcionando uma sensação de resfriamento do ambiente.

A temperatura do ar ao redor do indivíduo é expressa no sistema internacional em °C. O corpo pode perder ou ganhar calor do ambiente se a temperatura do ar for diferente da temperatura da pele. Esta troca se dará por convecção e dependerá da diferença entre as temperaturas, sendo que a velocidade do ar representa um importante incremento nestas trocas (FIGUEIREDO, 2007).

Já Zaleski (2006), cita que as trocas térmicas entre o corpo e o ambiente podem acontecer por diversas situações: convecção, radiação e condução. Lamberts (2005) cita a evaporação como uma troca úmida. Como o ser humano precisa manter a temperatura corpórea constante, em torno de 37°C, o calor interno deve compensar as trocas com o meio.

Para o conforto, é interessante conhecer também a temperatura operativa. A temperatura operativa aludi as perdas da temperatura do corpo, que está submetido a um ambiente real com efeitos desiguais por todos os lados. A temperatura operativa é uma temperatura teórica que provoca uma perda de calor equivalente a todos os fenômenos que provocam esta perda caso o corpo estivesse em um ambiente imaginário submetido apenas a uma temperatura homogênea (LAMBERTS, 2005).

d) Temperatura radiante

Corresponde à temperatura superficial uniforme de um envoltório preto imaginário no qual o ocupante iria trocar a mesma quantidade de calor por radiação que num ambiente não uniforme existente (ASHARE, 2005). Também é expressa no sistema internacional em °C.

e) Umidade relativa

A umidade é caracterizada pela quantidade de vapor d'água contido no ar. Este vapor se forma pela evaporação da água, processo que supõe a mudança do estado líquido ao gasoso, sem modificação da sua temperatura (LAMBERTS, 2005).

O ar, a uma determinada temperatura, somente pode conter certa quantidade de vapor de água. Quando chegamos a esse valor máximo dizemos que o ar está saturado. Ultrapassado

este limite ocorre a condensação, no qual o vapor excedente passa ao estado líquido, provocando o aumento da temperatura da superfície (LAMBERTS, 2005).

De acordo com Lamberts (2005), estes processos dão lugar a uma forma particular de transferência de calor: um corpo perde calor por evaporação que será ganho por aquele no qual se produz a condensação.

Figueiredo (2007) relata que a umidade do ar é a razão entre o número de gramas de vapor d'água existente em 1m^3 de ar e a quantidade máxima de gramas de vapor d'água que 1m^3 pode conter quando saturado naquela temperatura. A umidade varia com a temperatura do ar.

f) Ventilação

A contribuição da ventilação na remoção de calor varia de acordo com a temperatura do ar e também da umidade (FIGUEIREDO, 2007).

2.1.5.2 Índices de conforto

Segundo Frota (2001), os índices de conforto térmico foram desenvolvidos com base em diferentes aspectos do conforto e podem ser classificados como a seguir:

- ✓ Índices biofísicos — que se baseiam nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente, correlacionando os elementos do conforto com as trocas de calor que dão origem a esses elementos;
- ✓ Índices fisiológicos — que se baseiam nas reações fisiológicas originadas por condições conhecidas de temperatura seca do ar, temperatura radiante média, umidade do e velocidade do ar;
- ✓ Índices subjetivos — que se baseiam nas sensações subjetivas de conforto experimentadas em condições em que os elementos de conforto térmico variam.

2.1.5.3 Efeitos da ventilação no conforto térmico

A velocidade do ar, que costuma ser abaixo que 1m/s, ocorre em ambientes internos sem necessariamente a ação direta do vento. O ar se desloca pela diferença de temperatura no ambiente, onde o ar quente sobe e o ar frio desce (convecção natural). Quando o ar se desloca por meios mecânicos, como um ventilador, o coeficiente de convecção aumenta, aumentando a sensação de perda de calor (convecção forçada). O deslocamento do ar também aumenta os efeitos da evaporação no corpo humano, retirando a água em contato com a pele com mais eficiência e assim, reduzindo a sensação de calor (LAMBERTS, 2005).

2.1.6 Bioclimatologia

Lamberts (2005) relata que a bioclimatologia estuda as relações entre o clima e o ser humano. Como forma de tirar partido das condições climáticas para criar uma arquitetura com desempenho térmico adequado, Lamberts (2005) *apud* Olgyay (1973), criou a expressão projeto bioclimático, que visa à adequação da arquitetura ao clima local. As escalas do clima sofrem variação em sua classificação de autor para autor. Em geral, podem ser considerados o macroclima (regional), o mesoclima (cidade) e o microclima (escala da edificação).

No macroclima são observadas as características climáticas de uma região, normalmente medidas em estações meteorológicas. As normais climatológicas são um exemplo de dados medidos em estações climáticas disponíveis para caracterização do clima das cidades. As normais são séries de dados padronizados pela OMM - Organização Meteorológica Mundial, calculadas para períodos de 30 a 30 anos, obtidas a partir de médias mensais e anuais de totais diários.

No mesoclima e microclima, são observadas as alterações locais na radiação solar, temperatura do ar, umidade e vento. Uma grande cidade pode alterar as condições do mesoclima pela poluição que gera ou pelo corte indiscriminado da vegetação, por exemplo. Já o microclima está diretamente relacionado à escala da edificação e de seu entorno imediato, sendo influenciado pelas consequências das outras escalas climáticas e também pela interferência direta na propriedade onde se encontra a edificação (LAMBERTS, 2005).

2.1.6.1 Arquitetura bioclimática

Conforme Lamberts (1997), após se ter uma visão panorâmica sobre as principais variáveis envolvidas nas questões de conforto em edificações, se pode concluir que através de conceitos pertinentes à bioclimatologia qual princípio bioclimático adotar-se-á nas diversas situações. Vale ressaltar que a busca entre os sistemas naturais e artificiais é sempre bem vinda em todos os setores, pois além de economia de energia e ganho de conforto térmico, propicia espaços arquitetônicos mais agradáveis (LAMBERTS, 1997).

Segundo Bogo *et al* (1994), a arquitetura bioclimática surgiu como objetivo de proporcionar ao ambiente construído um alto grau de conforto higrotérmico com baixo consumo de energia, fazendo uso da tecnologia baseada na correta aplicação dos elementos arquitetônicos.

Com isso, Lamberts (1997) afirma que estes conceitos de arquitetura bioclimática deveriam ser intrínsecos a qualquer concepção de projeto arquitetônico. Incluindo as condicionantes como o partido bioclimático, o qual norteia o desenvolvimento do projeto; como dados da análise climática do local, análise do terreno, orientação e mesmo dados relativos ao programa que o cliente quer ter respondido pelo projeto.

A análise do terreno, onde é especificada a legislação, as dimensões, a orientação, a topografia e a presença de vegetação, água e outros edifícios ou barreiras que possam obstruir o vento e o sol. A legislação dita os afastamentos, o número máximo de pavimentos e os recuos do edifício, entre outros aspectos que podem influir no desempenho térmico do edifício (LAMBERTS, 1997).

Segundo Lamberts (1997), a análise do clima local fornece diversas dicas de como o projeto deve ser conduzido. A análise climática informa quais estratégias bioclimáticas são mais adequadas em função do clima local e para cada período do ano.

A análise dos usuários e dos horários de uso é importante porque define parâmetros como a vestimenta mais provável que os usuários utilizarão nos ambientes, sua atividade (metabolismo), a geometria do ambiente (que pode identificar problemas de assimetria térmica), e os horários críticos de uso (LAMBERTS, 1997).

Sequencialmente Lamberts (1997) cita a função a que se destina um ambiente no edifício. Visto que as funções residencial, comercial e pública são distintas do ponto de vista da independência do clima e conseqüentemente da necessidade térmica. A função

arquitetônica é primordial na escolha de determinado critério ou estratégia bioclimática a ser adotado para ter um ambiente termicamente confortável.

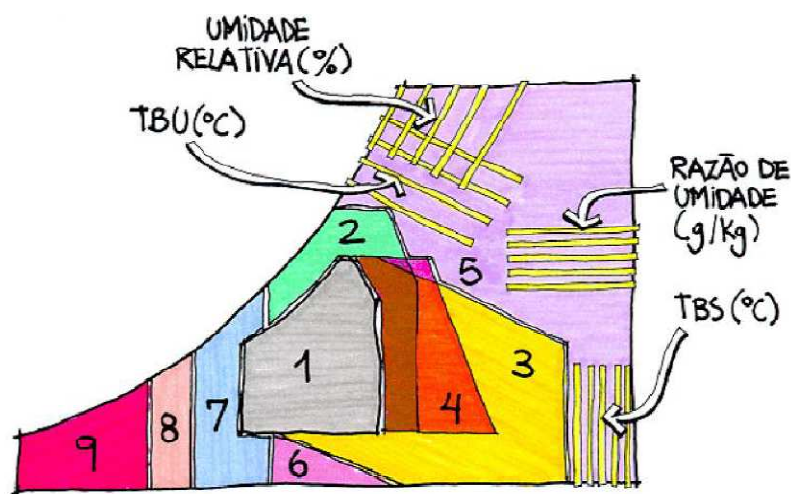
A forma arquitetônica pode ter grande influência no conforto ambiental em uma edificação, visto que interfere diretamente sobre os fluxos de ar no interior e no exterior e, também na quantidade de luz solar e calor recebidos pelo edifício. Com relação ao conforto térmico, a influência da forma arquitetônica já foi evidenciada em vários locais do mundo, como na cidade de Marrakesh em Marrocos, onde as edificações foram construídas de forma a canalizarem para o interior da cidade a brisa que vem do mar (úmida e refrescante). Da mesma forma, o vento quente continental é desviado pela forma das edificações, possibilitando conforto na escala urbana (LAMBERTS, 1997).

Com isto, a arquitetura, que Vitruvius *apud* Lamberts (1997) havia conceituado como o conjunto de solidez, utilidade e beleza, passa a abranger também a diminuição da necessidade de iluminação, ventilação e climatização artificial, substituição do consumo de energia convencional por energia renovável e a utilização de materiais que minimizem o impacto ambiental da edificação e térmico sobre a edificação.

2.1.6.2 Carta bioclimática

Com o estudo do clima brasileiro e levando em conta os demais fatores que influenciam no conforto térmico, tendo como exemplo a umidade e a sensação térmica, que diferencia para cada indivíduo, adotou-se uma carta bioclimática elaborada para países em desenvolvimento como sendo compatível com o Brasil, apresentada na Figura 01.

Figura 1 – Indicando Carta bioclimática de Givoni, adotada para o Brasil



Fonte: Lamberts (1997)

Conforme cita Bello (2013), para cada área da carta bioclimática, corresponde uma estratégia bioclimática a ser adotada para melhorar o desempenho térmico do edifício:

1 - Zona de conforto: um ambiente que encontramos condições adequadas tem possibilidade de promover conforto térmico à maioria dos usuários (BELLO, 2013).

2 - Zona de ventilação: a ventilação é indicada para melhorar a sensação térmica em ambientes com temperatura superior aos 29°C ou com umidade relativa maior que 80%. A ventilação cruzada é a solução mais descomplicada para clima quente e úmido, porém trata-se de uma estratégia aplicável até a temperatura de 32°C, pois a temperatura interna vai acompanhar a temperatura externa e, a partir deste limite de temperatura, os ganhos térmicos por convecção serão superiores ao resfriamento promovido pela ventilação. No caso de temperaturas diurnas superiores a 29°C, mas com umidade relativa inferior a 60%, a ventilação deve ser promovida no período noturno a fim de evitar que a umidade relativa fique ainda mais baixa (BELLO, 2013).

3 - Zona de resfriamento evaporativo: segundo Bello (2013), ao evaporar, a água pode reduzir a temperatura do ambiente e também aumentar a umidade relativa. Esta água quando evaporada pode ser de uma fonte artificial ou mesmo a água contida em plantas, itens estes que também podem ter função de decoração. Como esta solução aumenta a umidade relativa do ar, necessita-se também de uma boa ventilação para evitar o acúmulo de vapor de água. Devido a isto, o resfriamento evaporativo é

aconselhável quando a temperatura de bulbo úmido não ultrapasse os 24°C e a temperatura de bulbo seco fique abaixo dos 44°C (LAMBERTS, 1997).

4 - Zona de massa térmica para resfriamento: Para esta estratégia é empregada a capacidade dos fechamentos opacos de reter calor e devolvê-lo ao interior do ambiente quando a temperatura do ar for menor que a da superfície deste material. Esta capacidade é denominada inércia térmica. Quanto maior a inércia térmica de um material, menor será a variação de temperatura no interior do ambiente. Os ambientes de uma edificação construída com fechamentos opacos externos de grande massa térmica demorarão em começar a receber a energia solar absorvida por estes fechamentos, mantendo-se assim em temperatura menor que o exterior por mais tempo (BELLO, 2013).

5 - Zona de ar condicionado: será necessário o uso do ar condicionado em regiões de clima rigoroso, que ultrapassa os limites de temperatura e umidade relativa do ar onde podem ser aplicados sistemas passivos de condicionamento térmico. É indicado nesta situação que também se utilize as outras soluções citadas anteriormente, a fim de diminuir a dependência do aparelho de condicionamento de ar (BELLO, 2013).

6 - Zona de umidificação: segundo Lamberts (1997), o desconforto do usuário também pode ser causado pelo ar muito seco, ou seja, a baixa umidade relativa do ar, situação que geralmente ocorre em ambientes com temperatura inferior aos 27°C. Para solucionar o problema, deve-se recorrer à umidificação, que pode ser feita simplesmente dispondo recipientes com água no ambiente a ser umidificado (BELLO, 2013).

7 - Zona de massa térmica para aquecimento: quando o ambiente se encontra com temperatura entre 14°C e 20°C, uma opção para melhorar a sensação térmica do ambiente é utilizar a massa térmica juntamente com o aquecimento solar passivo. Atua da mesma maneira que a massa térmica para resfriamento, com a diferença de que neste caso as paredes internas devem ter maior massa térmica que os fechamentos externos a fim de que o calor ultrapasse estes fechamentos, chegando ao interior dos ambientes mais facilmente para então ser absorvido pelas paredes internas, sendo liberado quando a temperatura começar a diminuir (BELLO, 2013).

8 - Zona de aquecimento solar passivo: nesta região da carta bioclimática, situada entre 10,5°C e 14°C se recomendam que o edifício receba um isolamento térmico mais rigoroso. As superfícies envidraçadas da envoltória preferencialmente devem ficar orientadas para o sol e aberturas nas orientações menos favoráveis devem ter as

menores dimensões possíveis, além de escolher uma cor adequada para os fechamentos (BELLO, 2013).

9 - Zona de aquecimento artificial: quando a temperatura fica abaixo dos 10,5°C, o aquecimento solar passivo não consegue proporcionar ganhos de calor suficientes para alcançar o conforto térmico. Recomenda-se então o uso de sistemas de aquecimento artificial, porém, para diminuir a sua dependência, é indicado que se utilize também sistemas de aquecimento passivo (BELLO, 2013).

2.1.7 Sensação térmica

De acordo com Knight (2009), temperatura é uma grandeza física relacionada ao estado de movimento ou à agitação das partículas que constituem os corpos.

A temperatura que os termômetros mostram depende apenas da medição feita no ar. Já a sensação térmica, tecnicamente conhecida como Temperatura Equivalente de Windchill (T_w), é a temperatura que realmente sentimos, tendo seu valor influenciado principalmente pela velocidade do vento, mas também pela umidade e densidade do ar, entre outros fatores climáticos (INMET, 2016).

Para determinar a sensação térmica pode-se utilizar equação empírica ou tabelas. Ambas consideram apenas os efeitos de temperatura do ar e a velocidade do vento. A Figura 02 apresenta o quadro para determinação da sensação térmica.

Figura 2 – Indicando quadro para determinação da sensação térmica

	Velocidade do Vento												
km/h	7	11	14	18	22	25	29	32	36	40	43	45	50
Temp °C	Sensação térmica correspondente												
-3	-4	-8	-10	-13	-14	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22	-22
-2	-3	-6	-9	-11	-13	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-20	-21
-1	-2	-5	-8	-10	-12	-13	-14	-16	-17	-17	-18	-19	-19
0	-1	-4	-7	-9	-10	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-17	-18
1	0	-3	-5	-7	-9	-11	-12	-13	-14	-14	-15	-16	-16
2	1	-2	-4	-6	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-14	-15
3	2	-1	-3	-5	-6	-8	-9	-10	-11	-11	-12	-13	-13
4	3	0	-2	-4	-5	-6	-8	-8	-9	-10	-11	-11	-12
5	4	1	-1	-2	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-9	-10	-10
6	5	3	1	-1	-3	-4	-5	-6	-6	-7	-8	-8	-9
7	6	4	2	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-6	-7	-7
8	7	5	3	1	0	-1	-2	-3	-3	-4	-5	-5	-5
9	8	6	4	3	1	0	-1	-1	-2	-3	-3	-4	-4
10	9	7	5	4	3	2	1	0	-1	-1	-2	-2	-2
11	10	8	7	5	4	6	2	2	1	0	0	-1	-1
12	11	9	8	6	5	4	4	3	2	2	1	1	1
13	12	10	9	8	7	6	5	4	4	3	3	3	2
14	13	12	10	9	8	7	6	6	5	5	4	4	4
15	15	13	12	11	10	9	9	8	7	7	6	6	6
16	16	14	13	12	11	10	9	9	8	8	7	7	7
17	17	15	14	13	12	11	11	10	10	9	9	9	8
18	18	16	15	14	13	13	12	12	11	11	10	10	10
19	19	17	16	15	15	14	13	13	13	12	12	12	11
20	20	18	17	17	16	15	15	14	14	14	13	13	13

Fonte: Bello (2013)

Para exemplificar, considera-se uma localidade onde a temperatura do ar é de 10°C e a velocidade do vento é de 22km/h. Logo, a sensação térmica dos indivíduos que se encontram em tal localidade é de 3°C.

Percebe-se que, quando se trata de conforto térmico de habitações, a sensação térmica é um dado muito mais relevante do que simplesmente a temperatura do ar.

2.1.8 Clima do Brasil

O Brasil tem uma vasta área territorial de 8.515.767,049 km², segundo o IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2016) e encontra-se situado entre os paralelos de latitudes 05° 16'N e 33° 44'S, e entre os meridianos de longitudes 34°47'W e 73°59'W. Ao norte, atravessa-o a linha do Equador e ao sul o Trópico de Capricórnio. Noventa e três por cento do território brasileiro se localiza no hemisfério sul e 92% acima do trópico de

capricórnio, fazendo com que se tenham os climas: tropical (que é o predominante) e, subtropical. (BELLO, 2013 *apud* FRANSOZO, 2003).

Devido a esta extensão territorial, apenas um clima não é capaz de representar todas as regiões. Uma classificação mais específica do clima brasileiro foi proposta por Koppen-Geiger (Figura 03). Esta classificação leva em conta fatores como relevo, vegetação, regime de chuvas, temperatura, entre outros.

Figura 3 – Indicando o Mapa de classificação climática de Koppen-Geiger



Fonte: Portal São Francisco (2016)

2.1.8.1 Impacto a nível regional

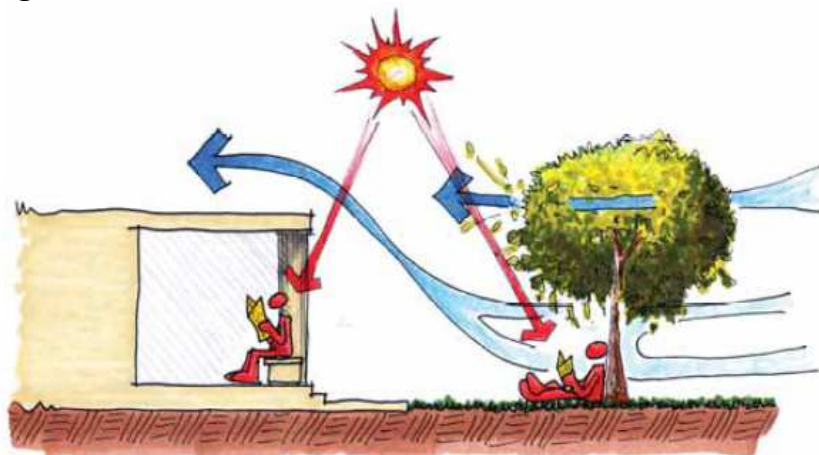
De acordo com a Classificação de Köppen-Geiger, a cidade de Cascavel se enquadra no clima Cfa, caracterizando uma região de clima temperado úmido com verão quente, temperaturas geralmente entre 17°C e 19°C com chuvas bem distribuídas. Nos meses de inverno há ocorrência de geadas sendo a média de temperatura neste período inferior a 10°C. No mês mais quente (fevereiro) a máxima é pouco maior que 30°C. Segundo a Prefeitura Municipal de Cascavel (2016), o município situa-se a 24°57'21" de latitude sul de e a 53°27'19" de longitude oeste, tem clima subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes, invernos com geadas pouco frequentes, não apresentando estação seca definida. As chuvas,

que apresentam uma média de 1.822mm/ano, sendo outubro o mês mais chuvoso, e agosto o mês com menor índice pluviométrico.

2.1.8.2 Impacto a nível local

Segundo Lamberts (2014), chegando mais próximo da edificação, tem-se a escala microclimática, causando impacto a nível local na edificação. É aqui que variáveis como a vegetação, a topografia, o tipo de solo e a presença de obstáculos naturais ou artificiais irão influenciar nas condições locais do clima, conforme demonstra a Figura 04. O microclima pode ser concebido e alterado pelo engenheiro ou arquiteto. O estudo das variáveis desta escala é fundamental para o lançamento do projeto, pois uma série de particularidades climáticas do local pode induzir a soluções arquitetônicas mais adequadas ao bem estar das pessoas (LAMBERTS, 2014).

Figura 4 – Indicando o microclima



Fonte: Lamberts (2014)

2.1.9 Comportamento térmico da edificação

O Sol, importante fonte de calor, incide sobre o edifício representando sempre certo ganho de calor, que será função da intensidade da radiação incidente e das características

térmicas dos paramentos do edifício. Frota (2001) relata que os elementos da edificação, quando expostos aos raios solares, diretos ou difusos, ou ambos com a radiação de alta temperatura, podem ser classificados como: a) opacos; b) transparentes.

Comparando-se um fechamento opaco com um translúcido, é nos fechamentos transparentes que acontecem as principais trocas térmicas e a passagem da luz para o interior da edificação. Portanto, essas superfícies atuam diretamente no conforto luminoso e térmico.

2.1.10 Fechamentos opacos

Nos fechamentos opacos, quando existe uma diferença de temperatura entre as superfícies interna e externa se dá a transmissão de calor, mostrado na Figura 05. O sentido do fluxo de calor se dará sempre da superfície mais quente para a mais fria (LAMBERTS,1997). E o fenômeno de troca de calor se dá em três fases distintas:

- Troca de calor com o meio exterior: a superfície externa do fechamento recebe calor por convecção e radiação, aumentando a temperatura desta superfície. A radiação incidente no fechamento opaco tem uma parcela refletida e outra absorvida. A absorvidade tem como determinante principal a cor da superfície;

- Condução através do fechamento: elevando-se a temperatura externa ao fechamento, haverá uma diferença de temperatura entre as superfícies externa e interna, esta diferença ocasionará a troca de calor entre as duas. Nesta fase a troca de calor se dará por condução e a intensidade do fluxo de calor pelo material dependerá da condutividade térmica dos materiais que constituem o fechamento. A condução de calor através do fechamento também depende da espessura do fechamento;

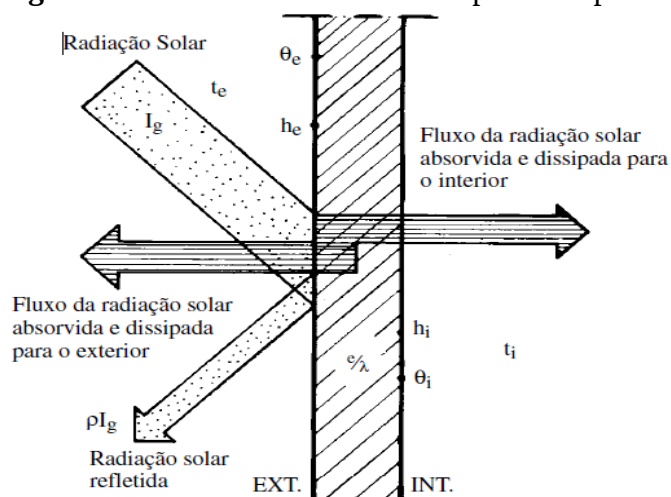
- Troca de calor com o meio externo: nesta fase, assim como na primeira, as trocas térmicas voltam a ser por convecção e por radiação. Com a chegada do calor, a temperatura da superfície interna do fechamento irá aumentar em relação à temperatura do ar.

De acordo com Papst (1999), analisando a transmissão de calor em regime periódico, se dá o efeito da inércia térmica sobre os fechamentos opacos. Através de seu estudo ele verificou que muitos benefícios podem ser obtidos através do uso da inércia térmica em fechamentos opacos externos a edificações, sendo que estes benefícios se dão no amortecimento dos picos de carga térmica.

Segundo Lamberts (1997), ao se utilizar isolantes térmicos nas paredes de edificações localizadas em climas de invernos rigorosos, a edificação se torna mais confortável internamente, pois mantém a temperatura interna constante por mais tempo. Entretanto, em regiões muito quentes, uma envoltória muito isolada dificulta a dissipação dos ganhos internos e solares para o exterior, contribuindo para o aumento da temperatura interna.

A orientação da fachada principal da edificação é muito importante na construção. Pois de acordo com a época do ano, algumas paredes recebem maior ou menor incidência solar. Este fator influencia no valor da carga térmica total que é transferida para o interior da instalação. Assim a carga térmica pode ser reduzida, utilizando uma orientação solar adequada.

Figura 5 - Troca de calor através de paredes opacas



Fonte: FROTA (2001)

2.1.11 Fechamentos transparentes

Depois do uso marcante dos materiais naturais, como a madeira, o tijolo e o concreto na arquitetura moderna, retornam ao centro das atenções dos debates arquitetônicos internacionais a utilização do vidro. Este aparece com versões inéditas e renovadas (ASSIS, 1998).

As superfícies transparentes são elementos que geralmente permitem um alto fluxo de calor, tornando-se mais vulneráveis, principalmente em regiões de grande insolação, como

no Brasil, devido à sua característica de transmitir diretamente a radiação solar incidente para o interior das edificações e de causar o efeito estufa, responsável pela elevação da temperatura interna.

Segundo Castro (2006), uma das funções dos fechamentos exteriores de uma edificação é controlar de forma adequada as interferências do meio externo, visando proporcionar um melhor condicionamento ambiental. As áreas transparentes, ao serem utilizadas nesses fechamentos, ocupam um papel importante quando se trata de conforto térmico, pois, ao receberem radiação solar, contribuem consideravelmente para a elevação da temperatura no ambiente interno. Portanto, as necessidades de iluminação e contato visual com o exterior, as quais essas superfícies transparentes visam atender, devem ser conjugadas com os requisitos para conforto térmico, de modo que se tenha um melhor aproveitamento da energia solar incidente sobre a edificação.

Os materiais transparentes usualmente empregados em fachadas são constituídos por vidros e películas poliméricas, as quais costumam ser aplicadas sobre áreas já instaladas. Esses materiais podem representar uma opção em termos de controle da radiação solar, porém esse controle é de atuação limitada. Se uma área transparente for mal dimensionada ou posicionada de forma errada pode provocar um calor excessivo no ambiente (CASTRO, 2006).

De acordo com Rivero (1985), os fechamentos transparentes são um ponto fraco da envoltória de um edifício, apresentando uma série de inconvenientes: possuem elevada transmitância, obrigando a aumentar o dimensionamento dos equipamentos condicionadores de ar para verão e inverno, e incrementando as despesas de instalação e funcionamento.

O mercado oferece vários tipos de materiais transparentes em diversas cores, permitindo uma grande liberdade no projeto. De acordo com Assis (1998), os materiais transparentes usualmente empregados são constituídos por vidros ou policarbonatos. Hoje também as películas poliméricas costumam ser aplicadas sobre as áreas envidraçadas já instaladas. Porém, o que se tem notado é que a estética quase sempre norteia a escolha do material, não se levando em consideração as características óticas e o comportamento desses materiais frente à radiação solar.

Estes materiais podem representar uma opção em termos de controle da radiação solar devido à exposição excessiva em fachadas. Esse controle é de atuação limitada, pois uma área transparente mal dimensionada e/ou mal posicionada geograficamente, dificilmente evitará o ganho de calor excessivo ou a ocorrência do efeito estufa na edificação, implicando

provavelmente numa maior ausência de conforto térmico, e uso de refrigeração artificial para compensar o ganho térmico ocorrido devido à fachada transparente (ASSIS, 1998).

Dessa forma, pode-se depreender que o aproveitamento da luz natural é uma questão relevante quando se objetiva uma edificação energeticamente eficiente. O principal cuidado é com a escolha do vidro, para que a edificação não se transforme em uma caixa concentradora de calor (SARDEIRO, 2007).

Na fase de projeto é onde se obtém o melhor potencial da escolha de materiais construtivos, onde podemos obter economia de energia, beleza e conforto ao usuário, isso atento ao se definir a implantação e orientação das fachadas.

Portanto, depreende-se que a fachada é um dos elementos responsáveis pelos resultados obtidos no conforto térmico, e o vidro, imprescindível para compor a fachada, é um dos materiais mais requisitados nas exigências de desempenho térmico e energético (SARDEIRO, 2007).

2.1.11.1 Radiação solar

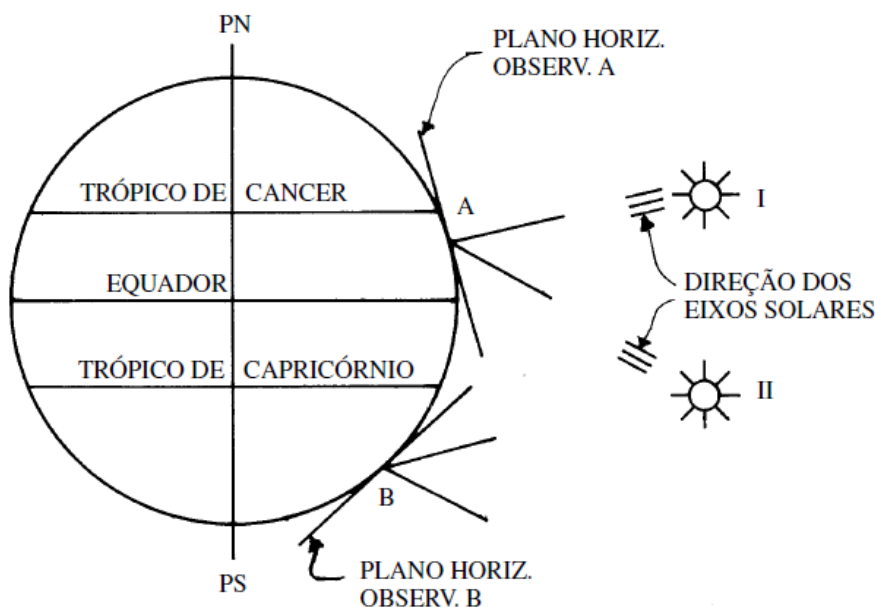
A radiação solar, radiação eletromagnética emitida pelo sol, compreende um espectro que varia de 300 a 3000nm (DUFFIE & BECKMAN, 1980), sendo denominada radiação de onda curta. O espectro solar abrange três faixas de comprimento de onda: ultravioleta, visível e infravermelho, definidas a seguir.

- Radiação ultravioleta (comprimentos de onda de 100 a 380nm): causa desbotamento ou descoloração de tecidos, melhora a síntese de vitamina D através da pele; possui efeito bactericida e é responsável pelo bronzeamento.
- Radiação visível (de 380 a 780nm): está associada à intensidade de luz branca transmitida, influenciando diretamente no grau de iluminação de um ambiente.
- Radiação infravermelha (780 a 3000nm): fonte de calor interfere nas condições internas do ambiente, através do ganho de calor solar.

A radiação que atravessa a atmosfera e atinge a superfície terrestre distribui-se nas regiões do espectro nas seguintes proporções aproximadas: 7% no ultravioleta, 47% no visível e 46% no infravermelho. Estas proporções variam segundo as condições atmosféricas, nebulosidade e presença de vapor de água (DUFFIE & BECKMAN, 1980).

Segundo Frota (2001), a latitude de uma região, associada à época do ano, vai determinar o ângulo de incidência dos raios de sol com relação ao plano do horizonte do lugar, conforme mostra a Figura 06. Admitindo-se a lei da Física, segundo a qual a quantidade de radiação solar recebida por uma superfície é proporcional ao cosseno do ângulo que os raios solares fazem com a normal ao plano desta superfície, é evidente que, para o sol na posição I, a localidade A receberá maior quantidade de radiação que a B. Do mesmo modo, a localidade A receberá maior radiação quando o sol estiver numa determinada época do ano, na posição I, do que quando em outra data, localizado na posição II. Pode-se então afirmar que quanto maior for a latitude de um local, menor será a quantidade de radiação solar recebida e, portanto, as temperaturas do ar tenderão a ser menos elevadas.

Figura 6 – Indicando a relação da radiação solar e a latitude



Fonte: Frota (2001)

2.1.11.2 Emissividade

É uma característica da superfície dos corpos. Quanto mais reduzida for a emissividade, mais reduzida é a transferência de calor por radiação. A emissividade normal de um vidro é de 0,89, mas pode variar de 0,84 para os vidros não revestidos até 0,10 para vidros revestidos com uma camada designada de baixa emissividade. Quanto menor o valor da

emissividade, menor o “Valor U” resultante. A emissividade varia de 0 (não há emissão de infravermelho longo) a 1 (100% de emissão de infravermelho). Uma janela de baixa emissividade, essencialmente, dobra a resistência térmica, porque um revestimento de baixa emissividade praticamente barra a condução de infravermelho (SARDEIRO, 2007).

2.1.11.3 Fator solar

É o somatório da parcela da radiação que atravessa diretamente o vidro, com a parcela que é absorvida pelo vidro e reenviada para o ambiente interno LAMBERTS (2005 *apud* GIVONI, 1982). A última parcela é função das condições ambientais externas e internas (as condições padrão de verão da ASHRAE (2005) são: coeficiente de transferência de calor na superfície externa e interna do vidro: $h_e = 22,7 \text{ W/m}^2\text{°C}$ e $h_i = 8,3 \text{ W/m}^2\text{°C}$). E literaturas complementam: o Sol a 30° acima do horizonte, em plano perpendicular à fachada; temperatura interior ambiente igual à temperatura exterior e coeficiente de condutância térmica superficial (exterior: $23 \text{ W/m}^2\text{°C}$ e interior: $8 \text{ W/m}^2\text{°C}$).

Convém observar que a definição de Fator Solar (FS) dada pela NBR 15220 (2003) é “o quociente da energia solar absorvida por um componente pela energia solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo”.

O FS serve para caracterizar um determinado material, ou seja, através dele sabe-se a quantidade de energia que atravessa o material, chegando ao interior do ambiente, por exemplo: o fator solar de um vidro simples de 3mm é de 0,87; isso significa que, 87% da radiação solar incidente sobre o vidro penetra no ambiente, $FS = \tau + 1/3\alpha$ (NBR 15220, 2003).

Portanto, quanto maior o fator solar, maior a quantidade de energia transmitida. A Tabela 01 apresenta o Fator Solar (Fs) para outros tipos de vidro.

Tabela1 - Indicando os valores de Fator Solar (Fs) para diferentes tipos de vidro

Superfícies Separadoras		Fator Solar (Fs)
Vidros	Transparente (Simples)	
	3 mm	0,87
	6 mm	0,83
	Transparente (duplo)	
	3 mm	0,75
	Cinza (fumê)	
	3mm	0,72
	6mm	0,60
	Comum Verde	
	8mm	0,58
	10mm	0,54
	Reflexivo	
	6mm	0,26 a 0,37

Fonte: Lamberts (1997)

Santos (2002) cita a fração de 1/3 e Lamberts *et al* (1997) de 1/2 para a energia absorvida e reenviada para o ambiente interno. Para exemplificar essa proporção, tem-se o vidro *High-Performance Reflective Glass*, fabricado nos Estados Unidos pela *Sun Guardian*, que chega a 87% de absorção. Isso significa que aproximadamente 29% serão reenviadas para o interior em forma de calor, e este constitui um percentual bastante significativo e definidor na hora de escolha da superfície transparente ou translúcida. O FS normalmente é indicado pelos fabricantes dos materiais transparentes e translúcidos e através dessa variável, é possível calcular o ganho de calor solar.

2.1.11.4 Transmissão

A transmissão depende da composição química do material, de sua cor, da absorção ótica dentro do material, do ângulo de incidência (Figura 07), e Bamford (1984) complementa: e também das características superficiais do vidro. A transmissão direta através de uma superfície envidraçada pode ser reduzida, se esta possuir alguma rugosidade, difundindo a radiação incidente.

Figura 7 - Indicando Coeficientes de transmissão e reflexão



Fonte: Sardeiro (2007)

O vidro tem transmissão seletiva, ou seja, sua transmissão depende do comprimento de onda da radiação incidente (RIVERO, 1985). Apesar de ser um material transparente, para os comprimentos de onda inferiores a 300nm e superiores a 5000nm, ele possui um comportamento semelhante aos materiais opacos. A proporção de energia transmitida diretamente por um material transparente reduz à medida que o ângulo de incidência da radiação supere 45° com a normal; ao se aproximar de 60° com a normal, essa transmissão diminui consideravelmente, pois, a partir daí, começa a ser significativa a proporção de radiação refletida. Mas Santos (2002), ressalta que uma redução na transmissão da radiação significa a maioria das vezes, que essa radiação é absorvida pelo vidro, decorrendo um aumento de temperatura do material.

2.1.11.5 Reflexão

A reflexão depende basicamente do ângulo de incidência e do índice de refração do vidro. Normalmente, os vidros comumente empregados na construção civil têm índice de refração igual a 1,5 ($n=1,5$). À medida que aumenta o ângulo de incidência em relação à normal, aumenta a reflexão da radiação. E, Santos (2002), salienta que “o aumento da reflexão acarreta uma diminuição progressiva da transmissão na mesma proporção. A absorção mantém-se quase inalterada, devido ao maior trajeto dentro do material ser

compensado pela diminuição de intensidade da radiação que entra no material, causado pelo aumento no valor da primeira reflexão”.

2.1.11.6 Absorção

Uma parte da radiação, ao incidir em uma superfície transparente, é absorvida pelo material e conseqüentemente convertida em calor. Independente do comprimento da onda absorvida, toda a energia, uma vez absorvida, converte-se em calor. A absorção varia em função da espessura do material e de seu coeficiente de absorção α . Em virtude dos fatos mencionados, é de fundamental importância o estudo das características óticas dos materiais transparentes, a fim de se obter valores individualizados referentes a cada comprimento de onda, visando a otimização do desempenho do projeto (SARDEIRO, 2007).

2.1.11.7 Refração

Em 1621, o matemático Wilbord Snell explicou o fenômeno da refração, dizendo que a luz, ao penetrar num novo meio, os raios mudam de direção (SARDEIRO, 2007). Snell mediu o desvio da luz em vários meios, como a água, ar, vidro, e constatou que o desvio variava de acordo com o meio. O ângulo de refração varia com o ângulo de incidência. Se o raio incidir em um ângulo de 90° , não ocorrerá desvio, pois uma parte é refletida e outra transmitida na mesma direção. A refração pode ser definida como a modificação da direção de propagação de uma onda que incide sobre uma interface entre dois meios e prossegue através do segundo meio. O índice de refração de um material é função do comprimento de onda e da frequência da radiação incidente, sendo que, quando é adotado um valor único para o material, é uma média dos valores encontrados para os diversos comprimentos de onda.

O fenômeno de refração da luz ocorre quando a luz atravessa materiais com índices de refração distintos; a direção do feixe de luz é alterada durante sua trajetória através do material. Esse é o princípio dos blocos e painéis de vidros prismáticos. O principal aspecto negativo do fenômeno da refração é a distorção das imagens, o que sugere uma integração de porções da janela dedicadas distintamente à iluminação e a visão.

2.1.12 Iluminação natural

Sardeiro (2007) *apud* Robbins (1986), também afirma que o sistema de iluminação natural tem como objetivo, através das aberturas, permitirem a entrada de luz natural na habitação onde houver necessidade, contribuindo, assim, para a diminuição do consumo de luz artificial e, portanto, de energia elétrica. Nesse contexto, Pereira (1995), coloca que esse critério no projeto tem grande influência no desempenho global das edificações, exigindo um projeto adequado, visto que as aberturas influenciam não só no desempenho luminoso, como também no térmico.

Sardeiro (2007) *apud* Scarazzato (1995) salienta a qualidade da luz natural que é, sem dúvida, a principal razão para justificar o seu uso no interior dos edifícios, “pois sendo uma combinação entre a luz do Sol e a luz do céu, é a única fonte de luz cuja resposta do sistema visual humano é a mais eficiente, pelas características do seu espectro luminoso, o que não acontece com nenhuma fonte de luz produzida pelo homem”. É importante que se tenha um maior conhecimento a respeito do uso adequado da iluminação natural no interior dos edifícios.

2.1.13 Sombreamento

Segundo Lamberts (2014), o Brasil tem clima quente na maioria do seu território e na maior parte do ano, e, portanto o sombreamento é uma das estratégias mais importantes. Esta estratégia deve ser utilizada sempre que a temperatura do ar for superior a 20°C, mesmo quando a carta bioclimática indicar conforto térmico. As principais técnicas de sombreamento são o uso de proteções solares ou brises, beirais de telhado generosos, marquises, sacadas, persianas, venezianas ou outro protetor interno, a orientação adequada do projeto e o uso de vegetação (LAMBERTS, 2014). A Figura 08 mostra a linha de sombreamento sobreposta à carta bioclimática.

Figura 8 – Indicando a linha de sombreamento na carta bioclimática



Fonte: Lamberts (2014)

2.1.14 Orientação solar

Hertz (1998) descreve a importância da orientação solar no projeto de uma edificação: “a orientação de um edifício é determinada por fatores como o vento, a radiação solar e a vista, além da necessidade de privacidade e do controle do ruído circundante”. Ainda, afirma que é através da orientação que é possível calcular a quantidade de radiação incidente em um objeto construído, e que “graças a uma orientação direcional correta do edifício, pode-se obter uma diferença de até 3°C entre a temperatura externa e a interna, além de conseguir reduzir a potência da forte incidência da radiação solar durante as horas quentes”.

Lamberts *et al* (2014) afirma que, no hemisfério sul, adota-se os seguintes dados para efeitos de estudo de fachada relativo à posição solar:

- ✓ Fachada orientada para leste: recebe sol no período da manhã em todas as posições;
- ✓ Fachada orientada para oeste: recebe sol no turno da tarde e em todas as estações. Diz-se que a fachada crítica, que recebe maior quantidade de radiação solar;
- ✓ Fachada orientada para o norte: o sol é mais baixo durante o dia no inverno, e em boa parte da primavera e do outono. Enquanto que, no verão, o sol estará mais alto, incidindo em poucas horas do dia;

- ✓ Fachada orientada para o sul: o sol é inexistente durante o inverno, pouco presente na primavera e no outono. Enquanto no verão estará mais presente no início e no final do dia.

2.1.15 Escolha da cor

As cores, além da função estética, têm suma importância quando o assunto é conforto térmico e visual. As cores escuras, pelo elevado índice de absorção, absorvem maior quantidade de radiação e são indicadas para locais nos quais o aquecimento é pertinente. Em contrapartida é possível fazer uso de cores claras, aproveitando-se da baixa absorção térmica, em locais onde é necessária a redução dos ganhos térmicos, indicado na Figura 09. E, explorando a elevada refletância, é aplicável em recintos em que a luz natural seja pouco desfrutada (BAGNATI, 2013).

Rivero (1985) menciona a importância do uso correto da cor: “a diminuição do coeficiente de absorção da superfície por meio de uma cor adequada é outro dos recursos, talvez o mais econômico, embora exija um constante cuidado de manutenção”.

Figura 9 – Indicando os índices de absorção

Pintura:	Branca	0,20
	Amarela	0,30
	Verde clara	0,40
	“Alumínio”	0,40
	Verde escura	0,70
	Vermelha	0,74
	Preta	0,97

Fonte: NBR 15220 (2003)

2.1.16 Aplicação da NBR 15220/2003 no projeto de pesquisa

Basicamente, a NBR 15.220 (2003) serve para definição e metodologia de cálculo dos parâmetros de interesse para a avaliação prescritiva do desempenho térmico. A parte 2 da norma trata dos métodos de cálculo da transmitância térmica “U” ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$), da capacidade

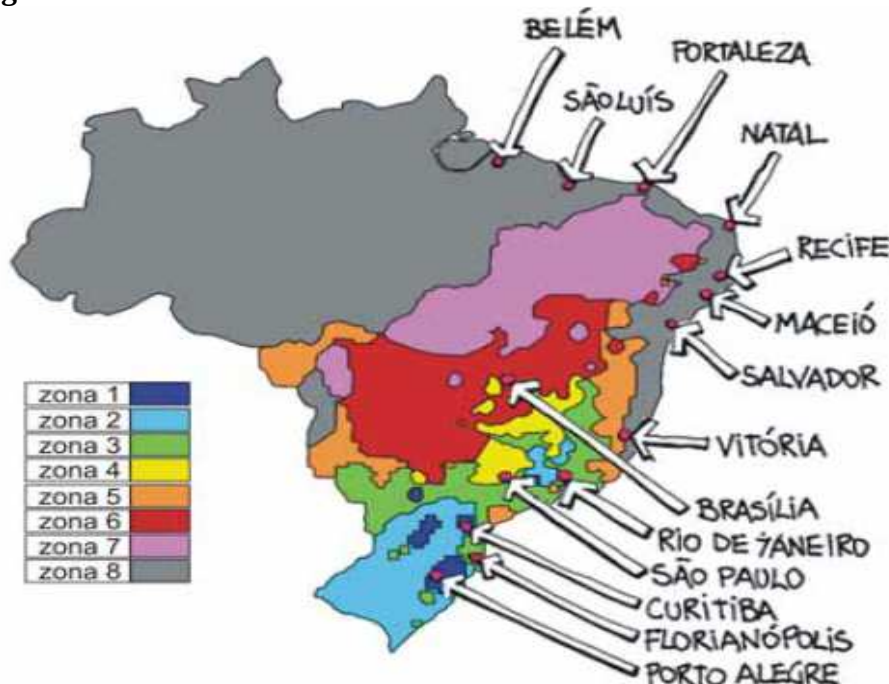
térmica “CT” ($\text{kJ/m}^2\cdot\text{K}$), da absorvância à radiação solar “ α ”, do atraso térmico “ ϕ ”, e do fator solar “FS” de elementos e componentes de edificações. Há também, na parte 3, orientações que amparam análises de especificações do projeto-tipo.

Não obstante o escopo dessa última subdivisão da norma ser a construção de habitações de interesse social (HIS) de até três pavimentos, suas orientações podem servir de guia para a avaliação de edificações residenciais gerais, especialmente se consideradas algumas premissas presentes nas HIS, como a ventilação natural e padrões básicos de construção para os sistemas de vedação e cobertura obstantes não adotados neste estudo de caso.

A primeira contribuição essencial ao estudo é a divisão do território brasileiro nas 8 Zonas Bioclimáticas, indicado na Figura 10. Classificação que serve de premissa para todas as avaliações que se seguem. É uma divisão um pouco mais detalhada do país em relação à classificação climática mundial de Köppen-Geiger.

Diretrizes construtivas por zona bioclimática e estratégias de condicionamento térmico passivo têm, na norma, caráter apenas de orientação, mas são bons parâmetros para a concepção de alterações em projetos como esse. Uma análise obediente a tais preceitos deverá ser feita para a zona bioclimática onde se insere a edificação escolhida, como base de aplicação das especificações técnicas do projeto (LAMBERTS, 2014).

Figura 10 – Indicando o zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: Lamberts (2014)

2.1.17 Conforto térmico da NBR 15575/2013 no projeto de pesquisa

Consoante a parte I da NBR 15575 (2013), há três métodos normativos de avaliação do desempenho térmico do edifício, como descritos abaixo:

O procedimento 1 - Simplificado, verifica o atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos para o envelopamento da obra, com base na transmitância térmica e capacidade térmica das paredes de fachada e das coberturas.

O procedimento 2 - Simulação Computacional, item este que não será abordado neste estudo de caso. A avaliação da edificação pelo método da “Simulação Computacional”, previsto para os casos em que a avaliação anterior de transmitância e capacidade térmicas resulte em desempenho térmico insatisfatório.

O procedimento 3 - Medição, não foi realizado haja vista o fim precípua deste trabalho ser a análise em fase de projeto. Assim, cada requisito do procedimento 1-simplificado será discutido no capítulo 4, metodologia de pesquisa, abordando critério, método e nível de desempenho possível.

São dois os requisitos estabelecidos:

- i. adequação de paredes externas a critérios de transmitância e capacidade térmica;
- ii. o conforto ambiental, aqui entendido como conforto térmico, visual e acústico, pois todos estão diretamente relacionados com o uso de fechamentos transparentes e opacos em edificações. As questões relativas ao conforto visual e acústico não estão abordados neste trabalho.

CAPÍTULO 3

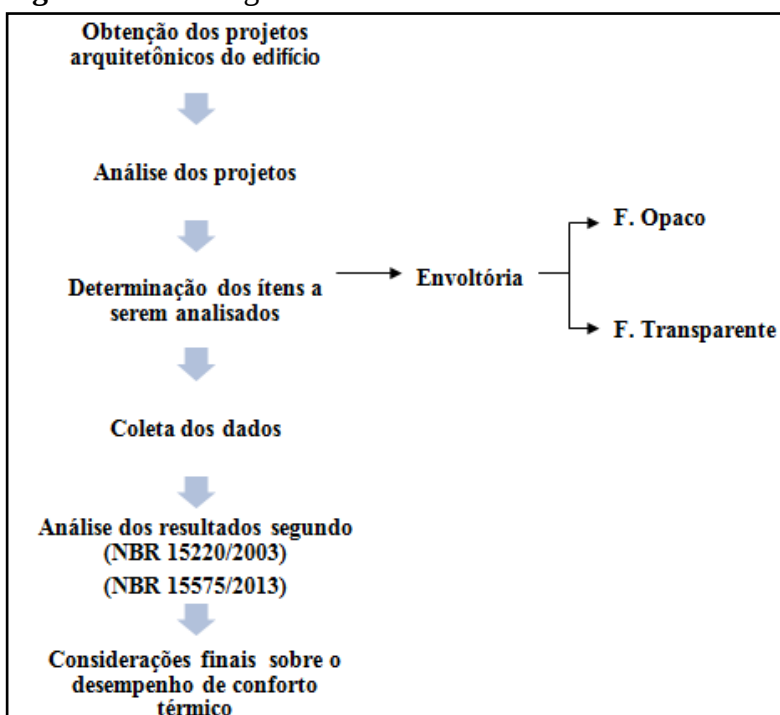
3.1 METODOLOGIA DE PESQUISA

Neste capítulo foi apresentada a metodologia de trabalho, que compreende o fluxograma de desenvolvimento, o tipo de pesquisa, a caracterização da amostra, o levantamento das características construtivas, bem como demonstrar os critérios e requisitos das normas de análise.

3.1.1 Fluxograma de desenvolvimento

Para orientar com maior clareza a análise da pesquisa foi desenvolvido etapas de trabalho. Estas etapas podem ser visualizadas no fluxograma mostrado na Figura 16.

Figura 11 – Fluxograma de desenvolvimento



Fonte: Autor (2016)

3.2 TIPO DE PESQUISA

Trata-se de uma pesquisa do tipo qualitativa, pois foram analisados dados do projeto que está sendo estudado. Os procedimentos metodológicos utilizados obedeceram à seguinte sequência: seleção do projeto do edifício estudado; análise da concepção do projeto; formulando um modelo de análise da arquitetura bioclimática na qual o edifício está inserido; indicar os pré-requisitos e critérios exigidos na norma NBR 15220 (2003) para fechamentos opacos e transparentes; comparar com os materiais construtivos propostos para a envoltória, comparando com a NBR 15575 (2013); e, análise qualitativa dos resultados obtidos.

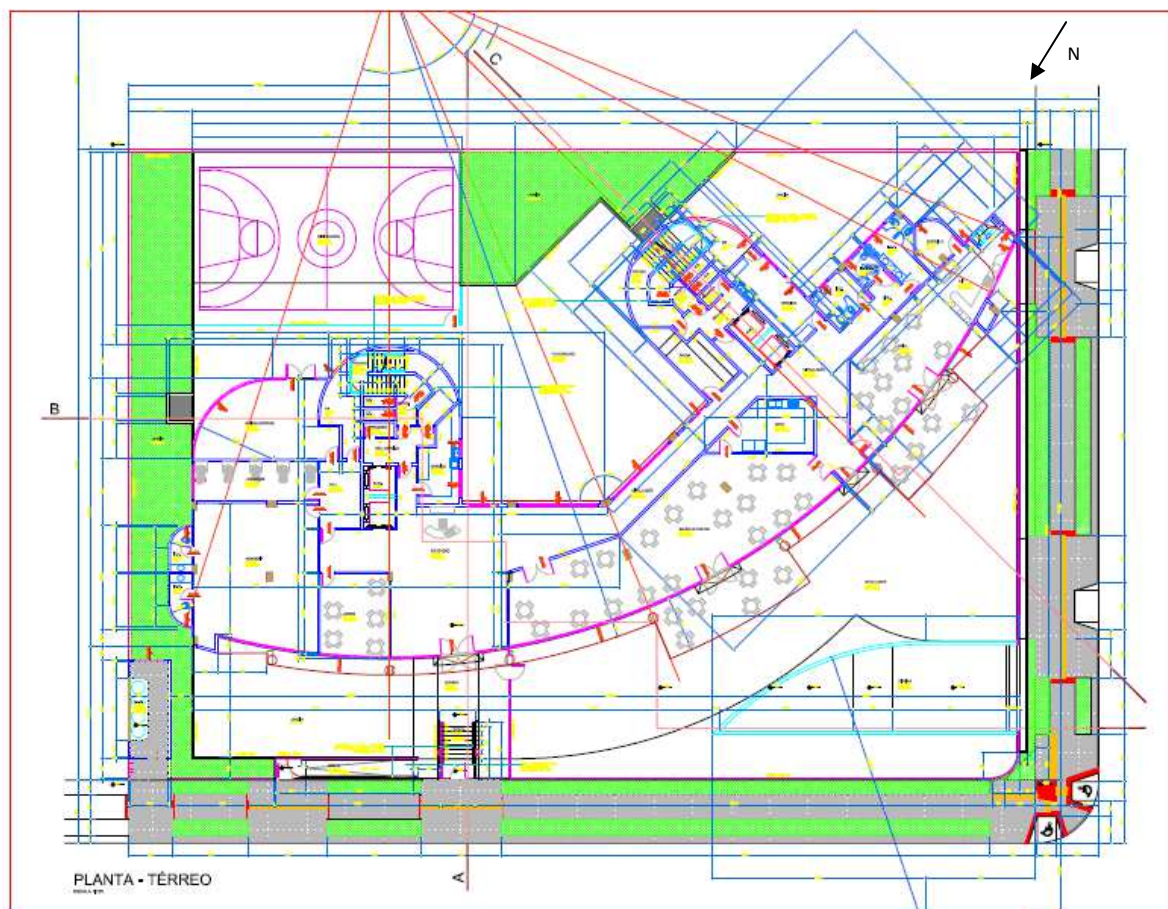
As informações do projeto foram obtidas através dos projetos executivos e com o projetista da construtora proprietária do empreendimento. A qualificação dos dados busca sugerir possíveis adequações para a edificação antes da execução, também pretende verificar quanto da edificação atende os parâmetros de conforto térmico.

3.2.1 Caracterização da amostra

O estudo de caso desta pesquisa foi realizado analisando-se os projetos de um edifício residencial, que será locado na Rua Vicente Machado esquina com Rua Goiás, na cidade de Cascavel, região oeste do estado do Paraná.

O projeto do edifício contém nove pavimentos e dois subsolos, sendo assim distribuídos: os subsolos 1 e 2 para estacionamentos. O térreo terá hall de entrada, área de lazer, com entrada pela Rua Goiás, mostrado na Figura 11.

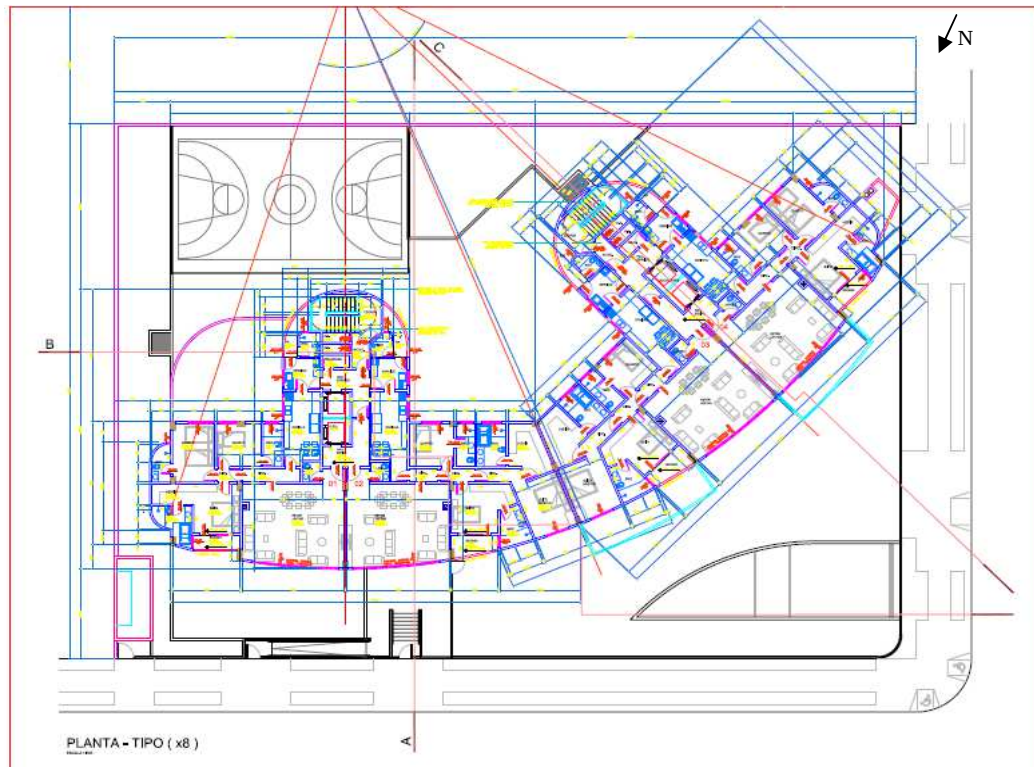
Figura 12 – Indicando a planta baixa do térreo



Fonte: Construtora Titanium (2015)

O pavimento tipo (Figura 12) será em número de oito. Contempla quatro apartamentos residenciais por pavimento. O edifício conta ainda com uma área destinada a serviços, tais como, barrilete e área de reservatórios. O total de área da edificação é de 12.324,00 m².

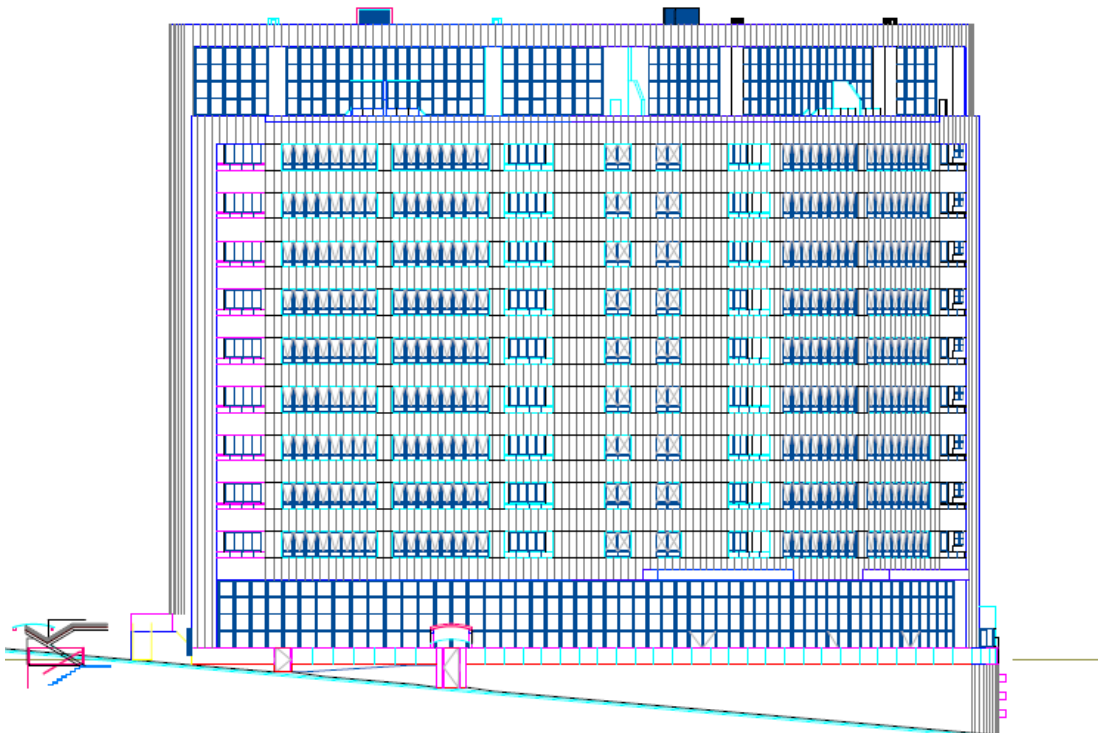
Figura 13 – Indicando a planta baixa do pavimento tipo (8X)



Fonte: Construtora Titanium (2015)

As Figuras 13, 14 e 15 demonstram as plantas de fachada do edifício.

Figura 14 – Indicando a planta da fachada da frente - NW



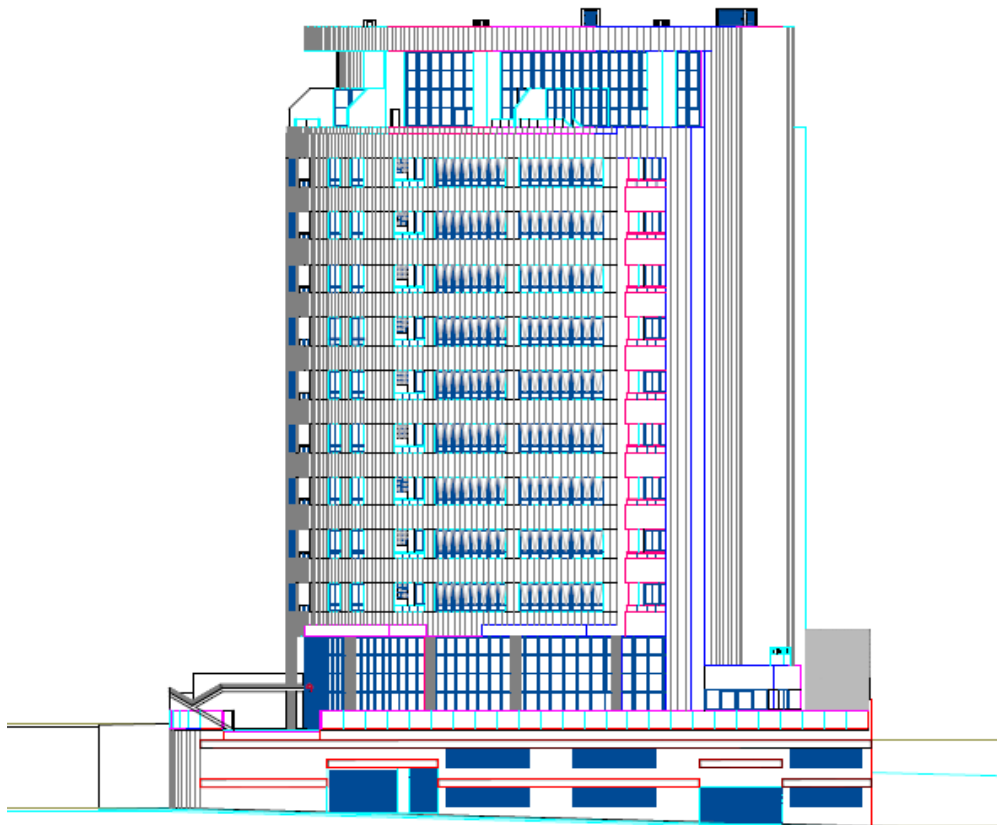
Fonte: Construtora Titanium (2015)

Figura 15 – Indicando a planta da fachada de trás - SE



Fonte: Construtora Titanium (2015)

Figura 16 – Indicando a planta da fachada lateral - SW e NE



Fonte: Construtora Titanium (2015)

3.2.2 Levantamento de características construtivas

O projeto proposto apresenta uma construção vertical residencial conforme descrito no item anterior. Neste levantamento não foram abordadas características tais como instalação da obra, fundações e movimentações de terra. A estrutura edilícia será de concreto armado. Foram detalhados os fechamentos opacos e fechamentos transparentes.

Os fechamentos verticais opacos, ou seja, as paredes estão diretamente relacionadas ao aspecto da habitação e ao conforto térmico. Os dados destes materiais estão arrolados no Apêndice B, como: o tipo de material utilizado como fechamento opaco, detalhando dimensões, material de fabricação, finalidade no edifício e técnica construtiva a ser empregada pelo executor, tal como quantidade de camadas e espessura dos materiais.

Neste item também foi elaborada para análise do fluxo de calor na envoltória uma planilha, (Planilha 01, Apêndice A), onde foi utilizado as características dos fechamentos (onde foi observada a área, face e orientação do edifício onde tal material será utilizado) levantadas do Apêndice B. Realizou-se o cálculo de quantidade de calor total (W) que estará entrando nos ambientes (Figura 24). Para se obter esse resultado utilizou-se as resistências, transmitâncias, fluxos de calor e ganho de calor pelas aberturas calculadas para cada ambiente estudado, mostrada na Tabela 02.

Tabela 2 - Caracterização da envoltória

AMBIENTE	PAREDE	FECHAMENTO	ORIENTAÇÃO/HO RÁRIO	RADIAÇÃO SOLAR (W/m ²)	ÁREA (m ²)	FLUXO DE CALOR (q - W/m ²)	FLUXO DE CALOR PELO FECHAMENTO (FLUXO X ÁREA)	FLUXO TOTAL PAREDE (Q total parede W)
I	PAREDE 01	TRANSPARENTE						
	PAREDE 01	OPACO						

Fonte: Autor (2016)

São considerados fechamentos transparentes as janelas, claraboias e qualquer outro elemento construtivo transparente, tendo função de iluminação e também de ventilação, no caso de janelas. Estes fechamentos são os principais responsáveis pelas trocas térmicas da

edificação, pois permitem além das trocas térmicas por condução e convecção, como nos fechamentos opacos, também trocas térmicas por radiação (BELLO, 2013).

Assim como nos fechamentos opacos, para os fechamentos transparentes também foi utilizado o Apêndice B, que consta o tipo do fechamento transparente futuramente empregado, pois, cada um destes fechamentos apresenta capacidade distinta em refletir, absorver ou transmitir a radiação solar, que varia de acordo com as características do material (LAMBERTS, 2014). Constam também suas dimensões (área), local de utilização, orientação e demais itens úteis aos cálculos do fluxo de calor total, demonstrada agora na Planilha 01 (Apêndice A).

3.2.3 Análise pela NBR 15220/2003

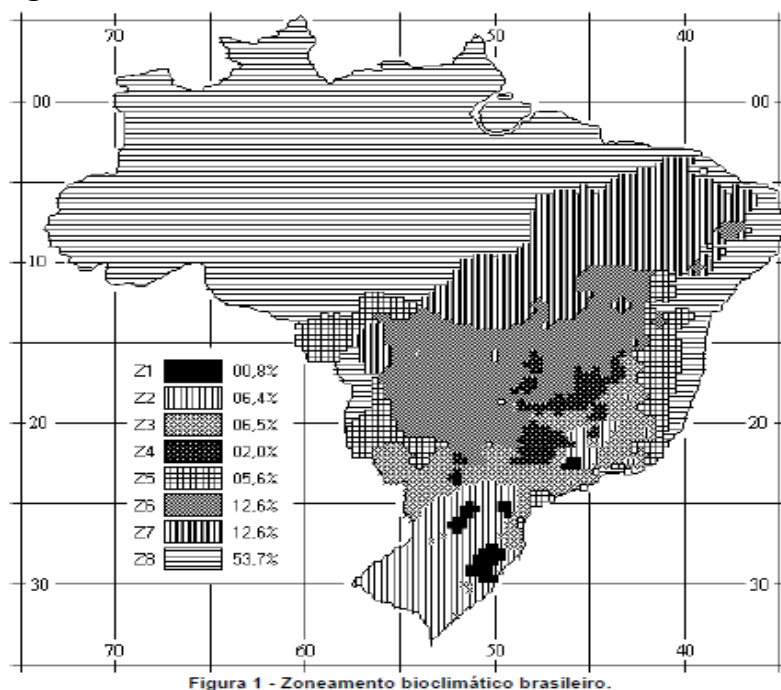
3.2.3.1 Arquitetura bioclimática

Além da orientação e do volume da edificação, os materiais dos fechamentos externos são importantes para definir a estrutura térmica e a qualidade da iluminação natural da habitação. Em relação à radiação solar, observa-se que os diferentes tipos de materiais de construção apresentam diferentes comportamentos.

A NBR 15220 (2003), parte 3: Desempenho térmico para edificações, apresenta o zoneamento bioclimático brasileiro juntamente com recomendações e estratégias construtivas, sem caráter normativo, para que tenham uma melhor adequação climática conforme a região onde se encontram.

Foi analisado o clima brasileiro em que a edificação está inserida, descrevendo o zoneamento bioclimático de acordo com a NBR 15220 (2003), mostrado na Figura 17. Apesar de constar em norma a análise do sombreamento, a pesquisa não fará menção a este item. Foram analisadas então as vedações externas na envoltória do edifício e as estratégias bioclimáticas recomendadas para a edificação.

Figura 17 – Indicando o zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: NBR 15220 (2003)

A pesquisa também abrangeu as variáveis ambientais de conforto, que são temperatura radiante, temperatura do ar, velocidade do ar e umidade, relacionando-as com as variáveis climáticas correspondentes como radiação solar, temperatura do ar, vento e umidade.

3.2.3.2 Fechamentos Opacos

A NBR 15220 (2003), desempenho térmico de edificações, parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Nos fechamentos opacos foi considerada a temperatura externa em relação à interna. Uma das questões a ser analisada na fase 1, segundo Lamberts *et al* (2014), é a resistência superficial externa (R_{se}), que representa o desempenho da superfície frente à convecção. Especificamente em relação à radiação temos que uma parcela da radiação incidente no fechamento opaco é refletida e a outra é absorvida, dependendo da refletividade (ρ) e da absorvidade (α) do material, conforme formula $\rho + \alpha = 1$.

Na fase 2, Lamberts *et al* (2014), cita que a condução ocorre através do fechamento. Com a elevação da temperatura da superfície externa, cria-se um diferencial entre esta e a temperatura da superfície interna, gerando a troca de calor entre as duas.

Nesta fase a troca de calor ocorre por condução e a intensidade do fluxo de calor depende da condutividade térmica do material, representando por λ . A condutividade (λ) depende principalmente da densidade do material, indicado nos anexos 04, 05 e 06. Portanto, serão analisados os materiais construtivos programados pela construtora para execução do projeto estudado. Quanto maior for a condutividade, maior será a quantidade de calor transferida entre as superfícies. E representa sua capacidade de conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo.

Outro fator a ser considerado na análise dos processos de condução é a espessura do fechamento (L), que deve ser medida em metros. Conhecendo a espessura e a condutividade do material pode-se calcular a resistência térmica (R), representada pela Equação 01.

$$R = L / \lambda \quad (01)$$

Onde:

R = Resistência térmica (m^2C/W)

L = Espessura do fechamento (m)

λ = Condutividade térmica ($W/m^{\circ}C$)

Segundo Lamberts *et al* (2014), na fase 3 tem-se uma situação semelhante a da fase 1, as trocas ocorrem por convecção e radiação, só que agora com o meio e o interior do ambiente. Partindo da consideração inicial de que o exterior estaria mais quente que o interior, tem-se uma preocupação com a emissividade superficial do material. Uma das questões a ser considerada é a resistência superficial interna (R_{si}), que representa o desempenho da superfície frente à convecção.

A transmitância térmica expressa o comportamento do fechamento opaco frente à transmissão de calor, o que pode subsidiar a especificação dos materiais. O cálculo da transmitância térmica (U) envolve o conhecimento da resistência térmica total (R_t). A resistência térmica total é a soma da resistência superficial externa com a resistência térmica de cada camada interna e com a resistência superficial interna, mostrado na Equação 02.

$$R_t = R_{se} + R_1 + R_2 + R_n + R_{si}$$

(02)

Onde:

R_t = Resistência térmica total ($m^2\text{°C}/W$)

R_{se} = Resistência superficial externa ($m^2\text{°C}/W$)

R_1, R_2, R_n = Resistência térmica do material ($m^2\text{°C}/W$)

R_{si} = Resistência superficial interna ($m^2\text{°C}/W$)

A transmitância térmica (U) é o inverso da resistência térmica total, conforme Equação 03.

$$U = 1/R_t$$

(03)

Onde:

U = Transmitância térmica ($W/m^2\text{°C}$)

R_t = Resistência térmica total

Na especificação de um fechamento busca-se evitar as perdas de calor excessivas no inverno e os ganhos elevados no verão. Com a transmitância pode-se calcular o fluxo térmico proporcionado pelos elementos da edificação e assim definir, por exemplo, a necessidade de aquecimento ou resfriamento do edifício para um melhor conforto térmico. No presente estudo será feito para o pior caso, o verão, pois tem maior incidência de calor na parte externa da envoltória.

Para calcular o fluxo de calor (q) entre o exterior e interior, considerando um diferencial onde a temperatura externa é superior à interna, tem-se a respectiva Equação 04:

$$q = U(\alpha \cdot I \cdot R_{se} + (t_e - t_i))$$

(04)

Onde:

q = fluxo de calor (W/m^2)

U = Transmitância térmica ($W/m^2\text{°C}$)

α = absorvidade do material (não apresenta unidade, pois é um coeficiente), visto no Anexo 01.

I = radiação solar (w/m^2), e um valor tabelado, obtido através dos dados climáticos de cada local (utilizam-se valores médios por latitude), visto no Anexo 02.

R_{se} = resistência superficial externa ($\text{m}^2\text{°C/W}$)

t_e = Temperatura externa ($^{\circ}\text{C}$)

t_i = Temperatura interna ($^{\circ}\text{C}$)

3.2.3.3 Fechamentos transparentes

Nos fechamentos transparentes o montante de calor transmitido por radiação depende da transmissividade (τ) do vidro. Nos materiais transparentes, três características apresentam relevância: a absorvidade (α), a refletividade (ρ) e principalmente a transmissividade (τ):

Figura 18 – Indicando a incidência de calor nos vidros



Fonte: Lamberts *et al* (2014)

Para se caracterizar o fluxo de calor no fechamento transparente, foi desenvolvido o conceito Fator Solar (F_s), mostrado no Anexo 03, que já considera o comportamento frente à condução e a radiação (I), visto no Anexo 02. Para calcular o fluxo térmico que atravessa o vidro temos a Equação 05:

$$q = F_s \cdot I$$

(05)

Onde:

q = Fluxo de calor (W/m^2)

F_s = fator solar (tabelado)

I = radiação solar incidente (tabelado para cada região)

Os valores das características construtivas encontrados serão comparados com os valores apresentados na norma NBR 15220 (2003).

3.2.4 Análise pela NBR 15575/2013

A NBR 15575 (2013), que trata do desempenho de edifícios habitacionais, estabelece normas de desempenho que visam atender a exigência dos usuários, independente do sistema construtivo adotado e dos materiais utilizados.

A referida norma apresenta três procedimentos para avaliar o desempenho térmico do edifício: O primeiro é o procedimento simplificado, que trata da verificação do atendimento aos requisitos estabelecidos para a envoltória. O segundo procedimento é o de simulação, que verifica o atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos por meio de simulação computacional do desempenho térmico da edificação. O terceiro procedimento é o de medição, que verifica o desempenho térmico da edificação por meio da realização de medições na própria edificação ou em protótipos construídos.

Caso os requisitos desta norma não sejam atendidos quando verificados pelo procedimento simplificado, que depende do comportamento interativo da fachada, cobertura e piso, é permitido realizar a avaliação com os outros métodos.

Para a verificação ao atendimento da NBR 15.575 (2013) foi utilizado o procedimento 1, denominado “Simplificado”, que se presta a verificar o atendimento aos requisitos e critérios para o envelopamento da obra, com base na transmitância térmica e capacidade térmica das paredes de fachada e das coberturas, salienta-se que neste estudo de caso não será feito a avaliação da cobertura.

Na avaliação simplificada foram analisadas as características que atendam aos critérios de desempenho registrados na zona bioclimática conforme indicado na Figura 17, e, no fluxograma especificado no Anexo 07.

Para as paredes os valores de U e CT (obtidos da norma NBR15220 (2003)) foram confrontados respectivamente com as exigências dos Anexos 08 e 09. Para o cálculo da capacidade térmica CT retirou-se os dados do Anexo 04 e foi utilizado a Equação 06.

$$CT = e.c.\rho \quad (06)$$

Onde:

CT = capacidade térmica ($\text{kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$)

e = espessura (m)

c = calor específico ($\text{Kj}/(\text{Kg}.\text{K})$)

ρ = densidade do material (Kg/m^3)

Caso ocorram simultaneamente U_{limite} e CT_{limite} , considera-se que a parede atende ao nível mínimo de desempenho, conforme preconiza a NBR 15575/2013, mostrado no diagrama do Anexo 05.

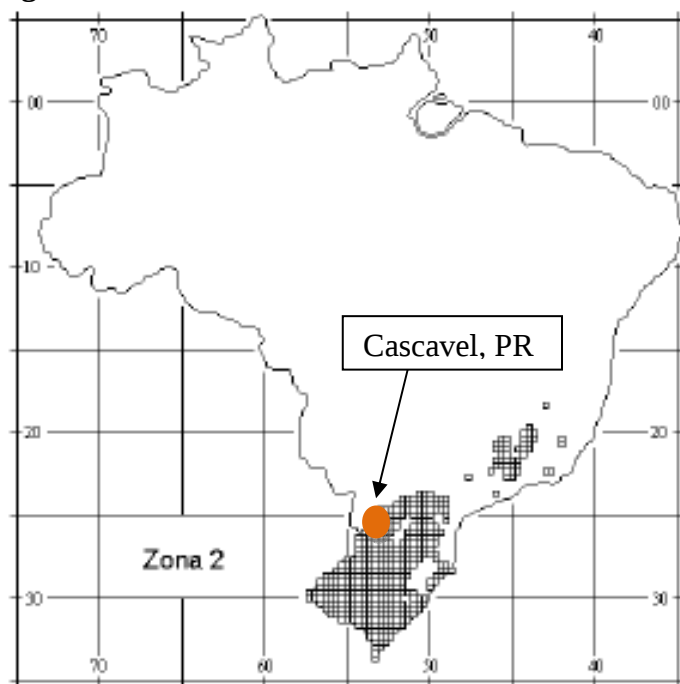
CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1.1 Análise da Arquitetura Bioclimática segundo NBR 15220/2003

De acordo com a análise no zoneamento bioclimático brasileiro, mostrado na Figura 19, foi possível conferir que as habitações edificadas em Cascavel, Paraná, pertencem à zona bioclimática 2.

Figura 19 - Zona Bioclimática 2



Fonte: NBR 15220 (2003)

E, a NBR 15220/2003 (Desempenho Térmico em Edificações) recomenda que:

1- Aberturas para ventilação sejam médias e o sombreamento deve permitir sol durante o inverno, conforme a Figura 20.

Figura 20 - Aberturas para ventilação para a zona bioclimática 2

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Permitir sol durante o inverno

Fonte: NBR 15220 (2003)

2- Vedações externas devem ser do tipo leve. E a cobertura leve isolada, conforme a Figura 21.

Figura 21 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 2

Vedações externas
Parede: Leve
Cobertura: Leve isolada

Fonte: NBR 15220 (2003)

3- Estratégias de condicionamento térmico passivo cita a ventilação cruzada no verão e no inverno aquecimento solar da edificação, mostrado na Figura 22. Conforme descrito nos objetivos as vedações internas da edificação não serão alvo deste estudo.

Figura 22 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 2

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	J) Ventilação cruzada
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
	Nota: O condicionamento passivo será insuficiente durante o período mais frio do ano. Os códigos J, B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).

Fonte: NBR 15220 (2003)

Portanto com base na análise das diretrizes construtivas do edifício foi possível captar que durante a concepção dos projetos do edifício em questão foram observadas as características descritas na NBR 15220/2003, tais como: vedações da envoltória com paredes

de característica leve, pois de acordo com a tabela C.2 da referida norma (vide Anexo 11) a transmitância térmica (U) deve ser $\leq 3,00$, e o valor encontrado foi de 2,59 ($\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$), portanto atendendo a esta diretriz da NBR 15220/2003.

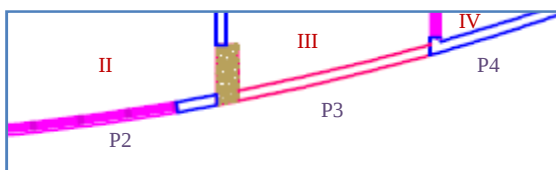
Na classificação da referida norma, tabela C.1, as aberturas para ventilação médias são aquelas que apresentam aberturas para ventilação com área de abertura (A) em relação ao piso de $15\% < A < 25\%$. Contudo a relação de aberturas (A) foi de 23,45%, classificada de grandes, e em desacordo com a NBR 15220/2003. Com relação a fachada do edifício esta permite que a edificação seja alvo de aquecimento solar no inverno. Foi verificado porém que o projeto arquitetônico da edificação não deixa claro se foi previsto a ventilação cruzada em seu interior.

4.1.2 Análise dos Fechamentos Opaco e Transparente Segundo NBR 15220/2003

Com base na análise dos projetos e com a realização de conversas com os idealizadores da concepção da edificação, foi possível coletar as características da envoltória, as quais são indicadas nas Figuras 23 e 24. E, na Tabela 02 com a recolha dos dados e características dos fechamentos da envoltória foi possível obter o ordenamento dos dados.

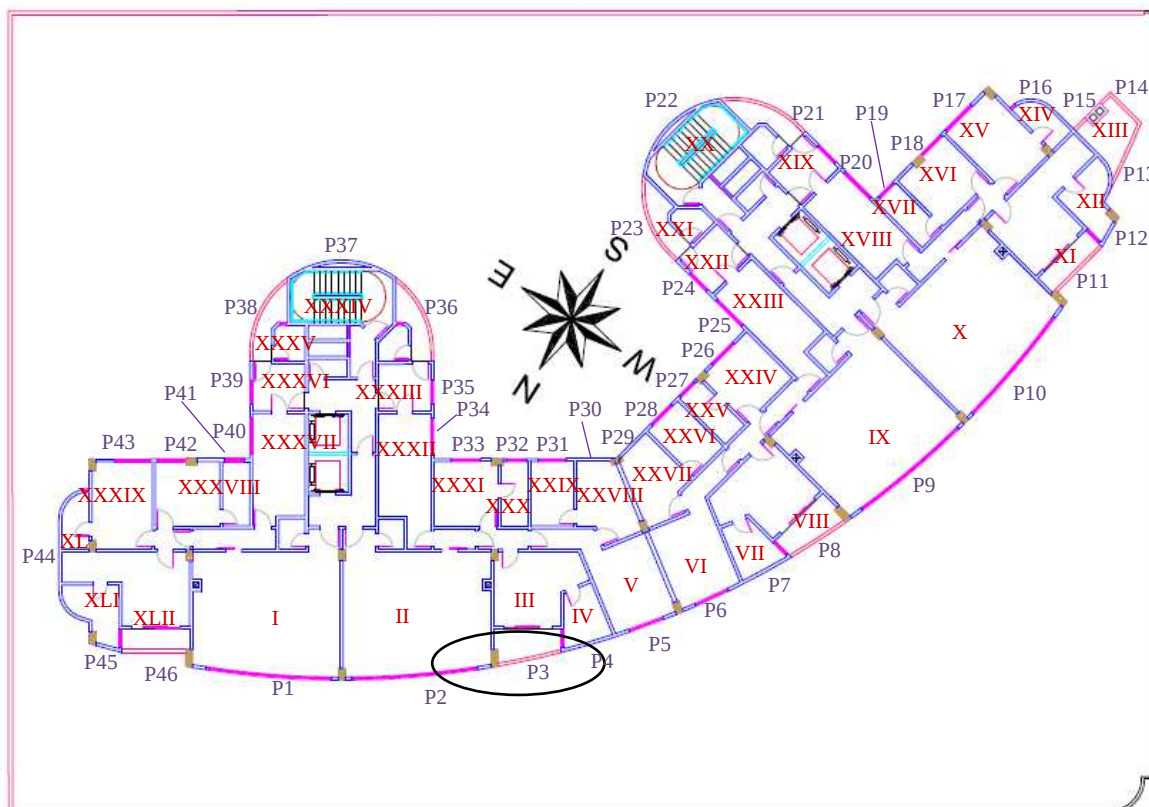
Nas Figuras 23 e 24 o numeral romano indica o ambiente do edifício em análise, e o numeral arábico precedido da letra "P" faz alusão a parede em questão para finalidade de cálculo do fluxo de calor; a cor rosa representa o fechamento transparente e a cor azul o fechamento opaco.

Figura 23 - Indicando o detalhe da envoltória do edifício



Fonte: Autor (2016)

Figura 24 - Indicando a envoltória do edifício



Fonte: Autor (2016)

Para o fechamento opaco em alvenaria foi idealizado o uso de bloco cerâmico com 6 furos circulares colocado na maior dimensão (deitado), com isso foi considerado uma espessura de 15cm para o bloco cerâmico e emboço externo e interno de 1,5cm de cada lado.

Na face externa devido a insolação foi convencionado a aplicação de pastilhas cerâmicas da desenvolvidas especialmente ao projeto pela fabricante Atlas, de cor bege e branca com as dimensões de 5x5x0,5cm.

O fechamento transparente idealizado para a fachada da edificação é o vidro laminado e refletivo de cor verde com 6mm, onde considerou-se um Fator Solar de 0,37. Foi utilizado para referência de cálculos o FS médio dentre o intervalo citado no estudo. As portas idealizadas ao local foram em vidro temperado, com chapa de espessura 10mm. Os valores utilizados resumem-se na Tabela 03.

Tabela 3 - Dimensões consideradas

MATERIAL	ESPESSURA(m)	CONDUTIBILIDADE TÉRMICA (W/m ² °C)
BLOCO CERÂMICO	0,15	0,5
EMBOÇO	0,015	0,84
PASTILHA EXTERNA	0.005	0,46
MATERIAL	ESPESSURA(m)	FATOR SOLAR
VIDRO REFLETIVO	0,006	0,315
VIDRO TEMPERADO	0,010	0,54

Fonte: Frota (2001)

Com base nestes dados foi possível determinar a Resistência Térmica que os fechamentos opacos impõem a transmissão de calor. Para o cálculo dessa resistência térmica total a NBR 15220 (2003) define os valores mostrados Figura 25.

Figura 25 - Resistência térmica superficial interna e externa

R _{si} (m ² .K)/W			R _{se} (m ² .K)/W		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇒	— ↑	— ↓	⇒	— ↑	— ↓
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: NBR 15220 (2003)

Contudo, Lamberts (2004) indica valores diferentes, para a resistência térmica superficial interna e externa, os quais são para R_{si} de 0,055m²°C/W, e para R_{se} de 0,123m²°C/W, e representam a resistência que os meios impõem a transmissão de calor. Para cada condição de fechamento opaco encontrou-se a transmitância térmica do fechamento, mostrado na Tabela 04.

Tabela 4 - Resumo de resistência e transmitância dos fechamentos opacos

Fechamento	Resistência térmica ($\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$)	Resistência térmica total ($\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$)	Transmitância térmica ($\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)
emboço	0,010	0,385	2,59
bloco cerâmico	0,17		
pastilha cerâmica	0,011		

Fonte: Autor (2016)

Após os cálculo das resistências e transmitâncias realizou-se o cálculo do fluxo de calor que será transmitido através de cada fechamento (Tabela 01 - Apêndice A), considerando a pior situação, ou seja a orientação e o período do dia em que a radiação será mais intensa, com base na tabela de radiação solar para a cidade de Cascavel, Latitude 25° Sul (Anexo 02). E, sintetizadas e apresentadas na Tabela 05.

As temperaturas consideradas foram externa 35°C e interna 26°C, conforme análise das médias de temperatura do local de estudo (Anexo 13).

Tabela 5 - Tabela de radiação solar e orientação dos fechamentos

ORIENTAÇÃO	HORÁRIO	RADIAÇÃO SOLAR (W/m^2)
S	07h	197 W/m^2
SE	08h	611 W/m^2
E	08h	707 W/m^2
NE	09h	427 W/m^2
N	12h	98 W/m^2
NW	15h	427 W/m^2
W	16h	707 W/m^2
SW	16h	611 W/m^2

Fonte: Autor (2016)

Os fluxos de calor foram considerados em ambos os fechamentos, opaco e transparente. O cálculo de fluxo térmico depende da transmitância térmica, que possui diferentes valores de acordo com a espessura e condutibilidade térmica do material. Os cálculos são apresentados no Apêndice C, e descritos na Tabela 06.

Tabela 6 - Tabela de cálculo de fluxo de calor na edificação.

FECHAMENTO	ORIENTAÇÃO/HORÁRIO	RADIAÇÃO SOLAR (W/m ²)	ÁREA (m ²)	FLUXO DE CALOR (q - W/m ²)
TRANSPARENTE	NW 15:00	427	10,71	134,51
OPACO	NW 15:00	427	9,14	41,68
TRANSPARENTE	NW 15:00	427	10,71	134,51
OPACO	NW 15:00	427	9,14	41,68
TRANSPARENTE	NW 15:00	427	10,71	134,51
OPACO	NW 15:00	427	9,14	41,68
OPACO	NW 15:00	427	8,5	41,68
TRANSPARENTE	NW 15:00	427	3,06	134,51
OPACO	NW 15:00	427	6,92	41,68
TRANSPARENTE	NW 15:00	427	3,06	134,51
OPACO	NW 15:00	427	6,92	41,68
OPACO	NW 15:00	427	8,5	41,68
TRANSPARENTE	NW 15:00	427	10,71	134,51
OPACO	NW 15:00	427	9,14	41,68
TRANSPARENTE	W 16:00	707	10,71	222,71
OPACO	W 16:00	707	9,14	53,68
TRANSPARENTE	W 16:00	707	10,71	222,71
OPACO	W 16:00	707	9,14	53,68
TRANSPARENTE	W 16:00	707	9,92	222,71
OPACO	W 16:00	707	5,51	53,68
TRANSPARENTE	W 16:00	707	12,22	381,78
TRANSPARENTE	S 07:00	197	6,8	106,38
TRANSPARENTE	SE 08:00	611	4,72	329,94
OPACO	SE 08:00	611	11,65	84,48
TRANSPARENTE	E 08:00	707	2,16	381,78
OPACO	E 08:00	707	7,76	94,08
TRANSPARENTE	E 08:00	707	2,16	381,78
OPACO	E 08:00	707	7,76	94,08
TRANSPARENTE	E 08:00	707	1,62	381,78
TRANSPARENTE	S 07:00	197	3,6	106,38
OPACO	S 07:00	197	11,67	43,08
TRANSPARENTE	S 07:00	197	8,5	106,38
OPACO	S 07:00	197	7,25	43,08
OPACO	E 08:00	707	5,3	94,08

TRANSPARENTE	N 12:00	98	7,25	52,92
TRANSPARENTE	N 12:00	98	1,2	52,92
OPACO	N 12:00	98	4,4	33,18
TRANSPARENTE	N 12:00	98	2,16	52,92
OPACO	N 12:00	98	4,92	33,18
TRANSPARENTE	E 08:00	707	1,8	381,78
OPACO	E 08:00	707	8,28	94,08
TRANSPARENTE	E 08:00	707	1,2	381,78
OPACO	E 08:00	707	4	94,08
TRANSPARENTE	E 08:00	707	1,68	381,78
OPACO	E 08:00	707	4,94	94,08
OPACO	E 08:00	707	6,61	94,08
OPACO	SE 08:00	611	6,61	84,48
TRANSPARENTE	SE 08:00	611	1,68	329,94
OPACO	SE 08:00	611	4,94	84,48
TRANSPARENTE	SE 08:00	611	1,2	329,94
OPACO	SE 08:00	611	4	84,48
TRANSPARENTE	SE 08:00	611	1,8	329,94
OPACO	SE 08:00	611	8,28	84,48
TRANSPARENTE	SW 16:00	611	2,16	329,94
OPACO	SW 16:00	611	4,92	84,48
TRANSPARENTE	SW 16:00	611	1,2	329,94
OPACO	SW 16:00	611	4,4	84,48
TRANSPARENTE	SW 16:00	611	8,5	329,94
OPACO	SE 08:00	611	7,25	84,48
TRANSPARENTE	E 08:00	707	7,25	381,78
TRANSPARENTE	NE 09:00	427	3,6	230,58
OPACO	NE 09:00	427	11,67	66,08
TRANSPARENTE	NE 09:00	427	3,6	230,58
OPACO	NE 09:00	427	11,67	66,08
TRANSPARENTE	SE 08:00	611	1,62	329,94
OPACO	SE 08:00	611	11,67	84,48
TRANSPARENTE	SE 08:00	611	2,16	329,94
OPACO	SE 08:00	611	7,76	84,48
TRANSPARENTE	SE 08:00	611	2,16	329,94
OPACO	SE 08:00	611	7,76	84,48
OPACO	NE 09:00	427	26,46	66,08
OPACO	N 12:00	98	5,35	33,18
TRANSPARENTE	N 12:00	98	9,92	52,92

Fonte: Autor (2016)

Para considerar a quantidade de calor total (Q) que estará entrando no ambiente, foi considerado o fluxo pelo fechamento (W/m^2) e a área de incidência (m^2). Para determinar a quantidade de calor que cada ambiente recebe, realizou-se a somatória da quantidade de calor que entra pela parede em cada fechamento do ambiente, mostrado na Tabela 07.

Tabela 7 - Quantidade de calor total

FLUXO DE CALOR PELO FECHAMENTO (FLUXO X ÁREA)	FLUXO TOTAL PELA PAREDE (Q total parede W)	4665,35		554,30	
		723,38	6222,67	417,31	971,61
		1557,32		395,93	
		984,15	984,15	337,91	733,83
		824,64		593,89	
		730,03	1554,68	699,47	1293,36
		824,64		712,67	
		730,03	1554,68	415,62	1128,30
1440,55	1821,47	618,48	618,48	395,93	
380,92		382,97		371,70	767,63
1440,55	1821,47	502,70	885,67	2804,49	
380,92		904,23		612,46	3416,95
1440,55	1821,47	312,31	1216,54	2767,91	2767,91
380,92		498,61	498,61	830,09	
354,25	354,25	383,67	383,67	771,11	1601,20
411,59	699,99	63,50		830,09	
288,40		145,98	209,48	771,11	1601,20
411,59	699,99	114,31		534,50	
288,40		163,23	277,54	985,84	
354,25	354,25	687,20		712,67	1520,34
1440,55	1821,47	778,95	1466,16	655,54	
380,92		458,14		712,67	
2385,17	2875,77	376,31	834,44	655,54	1368,21
490,60		641,39		1748,39	1748,39
2385,17	2875,77	464,74	1106,13	177,49	177,49
490,60		621,85	621,85	524,97	524,97
2209,23	2209,23	558,39	558,39		
295,76	295,76				

Fonte: Autor (2016)

A Tabela 08 traz o resumo da envoltória do edifício, de acordo com os fluxos de calor total em cada fachada.

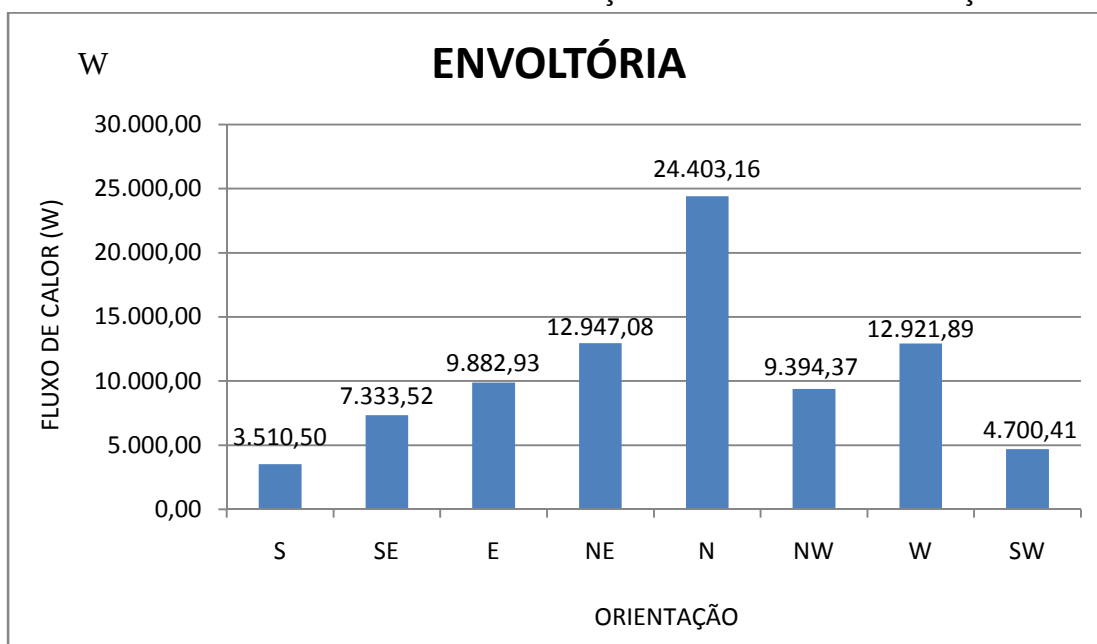
Tabela 8 - Quantidade de calor total na envoltória

ENVOLTÓRIA	
FACHADA	CALOR TOTAL NOS AMBIENTES (W)
SUL (S)	3.510,50
SUDESTE (SE)	7.333,52
LESTE (E)	9.882,93
NORDESTE (NE)	12.947,08
NORTE (N)	24.403,16
NOROESTE (NW)	9.394,37
OESTE (W)	12.921,89
SUDOESTE (SW)	4.700,41

Fonte: Autor (2016)

A orientação leste apresenta a característica de sol todas as manhãs em todas as estações; na orientação oeste apresenta sol todas as tardes em todas as estações; na orientação norte o sol aparece mais baixo durante todo o dia no inverno e em boa parte da primavera e outono, e sol mais alto no verão, que incide poucas horas do dia; na orientação sul o sol inexistente no inverno, o sol é pouco presente no outono e na primavera, no início e final do dia, o sol é mais presente no verão, no início e final do dia, desaparecendo por volta do meio dia para a fachada (LAMBERTS, 2014).

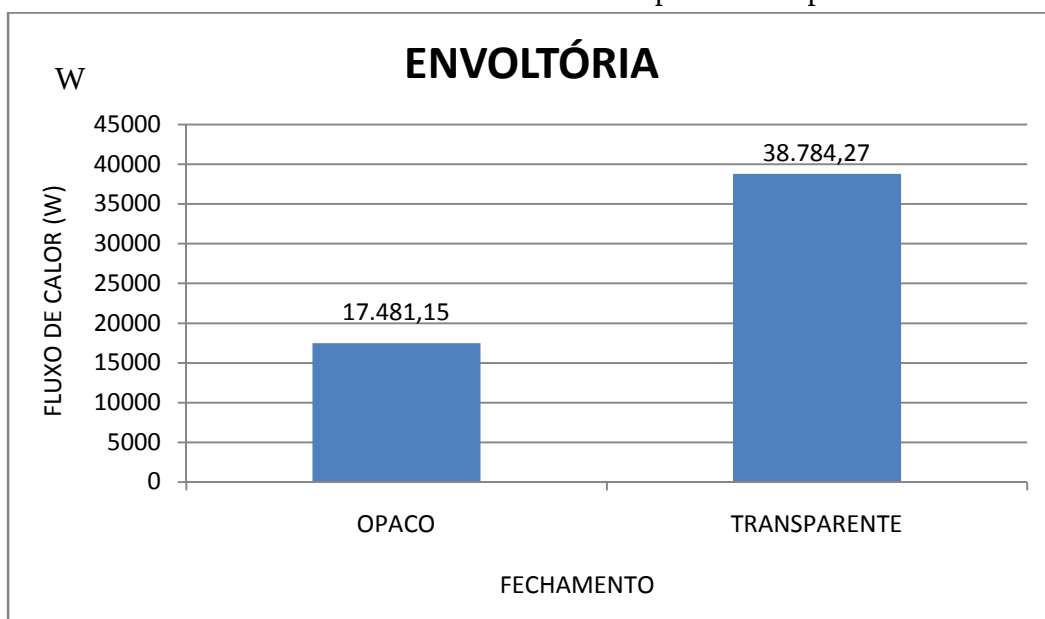
Analisando-se as fachadas, cujos valores foram apresentados na Tabela 08, se percebe que as fachadas com orientação para a direção noroeste apresentam maior conforto térmico médio. E, também demonstra que no período de verão será confortável a fachada com orientação sul, porém são desconfortáveis no inverno. Outro fato observado é que todas as orientações apresentam bom desempenho dos aspectos construtivos e desempenho do conforto térmico, ou seja, a envoltória é bem vedada, as aberturas deverão permitir ventilação adequada no verão e ganhos térmicos no inverno, isto foi suficiente para oferecer um desempenho térmico adequado, demonstrado no Gráfico 01.

Gráfico 1 - Fluxo de calor nas faces da edificação de acordo com a orientação

Fonte: Autor (2016)

A concepção e forma do projeto e o estudo da inserção do objeto construído no sítio têm grande influência no conforto térmico. E os estudos que viabilizaram a conexão: ser humano, abrigo e meio, existem pelo e para o seu habitante. O lugar desenvolvido, fabricado conscientemente promove o conforto do usuário. Portanto, dominar os componentes que viabilizam o conforto de uma habitação, e aplicá-lo ao cotidiano projetual, é um modo de promover a criação do lugar habitado.

Sem dúvida uma contribuição do estudo foi poder verificar que existe uma relação entre a preferência por determinados fechamentos, sob o ponto de vista do conforto, relacionada com a percepção do material aplicado seja nos fechamentos transparentes, os quais tiveram um fluxo de calor 38.784,27 W, quanto nos fechamentos opacos onde verificou-se um fluxo de calor 17.481,15 W, mostrado no Gráfico 02, e que eles realmente diferem da escolha do material se tomado de forma individual sobre a edificação.

Gráfico 2 - Fluxo de calor total nos fechamentos opaco e transparente

Fonte: Autor (2016)

4.1.3 Análise do Conforto Térmico Segundo NBR 15575/2013

Nesta análise foi utilizado o procedimento simplificado, que se presta a verificar o atendimento aos requisitos e critérios para o envelopamento da obra, com base na transmitância térmica e capacidade térmica das paredes de fachada.

Na avaliação simplificada foram analisadas as características que atendam aos critérios de desempenho registrados na zona bioclimática 2, mostrada anteriormente, e, no fluxograma especificado no Anexo 05 e mostrados na tabela 09.

Para as paredes os valores de U obtido da norma NBR15220/2003 é de $\leq 3,00$ W/m²°C (Anexo 09), contudo a NBR 15575/2013 indica que o U limite é de $\leq 2,5$ W/m²°C (Anexo 06), e o CT (capacidade térmica) é a zona bioclimática 2, Figura 19, estes fatores foram confrontados respectivamente com a exigência da referida norma em estudo, de acordo com o estipulado no diagrama do Anexo 05.

Tabela 9 - Indicando os valores de U e CT

característica	NBR 15575/2013	Valor encontrado
U (transmitância térmica) $\text{W/m}^2\text{°C}$	$\leq 2,50$	2,59
CT (capacidade térmica) $\text{kJ/m}^2\text{.K}$	≥ 130	288,16

Fonte: Frota (2001); Autor (2016)

Segundo as análises obtidas , mostradas no Apêndice C, o U limite calculado foi de $2,59 \text{ W/m}^2\text{°C}$, ficando além, portanto fora do estabelecido pela NBR 15220/2003, porém ficou favorável a diretriz da NBR 15575/2013.

A quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema (Capacidade térmica), mostrada no Anexo 07, deverá atender a NBR 15575/2013 e deve ser $\geq 130 \text{ kJ/m}^2\text{.K}$. Considerando-se o estudo da capacidade térmica o valor encontrado para o fechamento opaco que se assemelha nas condições estudadas, demonstrada no Anexo 11 e retirado os valores para cálculo do Anexo 04 foi encontrado o valor de $288,16 \text{ kJ/m}^2\text{.K}$, memorial de cálculo no Apêndice C, desta forma maior que o mínimo exigido na NBR 15575/2013.

Portanto, pode-se concluir que ocorreu simultaneamente aprovação do Ulimite e do CTlimite favorável aos limites e diretrizes estabelecido pela NBR 15575/2013. Por conseguinte consideramos que os fechamentos atendem ao nível mínimo de desempenho, conforme indica a diretriz da referida norma.

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o desenvolvimento do trabalho foi de suma importância, o estudo das variáveis e elementos que influenciam no conforto térmico. Inicialmente uma abordagem teórica e uma leitura de referências possibilitou o entendimento e análise principalmente dos diferentes materiais avaliados (opacos e transparentes).

Neste estudo, a análise da NBR 15220/2003 sobre o zoneamento bioclimático brasileiro, possibilitou compreender a localização e caracterização do local de estudo. Determinando assim as condições de radiação solar da área de estudo, considerando a Latitude 25° Sul.

A metodologia aplicada ao estudo levaram em consideração os cálculos e conceitos sobre resistência térmica, onde pode-se verificar que os valores referentes a espessura e a condutibilidade térmica influenciam diretamente, principalmente quando avaliado a transmitância térmica, que depende do valor total da resistência térmica imposta pelo fechamento. Com o conhecimento da transmitância térmica, pode-se determinar o fluxo de calor que será transmitido em cada sistema de fechamento, variável de acordo com a orientação, influenciado diretamente pelos valores de radiação solar.

Os resultados, apresentados em tabelas, determinaram a quantidade de calor total em cada um dos ambientes analisados, onde os que ficam localizados ao norte e a noroeste foram os que apresentaram maiores valores, tendo em vista que a radiação incidente nessas orientações é de 98 W/m² e 427 W/m² respectivamente. Enquanto que nas orientações de menor quantidade de calor são os ambientes localizados nas orientações sul e sudoeste que são respectivamente 3.510,50 W e 4.700,41 W.

Após a tabulação de todos os dados, tem-se que a edificação apresenta maiores valores de fluxo de calor nas orientações norte e noroeste, o que consequentemente apresenta uma maior quantidade de calor entrando nos ambientes voltados para estes lados.

Analisando-se os valores limite estabelecidos pela norma com os valores obtidos no cálculo, $U=2,59\text{W/m}^2\text{°C}$ e $CT_{\text{total}} = 288,16 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$ determinou-se que o fechamento atende parcialmente a NBR 15575/2013.

Dessa maneira, pode-se concluir que o sistema de fechamentos opaco e transparente idealizado pelos projetistas para o edifício residencial na cidade de Cascavel - Paraná e, descritos neste estudo apresentam bom desempenho e foram observadas as recomendações e diretrizes de acordo com a norma NBR 15220/2003; contudo, com ressalvas, as recomendações e diretrizes da norma NBR 15575/2013, pois ficou satisfatório ao limite estipulado para a capacidade térmica e ultrapassou o valor limite para a transmitância térmica.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros que complementariam a pesquisa realizada ou que podem vir a melhorar os resultados. São elas:

1. Realizar um estudo de conforto térmico após execução da construção do edifício;
2. Realizar um estudo do conforto acústico entre pavimentos na mesma edificação;
3. Realizar um estudo de conforto acústico da envoltória na mesma edificação;
4. Realizar um comparativo utilizando outros materiais construtivos em um edifício semelhante ao pesquisado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. M. **Análise das Interações entre o Homem e o Ambiente - Estudo de Caso em Agência Bancária**. Trabalho de Conclusão de Curso. UFSC, Florianópolis, 1991.

ASHRAE, AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS. **Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**. Atlanta, 2005.

ASSIS, R. M. C. **Caracterização óptica de Materiais Transparentes e sua relação com o Conforto Ambiental em edificações**. Trabalho de Conclusão de Curso. UNICAMP, Campinas, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-15220-1: Desempenho térmico de Edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR-15220-2: Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR-15220-3: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR-15575: Desempenho - parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

AURÉLIO. **Dicionário língua portuguesa**. Disponível em <<http://dicionariodoaurelio.com/>> Acesso em: 28 mar. 2016.

BAGNATI, M. M. **Zoneamento bioclimático e arquitetura brasileira: Qualidade do ambiente construído**. Trabalho de Conclusão de Curso. UFRGS, Porto Alegre, 2013.

BAMFORD, C.R. **Colour Generation and Control in Glass. Glass Science and technology**, Amsterdam: Elsevier Science Publishers, n.2, 1984.

BELLO, L.G. **Análise do desempenho de conforto térmico de projetos de habitações unifamiliares em Pato Branco, PR.** Trabalho de Conclusão de Curso. UTFPR, Pato Branco, 2013.

BOGO, A.; PIETROBON, C. E.; BARBOSA, M. J.; GOULART, S.; PITTA, T.; LAMBERTS, R. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico.** SP, 1994.

BOLLNOW, O.F. **Mensch und Raum.** 9º Edição, Stuttgart; Berlin; Köln: Kohlhammer, 2000.

CASTRO, A.P.A.S. **Desempenho térmico de vidros utilizados na construção civil: estudo em células-teste.** Trabalho de Conclusão de Curso. UNICAMP, Campinas, 2006.

CBIC. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013./Câmara Brasileira da Indústria da Construção.** Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

DUFFIE, J. A., BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes.** Wiley Interscience Publication, USA, 1980.

FANGER, P.O. **Thermal Comfort – Analysis and Applications in Environmental Engineering.** Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

FIGUEIREDO, C.M. **Ventilação Natural em Edifícios de Escritórios na Cidade de São Paulo: limites e possibilidades do ponto de vista do conforto térmico.** Trabalho de Conclusão de Curso. USP, São Paulo, 2007.

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.R. **Manual de conforto térmico.** 7ed. Studio Nobel, São Paulo, 2001.

GIANINI, R.J. **Ambiente antrópico: a questão social e a saúde das populações humanas.** In: Martos HL et Maia NB. Indicadores Ambientais. p.245. Sorocaba, 1997.

HERTZ, J. **Ecotécnicas em arquitetura: como projetar nos trópicos úmidos do Brasil.** São Paulo, Pioneira, 1998.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Área Territorial Brasileira**. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm>. Acesso em: 04 abr. 2016.

IEA. **Energy Efficiency**. Disponível em <<http://www.iea.org/aboutus/faqs/energyefficiency>> Acesso em: 28 mar. 2016.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Sensação térmica**. Disponível em: <<http://www.csanl.com.br/professores/material/henrique/sensacaotermica.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2016.

ISO 6241. **Performance standards in building - Principles for their preparation and factors to be considered**. Disponível em <http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/cataloguedetail.htm?csnumber=12517> Acesso em: 28 mar. 2016.

ISO 7730. **Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort**. . Disponível em <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_TN_STO_138_876_19066.pdf> Acesso em : 28 mar. 2016.

KNIGHT, R. **Física 2: uma abordagem estratégica**. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

LAMBERTS, R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo; PW Editores, 1997.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo; ProLivros, 2005.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3Ed. São Paulo; ProLivros, 2014.

LONGO, T. A.; CASTRO, L. C. **Análise da influência da ventilação natural e da inércia térmica do envelope construtivo em edificação vertical multifamiliar**. Trabalho de Conclusão de Curso. UNESC, Florianópolis, 2012.

MASLOW, A.H. **Maslow's Hierarchy of Needs**. Disponível em <<http://www.simplypsychology.org/maslow.html>> Acesso em: 28 mar. 2016.

MALARD, M.L. **Brazilian Low - Cost Housing: Interactions and Conflicts Between residents and Dwellings**. Sheffield: University of Sheffield. Ph.D. Thesis, 1992.

MATOS, J.M. **Qualificação de edifícios residenciais verticais em natal/rn à luz do regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais (rtq-r)**. Trabalho de Conclusão de Curso. UFRN, Rio Grande do Norte, 2012.

OLGYAY, V. **Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**. Princeton, US: Princeton University Press, 1962.

OMS. **The health's concept**. <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89101997000600016>/> Acesso em: 02 abr. 2016.

PAULINO, R.C.M. **Ambiente confortável X Ambiente Saudável**. In: II ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Fortaleza, 1999.

PAPST, A.L. **Uso de inércia térmica no clima subtropical estudo de caso em Florianópolis – SC**. Trabalho de Conclusão de Curso. UFSC, Florianópolis, 1999.

PEREIRA, P. I. **Construção sustentável – o desafio. 2009**. 122p. Monografia (Engenharia Civil), Universidade Fernando Pessoa. Porto/Portugal, 2009.

PEREIRA, F. O. R. **Curso de iluminação natural no ambiente construído. III Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, Gramado, RS, 1995.

PORTAL SÃO FRANCISCO. **Clima Brasileiro**. Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/brasil/clima-brasileiro.php>>. Acesso em 04 abr. 2016.

RAPOPORT, A. **Origens culturais da Arquitetura**. 1º Edição. SNYDER, James C, 1990.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. D.C. Luzzatto Editores/Ed. da Universidade UFRS. Porto Alegre, 1985.

RODRIGUES, M. V. P. **Avaliação da eficiência energética de edificações residenciais em fase de projeto: análise e desempenho térmico pelo método prescritivo e por simulação computacional aplicados a estudo de caso de projeto-tipo do exército**. Trabalho de Conclusão de Curso. UNICAMP, Campinas, 2015.

SANTOS, J. C. P. **Desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar.** Trabalho de Conclusão de Curso. USP, São Carlos. 2002.

SARDEIRO, P. S. **Parâmetros para a escolha de superfícies translúcidas visando o conforto térmico e visual na edificação.** Trabalho de Conclusão de Curso. UNICAMP, Campinas, 2007.

SOMMER, R. **Personal Space: the behavioral basis of design.** New Jersey, Prentice-Hall: Englewood Cliffs, 1974.

SOUZA, R.; MITIDIERI, R.V. **Avaliação do desempenho de sistemas construtivos destinados à habitação popular: conceituação e metodologia.** A Construção: Região São Paulo, Edição Especial V.3, p.59-62, 1986.

SPIRN, A. W. **Ecological Urbanism: A Framework For the Design of Resilient Cities.** <<http://www.annewhistonspirn.com/pdf/Spirn-EcoUrbanism-2012.pdf>> Acesso em: 02 abr. 2016.

TEIXEIRA, W.; PEREIRA, L. **A edificação saudável: Aspectos complementares ao Conforto Ambiental.** In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, V, 2001.

ZALESKI, C. B. **Materiais e conforto: Um estudo sobre a preferência por alguns materiais de acabamento e sua relação com o conforto percebido em interiores residenciais da classe média de Curitiba.** Trabalho de Conclusão de Curso. UFPR, Curitiba, 2006.

ANEXOS

ANEXO 1- Coeficiente de Absorção da Radiação Solar (α), específico de pintura

Cor	(α)
branca	0,2 — 0,3
amarela, laranja, vermelha-clara	0,3 — 0,5
vermelha-escura, verde-clara, azul-clara	0,5 — 0,7
marrom-clara, verde-escura, azul-escura	0,7 — 0,9
marrom-escura, preta	0,9 — 1,0

Fonte: Frota (2001)

**ANEXO 2 - Dados de radiação solar incidente sobre planos verticais e horizontais (W/m²)
Latitude 25° Sul**

	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	dezembro 22
S	123	197	186	137	84	68	63	68	84	137	186	197	123	
SE	280	540	611	539	397	222	63	68	63	58	50	38	20	
E	285	588	707	659	515	304	63	68	63	58	50	38	20	
NE	134	314	419	427	367	249	88	68	63	58	50	38	20	
N	20	38	50	58	63	87	98	87	63	58	50	38	20	
NW	20	38	50	58	63	68	88	249	367	427	419	314	134	
W	20	38	50	58	63	68	63	304	515	659	707	588	285	
SW	20	38	50	58	63	68	63	222	397	539	611	540	280	
H	87	289	579	813	986	1110	1137	1110	986	813	579	289	87	

Fonte: Frota (2001)

ANEXO 3 - Fator Solar (Fs) de vidros

Tipo de Vidro	Fator Solar (S_{tr})
<i>Lâmina Única</i>	
Vidro comum transparente	0,86
Vidro cinza sombra	0,66
Vidro atérmico verde-claro	0,60
Vidro atérmico verde-escuro	0,49
<i>Vidro usado como proteção externa de vidro comum transparente</i>	
Vidro cinza-sombra	0,45
Vidro atérmico verde-claro	0,39
Vidro atérmico verde-escuro	0,22

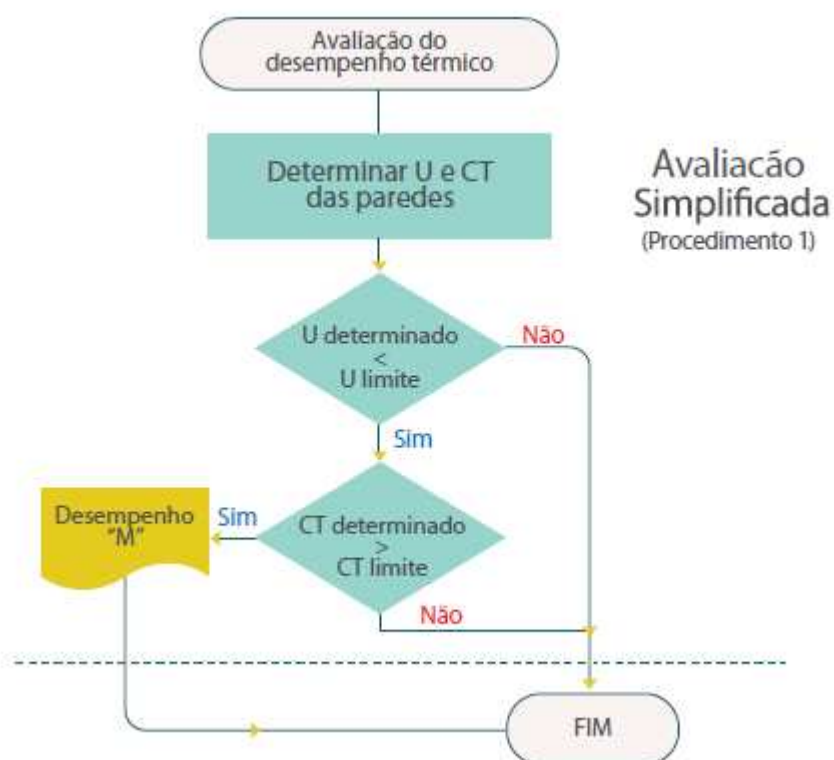
Fonte: Frota (2001)

ANEXO 4 - Características térmicas dos 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

Fonte: NBR15220 (2003)

ANEXO 5 - Métodos alternativos de avaliação do desempenho térmico



Fonte: adaptado CBIC (2013)

ANEXO 6 - Valores máximos admitidos para a transmitância térmica de paredes externas

Transmitância térmica U W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$
^a α é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.		

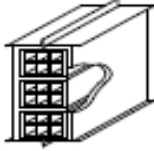
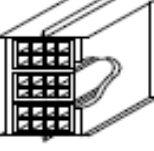
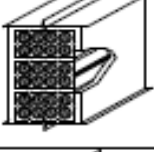
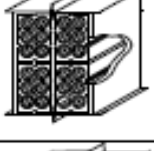
Fonte: NBR 15575 (2013)

ANEXO 7 - Valores mínimos admitidos para a capacidade térmica de paredes externas

Capacidade térmica (CT) $\text{kJ/m}^2 \cdot \text{K}$	
Zona 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem requisito	≥ 130

Fonte: NBR 15575 (2013)

ANEXO 8 - Transmitância e capacidade térmica para alguns sistemas de paredes

Parede	Descrição	U [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]	C _p [$\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]	φ [horas]
	Parede de tijolos de 6 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 19,0 cm	2,02	192	4,5
	Parede de tijolos de 21 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 12,0x11,0x25,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 17,0 cm	2,31	227	4,5
	Parede de tijolos de 6 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 20,0 cm	1,92	202	4,8
	Parede de tijolos de 8 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 24,0 cm	1,80	231	5,5
	Parede de tijolos de 8 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 25,0 cm	1,61	232	5,9
	Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 26,0 cm	1,52	248	6,5
	Parede dupla de tijolos maciços, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 26,0 cm	2,30	430	6,6

Fonte: NBR 15220 (2003)

ANEXO 9 - Transmitância térmica admissíveis para cada tipo de vedação externa

Vedações externas		Transmitância térmica - U W/m ² .K	Atraso térmico - φ Horas	Fator solar - FS _o %
Paredes	Leve	$U \leq 3,00$	$\varphi \leq 4,3$	$FS_o \leq 5,0$
	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\varphi \leq 4,3$	$FS_o \leq 4,0$
	Pesada	$U \leq 2,20$	$\varphi \geq 6,5$	$FS_o \leq 3,5$
Coberturas	Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\varphi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Leve refletora	$U \leq 2,30.FT$	$\varphi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Pesada	$U \leq 2,00$	$\varphi \geq 6,5$	$FS_o \leq 6,5$

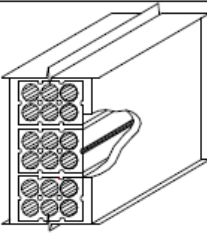
Fonte: NBR 15220 (2003)

ANEXO 10 - Aberturas para ventilação

Aberturas para ventilação	A (em % da área de piso)
Pequenas	$10\% < A < 15\%$
Médias	$15\% < A < 25\%$
Grandes	$A > 40\%$

Fonte: NBR 15220 (2003)

ANEXO 11 - Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes

	Parede de tijolos de 6 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 20,0 cm	1,92	202	4,8
---	---	------	-----	-----

Fonte: NBR 15220 (2003)

ANEXO 12 - Características térmicas dos materiais

Material	λ (W/m°C)	d (kg/m³)	c (J/kg°C)
Água	0,58	1000	4187
Algodão	0,06	80	
Amianto	0,15	580	
Amianto projetado	0,05	160	
Areia seca	0,49	1600	2093
Areia úmida	2,35	variável	8374
Argamassa de cal e cimento (ou de cimento)	0,65	1600	754
	0,85	1800	754
	1,05	2000	754
Argamassa celular	0,30	600	1047
	0,51	1000	1047
	0,81	1400	1047
Argamassa de gesso (ou de cal e gesso)	0,53	1000	837
	0,70	1200	837
Argila	0,72	1720	
Asfalto puro	0,70	2100	
Asfalto com areia	1,15	2100	
Borrachas sintéticas			
— formofenólicas	0,40	1300	
— mastique para junta	0,40	1350	
— poliamida	0,40	1100	
— policlorure de vinil	0,20	1350	
— poliéster	0,40	1550	
— polietileno	0,40	1000	
Cerâmica	0,46	variável	837
Cimento-amianto	0,65	1600	
	0,95	2000	
Cimento-amianto-celulose	0,46	1600	
Concreto aparente	1,65	2200	1005
	1,91	2400	1005
Concreto armado	1,75	2400	1005

Fonte: Frota (2001)

ANEXO 13 - Características térmicas dos materiais

Estado	Cidade	Latit.	Longit.	Altit.	Mês	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Paraná	Cascavel ^e	24°53'	53°23'	660 m	março	22,2	28,2	18,2	31,1	12,5	75	141
					junho	15,0	20,3	11,4	24,2	5,5	76	128
					setembro	17,8	23,8	13,3	29,6	6,8	68	143
					dezembro	22,6	28,1	18,4	32,3	14,9	73	182

Legenda:

- (1) — Média aritmética mensal da temperatura em °C.
- (2) — Média mensal das temperaturas máximas diárias em °C.
- (3) — Média mensal das temperaturas mínimas diárias em °C.
- (4) — Temperatura máxima observada no mês (média) em °C.
- (5) — Temperatura mínima observada no mês (média) em °C.
- (6) — Média aritmética mensal da umidade relativa em %.
- (7) — Total mensal da chuva caída (precipitação) em mm.

Fonte: Frota (2001)

APÊNDICES

APÊNDICE A

PLANILHA 1 - Tabela de cálculo de calor na edificação.

AMBIENTE	PAREDE	FECHAMENTO	ORIENTAÇÃO/HORÁRIO	RADIAÇÃO SOLAR (W/m ²)	ÁREA (m ²)	FLUXO DE CALOR (q - W/m ²)	FLUXO DE CALOR PELO FECHAMENTO (FLUXO X ÁREA)	FLUXO TOTAL PAREDE (Qtotal parede W)
I	PAREDE 01	TRANSPARENTE	NW 15:00	427	10,71	134,51	1440,55	1821,47
	PAREDE 01	OPACO	NW 15:00	427	9,14	41,68	380,92	
II	PAREDE 02	TRANSPARENTE	NW 15:00	427	10,71	134,51	1440,55	1821,47
	PAREDE 02	OPACO	NW 15:00	427	9,14	41,68	380,92	
III	PAREDE 03	TRANSPARENTE	NW 15:00	427	10,71	134,51	1440,55	1821,47
	PAREDE 03	OPACO	NW 15:00	427	9,14	41,68	380,92	
IV	PAREDE 04	OPACO	NW 15:00	427	8,5	41,68	354,25	354,25
V	PAREDE 05	TRANSPARENTE	NW 15:00	427	3,06	134,51	411,59	699,99
	PAREDE 05	OPACO	NW 15:00	427	6,92	41,68	288,40	
VI	PAREDE 06	TRANSPARENTE	NW 15:00	427	3,06	134,51	411,59	699,99
	PAREDE 06	OPACO	NW 15:00	427	6,92	41,68	288,40	
VIII	PAREDE 07	OPACO	NW 15:00	427	8,5	41,68	354,25	354,25
VIII	PAREDE 08	TRANSPARENTE	NW 15:00	427	10,71	134,51	1440,55	1821,47
	PAREDE 08	OPACO	NW 15:00	427	9,14	41,68	380,92	
IX	PAREDE 09	TRANSPARENTE	W 16:00	707	10,71	222,71	2385,17	2875,77
	PAREDE 09	OPACO	W 16:00	707	9,14	53,68	490,60	
X	PAREDE 10	TRANSPARENTE	W 16:00	707	10,71	222,71	2385,17	2875,77
	PAREDE 10	OPACO	W 16:00	707	9,14	53,68	490,60	
XI	PAREDE 11	TRANSPARENTE	W 16:00	707	9,92	222,71	2209,23	2209,23
XII	PAREDE 12	OPACO	W 16:00	707	5,51	53,68	295,76	295,76
XIII	PAREDE 13	TRANSPARENTE	W 16:00	707	12,22	381,78	4665,35	6222,67
	PAREDE 14	TRANSPARENTE	S 07:00	197	6,8	106,38	723,38	
	PAREDE 15	TRANSPARENTE	SE 08:00	611	4,72	329,94	1557,32	
XIV	PAREDE 16	OPACO	SE 08:00	611	11,65	84,48	984,15	984,15
XV	PAREDE 17	TRANSPARENTE	E 08:00	707	2,16	381,78	824,64	1554,68
	PAREDE 17	OPACO	E 08:00	707	7,76	94,08	730,03	
XVI	PAREDE 18	TRANSPARENTE	E 08:00	707	2,16	381,78	824,64	1554,68
	PAREDE 18	OPACO	E 08:00	707	7,76	94,08	730,03	
XVII	PAREDE 19	TRANSPARENTE	E 08:00	707	1,62	381,78	618,48	618,48
XVIII	PAREDE 20	TRANSPARENTE	S 07:00	197	3,6	106,38	382,97	885,67
	PAREDE 20	OPACO	S 07:00	197	11,67	43,08	502,70	
XIX	PAREDE 21	TRANSPARENTE	S 07:00	197	8,5	106,38	904,23	1216,54
	PAREDE 21	OPACO	S 07:00	197	7,25	43,08	312,31	
XX	PAREDE 22	OPACO	E 08:00	707	5,3	94,08	498,61	498,61
XXI	PAREDE 23	TRANSPARENTE	N 12:00	98	7,25	52,92	383,67	383,67

XXII	PAREDE 24	TRANSPARENTE	N 12:00	98	1,2	52,92	63,50	209,48
	PAREDE 24	OPACO	N 12:00	98	4,4	33,18	145,98	
XXIII	PAREDE 25	TRANSPARENTE	N 12:00	98	2,16	52,92	114,31	277,54
	PAREDE 25	OPACO	N 12:00	98	4,92	33,18	163,23	
XXIV	PAREDE 26	TRANSPARENTE	E 08:00	707	1,8	381,78	687,20	1466,16
	PAREDE 26	OPACO	E 08:00	707	8,28	94,08	778,95	
XXV	PAREDE 27	TRANSPARENTE	E 08:00	707	1,2	381,78	458,14	834,44
	PAREDE 27	OPACO	E 08:00	707	4	94,08	376,31	
XXVI	PAREDE 28	TRANSPARENTE	E 08:00	707	1,68	381,78	641,39	1106,13
	PAREDE 28	OPACO	E 08:00	707	4,94	94,08	464,74	
XXVII	PAREDE 29	OPACO	E 08:00	707	6,61	94,08	621,85	621,85
XXVIII	PAREDE 30	OPACO	SE 08:00	611	6,61	84,48	558,39	558,39
XXIX	PAREDE 31	TRANSPARENTE	SE 08:00	611	1,68	329,94	554,30	971,61
	PAREDE 31	OPACO	SE 08:00	611	4,94	84,48	417,31	
XXX	PAREDE 32	TRANSPARENTE	SE 08:00	611	1,2	329,94	395,93	733,83
	PAREDE 32	OPACO	SE 08:00	611	4	84,48	337,91	
XXXI	PAREDE 33	TRANSPARENTE	SE 08:00	611	1,8	329,94	593,89	1293,36
	PAREDE 33	OPACO	SE 08:00	611	8,28	84,48	699,47	
XXXII	PAREDE 34	TRANSPARENTE	SW 16:00	611	2,16	329,94	712,67	1128,30
	PAREDE 34	OPACO	SW 16:00	611	4,92	84,48	415,62	
XXXIII	PAREDE 35	TRANSPARENTE	SW 16:00	611	1,2	329,94	395,93	767,63
	PAREDE 35	OPACO	SW 16:00	611	4,4	84,48	371,70	
XXXIV	PAREDE 36	TRANSPARENTE	SW 16:00	611	8,5	329,94	2804,49	3416,95
	PAREDE 37	OPACO	SE 08:00	611	7,25	84,48	612,46	
XXXV	PAREDE 38	TRANSPARENTE	E 08:00	707	7,25	381,78	2767,91	2767,91
XXXVI	PAREDE 39	TRANSPARENTE	NE 09:00	427	3,6	230,58	830,09	1601,20
	PAREDE 39	OPACO	NE 09:00	427	11,67	66,08	771,11	
XXXVII	PAREDE 40	TRANSPARENTE	NE 09:00	427	3,6	230,58	830,09	1601,20
	PAREDE 40	OPACO	NE 09:00	427	11,67	66,08	771,11	
XXXVIII	PAREDE 41	TRANSPARENTE	SE 08:00	611	1,62	329,94	534,50	1520,34
	PAREDE 41	OPACO	SE 08:00	611	11,67	84,48	985,84	
	PAREDE 42	TRANSPARENTE	SE 08:00	611	2,16	329,94	712,67	
	PAREDE 42	OPACO	SE 08:00	611	7,76	84,48	655,54	
XXXIX	PAREDE 43	TRANSPARENTE	SE 08:00	611	2,16	329,94	712,67	1368,21
	PAREDE 43	OPACO	SE 08:00	611	7,76	84,48	655,54	
XL	PAREDE 44	OPACO	NE 09:00	427	26,46	66,08	1748,39	1748,39
XLI	PAREDE 45	OPACO	N 12:00	98	5,35	33,18	177,49	177,49
XLII	PAREDE 46	TRANSPARENTE	N 12:00	98	9,92	52,92	524,97	524,97

Fonte: Autor (2016)

APÊNDICE B

ESTRUTURA EDILÍCIA

- Pé-direito (h): 3,15m
- Paredes: tijolos de 6 furos, circulares, assentados na maior dimensão, dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0cm.
- Espessura da argamassa de assentamento: 1,0cm.
- Espessura da argamassa de emboço: 1,5cm.
- Cor externa fachada frente: pastilha bege
- Cor externa fachadas laterais e atrás: pastilha marrom-clara
- Vidro fachada da frente: laminado e refletivo bronze = 6 mm
- Vidro fachada lateral e atrás: temperado transparente = 8mm
- Data: 22 dezembro
- Latitude: 25° Sul
- Radiação solar:

S:	07h	197 W/m ²
SE:	08h	611 W/m ²
E:	08h	707 W/m ²
NE:	09h	427 W/m ²
N:	12h	98 W/m ²
NW:	15h	427 W/m ²
W:	16h	707 W/m ²
SW:	16h	611 W/m ²
- Resistência superficial interna – $R_{si} = 0,055 \text{ m}^2\text{C/W}$
- Resistência superficial externa – $R_{se} = 0,123 \text{ m}^2\text{C/W}$
- Fator solar (F_s) para aberturas vidro laminado e refletivo bronze 8mm = 0,315
- Fator solar (F_s) para aberturas vidro temperado 8mm = 0,54

Os demais dados necessários para o cálculo da carga térmica são características individuais de cada local e foram coletados na análise do projeto.

APÊNDICE C

MEMORIAL DE CÁLCULOS DE CARGA TÉRMICA

FECHAMENTO OPACO

- Resistência pastilha cerâmica (R1)

$\lambda = 0,46$ (pastilha cerâmica atlas)

$L = 5 \text{ mm}$ (espessura)

$R = L / \lambda$

$R = 0,005/0,46$

$R = 0,011 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$

- Resistência emboço (R2, R4)

$\lambda = 1,15$ (argamassa comum)

$L = 1,5 \text{ cm}$ (espessura)

$R = L / \lambda$

$R = 0,015/1,15$

$R = 0,013 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$

- Resistência bloco cerâmico (R3)

$\lambda = 0,90$ (Bloco cerâmico)

$L = 15 \text{ cm}$

$R = L / \lambda$

$R = 0,15/0,90$

$R = 0,17 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$

- Resistência Total Fechamento Opaco

$R \text{ total alvenaria} = R_{se} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_{si}$

$R_t = 0,055 + 0,011 + 0,013 + 0,17 + 0,013 + 0,123$

$R_t = 0,385 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$

- Transmitância Térmica Alvenaria

$U = 1/R_t$

$U = 1/0,385$

$U = 2,59 \text{ w/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$

❖ Condução pelo Fechamento Opaco (Q_o)

$$q = U(\alpha \cdot I \cdot R_{se} + (T_e - T_i))$$

$$U = 2,59 \text{ w/ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\alpha = 0,3 \text{ (cor bege, fachadas NW, W, N e SW)}$$

$$\alpha = 0,7 \text{ (cor marrom-clara, fachadas S, SE, E e NE)}$$

$$R_{se} = 0,055 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$T_e = 35^\circ\text{C}$$

$$T_i = 26^\circ\text{C}$$

I = radiação solar variável conforme orientação

$$Q_o = q \times A_o$$

q = calculado acima (W/m^2)

A_o = área de fachada do fechamento (m^2)

Q_o = calculado para cada ambiente (W)

FECHAMENTO TRANSPARENTE

- Orientação: NORDESTE (NE) E NOROESTE (NW)

$$I = 427 \text{ w/ m}^2$$

$$q = F_s \cdot I$$

F_s varia de acordo com o tipo de vidro utilizado

I varia de acordo com a orientação

$$q = \text{w/ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Orientação: SUDESTE (SE) E SUDOESTE (SW)

$$I = 611 \text{ w/ m}^2$$

$$q = F_s \times I$$

F_s varia de acordo com o tipo de vidro utilizado

I varia de acordo com a orientação

$$q = \text{w/ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Orientação: OESTE (W) E LESTE (E)

$$I = 707 \text{ w/ m}^2$$

$$q = F_s \cdot I$$

F_s = varia de acordo com o tipo de vidro utilizado

I = varia de acordo com a orientação

$$q = \text{w/ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Orientação: NORTE (N) E SUL (S)
 $I = 197 \text{ w/ m}^2$
 $F_s = \text{varia de acordo com o tipo de vidro utilizado}$
 $I = \text{varia de acordo com a orientação}$
 $q = \text{w/ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

❖ Ganho Solar Pelo Fechamento Transparente (Q_s)

$$Q_s = q_s \times A_a$$

$$q_s = F_s \times I$$

$$q_s = \text{calculado acima (W/m}^2\text{)}$$

$$A_o = \text{área de fachada do fechamento (m}^2\text{)}$$

$$Q_o = \text{calculado para cada ambiente (W)}$$

MEMORIAL DE CÁLCULO DA CAPACIDADE TÉRMICA - CT

$$\text{CT argamassa} = e_{\text{argamassa}} \times c_{\text{argamassa}} \times p_{\text{argamassa}} = 0,015 \times 1 \times 2000 = 30$$

$$\text{CT bloco cer} = e_{\text{bloco cer}} \times c_{\text{bloco cer}} \times p_{\text{bloco cer}} = 0,15 \times 0,92 \times 1600 = 220,80$$

$$\text{CT argamassa} = e_{\text{argamassa}} \times c_{\text{argamassa}} \times p_{\text{argamassa}} = 0,015 \times 1 \times 2000 = 30$$

$$\text{CT cerâmica} = e_{\text{cerâmica}} \times c_{\text{cerâmica}} \times p_{\text{cerâmica}} = 0,005 \times 0,92 \times 1600 = 7,36$$

$$\text{CT total} = \text{CT argamassa} + \text{CT bloco cer} + \text{CT argamassa} + \text{CT cerâmica}$$

$$\text{CT total} = 30 + 220,80 + 30 + 7,36 = 288,16 \text{ Kj/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

MEMORIAL DE EQUAÇÕES DA PLANILHA 01 DO APÊNDICE A

➤ FACHADA FRENTE: FLUXO DE CALOR ($q = \text{W/m}^2$)
 $= \text{SE}(C4 = \text{"OPACO"}; \$N\$2 * ((0,3 * E4 * 0,055) + (9)); (0,315 * E4))$

➤ FACHADA TRÁS: FLUXO DE CALOR ($q = \text{W/m}^2$)
 $= \text{SE}(C72 = \text{"OPACO"}; \$N\$2 * ((0,7 * E72 * 0,055) + (9)); (0,54 * E72))$

➤ $\$N\$2 = U = 2,597403$