

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA – UFSM
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL– PPGEC**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO EM
EDIFICAÇÕES DE BLOCOS ESTRUTURAIS
CERÂMICOS E DE BLOCOS ESTRUTURAIS DE
CONCRETO PARA A ZONA BIOCLIMÁTICA 2
BRASILEIRA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Kamila Kappaun

**Santa Maria, RS, Brasil
2012**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES
DE BLOCOS ESTRUTURAIS CERÂMICOS E DE BLOCOS
ESTRUTURAIS DE CONCRETO PARA A ZONA
BIOCLIMÁTICA 2 BRASILEIRA**

Kamila Kappaun

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

Orientador: Prof. Dr. Joaquim César Pizzutti dos Santos

**Santa Maria, RS, Brasil.
2012**

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental –
PPGEC

A comissão examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação de
Mestrado

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES DE
BLOCOS ESTRUTURAIS CERÂMICOS E DE BLOCOS ESTRUTURAIS
DE CONCRETO PARA A ZONA BIOCLIMÁTICA 2 BRASILEIRA

elaborada por
Kamila Kappaun

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

Comissão examinadora:

Joaquim César Pizzutti dos Santos, Dr.(Presidente/Orientador)

Giane de Campos Grigoletti, Dra. (UFSM, RS)

Antonio Cesar Silveira Baptista da Silva, Dr. (UFPel, RS)

Santa Maria, 18 de Setembro de 2012.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental
Universidade Federal de Santa Maria

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES DE BLOCOS ESTRUTURAIS CERÂMICOS E DE BLOCOS ESTRUTURAIS DE CONCRETO PARA A ZONA BIOCLIMÁTICA 2 BRASILEIRA

AUTORA: KAMILA KAPPAUN

ORIENTADOR: DR. JOAQUIM CESAR PIZZUTTI DOS SANTOS

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 18 de Setembro de 2012.

A alvenaria estrutural vem sendo cada vez mais usada no Brasil, mas essa tecnologia tem limitações de pesquisas que relatem seu comportamento térmico. Enquanto o bloco estrutural de concreto é o mais usado em todo o Brasil, no Rio Grande do Sul o bloco estrutural mais utilizado é o cerâmico. Porém, do ponto de vista térmico, não há indicação de qual bloco seria o mais indicado para a zona bioclimática 2 brasileira. Neste trabalho é analisado o desempenho térmico de duas edificações construídas em alvenaria estrutural, uma com bloco estrutural cerâmico e outra com bloco estrutural de concreto. Inicialmente foram definidos os valores das características térmicas dos dois tipos de fechamentos, para evidenciar as diferenças dos mesmos, visando a análise térmica das duas edificações. Foram calculados a transmitância térmica, a capacidade térmica e o atraso térmico. Foram também feitas medições *in loco* nestas duas edificações, que apresentam mesma planta baixa, orientação solar e implantação e que foram construídas com dois diferentes blocos estruturais. As análises contemplaram parâmetros que poderiam influenciar nos resultados, como a influência da cobertura e da orientação solar. Os resultados foram analisados comparativamente entre as duas diferentes edificações e com as temperaturas medidas externamente, e também analisadas quanto ao cumprimento do desempenho térmico conforme normatizado.

Palavras-chave: desempenho térmico, bloco estrutural cerâmico, bloco estrutural de concreto.

ABSTRACT

Master Thesis
Civil and Environmental Engineering Post-graduate Program
Universidade Federal de Santa Maria

EVALUATION OF THE THERMAL PERFORMANCE IN BUILDINGS WITH CLAY STRUCTURAL BLOCK AND CONCRETE STRUCTURAL BLOCK FOR THE BRAZILIAN BIOCLIMATIC ZONE 2

AUTHOR: KAMILA KAPPAUN

ADVISOR: DR. JOAQUIM CESAR PIZZUTTI DOS SANTOS

Date and Place of presentation: Santa Maria, September 18th 2012.

Structural masonry has been used more and more in Brazil, but this technology has limitations on research which report its thermal behavior. In Rio Grande do Sul, the clay structural block is the most widely used, while in Brazil as a whole, concrete structural blocks are more popular. Thermally speaking, it is not known which block is better suited for the Brazilian bioclimatic zone 2. The thermal performance of two structures built with structural masonry, one with clay and one with concrete, is analyzed in this thesis. Initially, the values for the thermal characteristics of both types of closure were defined, to contrast the differences among them, with the intent to thermally analyze both buildings. The thermal transmittance, the thermal capacity, and the thermal delay were calculated. *In loco* measurements were made in buildings with the same floor plan, solar orientation, and implementation, but which were built with different structural blocks. The analyses contemplated different parameters which could have influenced the results, such as the influence of the ceiling and solar orientation. The results from both buildings were compared with the measured external temperatures, and also analyzed with regards to the observance of a standardized thermal performance.

Keywords: thermal performance, clay structural block, concrete structural block.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Zoneamento Bioclimático do Brasil e recomendações para Zona Bioclimática 2	20
Figura 2	Localização da cidade de São Leopoldo no Estado do Rio Grande do Sul.....	22
Figura 3	Esquema explicativo do fenômeno da inércia térmica de uma parede real (q2) e de uma parede fictícia de peso nulo (q1).....	28
Figura 4	Pirâmides do Egito.....	48
Figura 5	Edifício Monadnock, Chicago.....	49
Figura 6	Vista aérea da cidade de São Leopoldo com a localização do condomínio habitacional.....	57
Figura 7	Vista aérea do condomínio habitacional com seus dois residenciais, Creta e Malta.....	57
Figura 8	Planta baixa do condomínio com os residenciais Creta e Malta.....	58
Figura 9	Edificação de bloco estrutural de concreto e edificação de bloco estrutural cerâmico.....	59
Figura 10	Planta baixa do pavimento tipo.....	59
Figura 11	Detalhe das aberturas de ventilação e também dos blocos para ventilação no oitão.....	60
Figura 12	Detalhe da pintura externa de uma edificação com detalhes em outra cor.....	61
Figura 13	Modelo de janela utilizado.....	61
Figura 14	Peitoril pré moldado em concreto e janela sem proteção solar.....	62
Figura 15	Planta baixa básica do apartamento.....	63
Figura 16	Bloco estrutural cerâmico utilizado na obra analisada.....	64
Figura 17	Bloco estrutural de concreto utilizado na obra analisada.....	64
Figura 18	Aparelho HOBO® Data Logger para aquisição de dados de temperatura.....	66
Figura 19	Aparelho HOBO® externo com proteção.....	67

Figura 20	Localização dos dormitórios analisados e localização dos aparelhos.....	69
Figura 21	Aparelho HOB0® interno no centro do ambiente.....	70
Figura 22	Imagem de modelo de gráfico gerado pelo programa BoxCar Pro 4.3.....	71
Figura 23	Gráfico do período de 15 dias de inverno para os apartamentos da edificação de bloco estrutural de concreto.....	74
Figura 24	Gráfico do período de 15 dias de inverno para os apartamentos da edificação de bloco estrutural cerâmico.....	76
Figura 25	Gráfico do período de 15 dias de verão para os apartamentos da edificação de bloco estrutural de concreto.....	79
Figura 26	Gráfico do período de 15 dias de verão para os apartamentos da edificação de bloco estrutural cerâmico.....	81
Figura 27	Gráfico do período de 3 dias de inverno para o segundo e quarto pavimento da edificação de bloco estrutural de concreto.....	87
Figura 28	Gráfico do período de 3 dias de inverno para o segundo e quarto pavimento da edificação de bloco estrutural cerâmico.....	89
Figura 29	Gráfico do período de 3 dias de verão para o segundo e quarto pavimento da edificação de bloco estrutural de concreto.....	92
Figura 30	Gráfico do período de 3 dias de verão para o segundo e quarto pavimento da edificação de bloco estrutural cerâmico.....	94
Figura 31	Gráfico do período de 3 dias de inverno para as orientações da edificação de bloco estrutural de concreto.....	98
Figura 32	Gráfico do período de 3 dias de inverno para as orientações da edificação de bloco estrutural cerâmico.....	100
Figura 33	Gráfico do período de 3 dias de verão para as orientações da edificação de bloco estrutural de concreto.....	102
Figura 34	Gráfico do período de 3 dias de verão para as orientações da edificação de bloco estrutural cerâmico.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 2.....	21
Tabela 2	Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 2.....	21
Tabela 3	Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 2.....	21
Tabela 4	Recomendações para a zona bioclimática 2 conforme NBR 15220.....	42
Tabela 5	Critérios para avaliação de desempenho térmico pelo método de medição na Zona Bioclimática 2 segundo NBR 15575.....	45
Tabela 6	Recomendações para desempenho térmico mínimo de vedações verticais e cobertura na Zona Bioclimática 2 segundo NBR 15575.....	46
Tabela 7	Avaliação de desempenho térmico segundo NBR 15220 e NBR 15575 para a Zona Bioclimática 2.....	47
Tabela 8	Blocos estruturais cerâmicos da família de 14cm.....	53
Tabela 9	Blocos estruturais de concreto da família 29cm.....	55
Tabela 10	Áreas do apartamento tipo.....	62
Tabela 11	Características do bloco estrutural cerâmico e do bloco estrutural de concreto	64
Tabela 12	Densidade, condutividade térmica e calor específico dos materiais constituintes das vedações externas e internas.....	65
Tabela 13	Valores de resistência térmica, transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar para o bloco estrutural cerâmico e o bloco estrutural de concreto.....	73
Tabela 14	Valores de temperatura mínima, temperatura máxima, amplitude térmica e amortecimento térmico, para a edificação de bloco estrutural de concreto para o período de inverno.....	75
	Valores de temperatura mínima, temperatura máxima, amplitude térmica e	

Tabela 15	amortecimento térmico, para a edificação de bloco estrutural cerâmico para o período de inverno.....	77
Tabela 16	Valores de temperatura mínima, temperatura máxima, amplitude térmica e amortecimento térmico, para a edificação de bloco estrutural de concreto para o período de verão.....	79
Tabela 17	Valores de temperatura mínima, temperatura máxima, amplitude térmica e amortecimento térmico, para a edificação de bloco estrutural cerâmico para o período de verão.....	81
Tabela 18	Valores de Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar para as vedações verticais para as zonas bioclimáticas brasileiras (NBR 15220) e comparação com os valores calculados.....	83
Tabela 19	Transmitância térmica de vedações verticais.....	84
Tabela 20	Capacidade térmica de vedações verticais.....	85
Tabela 21	Temperaturas máximas e mínimas, atraso térmico e amortecimento para o segundo e o quarto pavimento - bloco de concreto no período de inverno....	88
Tabela 22	Temperaturas máximas e mínimas, atraso térmico e amortecimento para o segundo e o quarto pavimento - bloco cerâmico no período de inverno.....	90
Tabela 23	Temperaturas máximas e mínimas, atraso térmico e amortecimento para o segundo e o quarto pavimento - bloco de concreto no período de verão.....	92
Tabela 24	Temperaturas máximas e mínimas, atraso térmico e amortecimento para o segundo e o quarto pavimento - bloco cerâmico no período de verão.....	95
Tabela 25	Temperaturas máximas e mínimas, atraso térmico e amortecimento para diferentes orientações - bloco de concreto no período de inverno.....	98
Tabela 26	Temperaturas máximas e mínimas, atraso térmico e amortecimento para diferentes orientações - bloco cerâmico no período de inverno.....	100
Tabela 27	Temperaturas máximas e mínimas, atraso térmico e amortecimento para diferentes orientações - bloco de concreto no período de verão.....	103
Tabela 28	Temperaturas máximas e mínimas, atraso térmico e amortecimento para diferentes orientações - bloco cerâmico no período de verão	105

LISTA DE ABREVIATURAS

a	Difusividade térmica
ABNT	Associação brasileira de normas técnicas
b	Efusividade térmica
c	Calor específico
C	Capacidade térmica
CEFET-PR	Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná
FS	Fator Solar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	International Organization for Standardization
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
MPa	Megapascal
NBR	Norma Brasileira
PMV	Voto Médio Estimado
PPGEC	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
SI	Sistema Internacional
U	Transmitância térmica (W/m ² .K).
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
ZBBR	Zoneamento Bioclimático do Brasil
φ	Atraso térmico
λ	Condutividade térmica W/m ²
μ	Coefficiente de amortecimento
ρ	Densidade
Δt	Diferença entre as temperaturas exterior e interior
ρc	Calor volumétrico
°C	Graus Celsius

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa do trabalho	14
1.2 Objetivos	15
1.2.1 Objetivo Geral.....	15
1.2.2 Objetivos Específicos.....	16
1.3 Estrutura da dissertação	16
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 Arquitetura Bioclimática	18
2.1.1 Zoneamento bioclimático brasileiro.....	19
2.1.2 Características do clima da cidade de São Leopoldo – RS.....	22
2.2 Propriedade Térmicas dos Materiais	23
2.2.1 Calor específico	24
2.2.2 Condutividade térmica	24
2.2.3 Transmitância térmica do fechamento.....	25
2.2.4 Difusividade térmica e efusividade térmica.....	25
2.2.5 Capacidade térmica do fechamento.....	27
2.2.6 Inércia térmica.....	27
2.3 Desempenho Térmico de Edificações	29
2.3.1 Normas de desempenho	37
2.3.1.1 Norma brasileira NBR 15220.....	38
2.3.1.2 Norma brasileira NBR 15575.....	43
2.3.1.3 Considerações sobre as Normas NBR 15220 e NBR 15575.....	47
2.4 Alvenaria Estrutural	48
2.4.1 Blocos Cerâmicos utilizados em Alvenaria Estrutural.....	52
2.4.2 Blocos de Concreto utilizados em Alvenaria Estrutural.....	54
3 METODOLOGIA	56
3.1 Introdução	56
3.2 Levantamento de dados das edificações em estudo	57
3.2.1 Descrição das edificações analisadas.....	58
3.2.2 Levantamento das características técnicas dos blocos estruturais cerâmicos e dos blocos estruturais de concreto.....	63
3.3 Monitoramento de temperatura e umidade	65

3.3.1 Instrumento utilizado.....	66
3.3.2 Período de coleta de dados.....	67
3.3.3 Local da realização da coleta de dados.....	68
3.3.4 Análise dos dados.....	70
4 RESULTADOS.....	72
4.1 Valores calculados das propriedades térmicas dos blocos	72
4.2 Resultado das medições.....	73
4.2.1 Período de inverno - Edificação de bloco estrutural de concreto.....	73
4.2.2 Período de inverno - Edificação de bloco estrutural cerâmico.....	76
4.2.3 Período de verão - Edificação de bloco estrutural de concreto.....	78
4.2.4 Período de verão - Edificação de bloco estrutural cerâmico.....	80
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	82
5.1 Análise comparativa entre os valores calculados e as recomendações da norma NBR 15220.....	82
5.2 Análise comparativa entre os valores calculados e as recomendações da norma NBR 15575.....	84
5.3 Análise da influência da cobertura.....	85
5.3.1 Período de inverno – Edificação de bloco estrutural de concreto.....	86
5.3.2 Período de inverno – Edificação de bloco estrutural cerâmico.....	88
5.3.3 Período de verão – Edificação de bloco estrutural de concreto.....	91
5.3.4 Período de verão – Edificação de bloco estrutural cerâmico.....	93
5.4 Análise da influência da orientação solar.....	96
5.4.1 Período de inverno – Edificação de bloco estrutural de concreto.....	97
5.4.2 Período de inverno – Edificação de bloco estrutural cerâmico.....	99
5.4.3 Período de verão – Edificação de bloco estrutural de concreto.....	101
5.4.4 Período de verão – Edificação de bloco estrutural cerâmico.....	104
6 CONCLUSÕES.....	107
6.1 Sugestões para trabalhos futuros.....	110
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111
ANEXO.....	116

1 INTRODUÇÃO

A globalização da arquitetura faz com que edificações sejam reproduzidas em diversas partes do mundo com os mesmos materiais e tecnologias. Assim são ignoradas as variáveis climáticas em favor de modismos e de materiais não condizentes com a realidade local.

Cada vez mais, os sistemas construtivos devem ser repensados de forma a incluir as considerações energéticas e ambientais no projeto. É nesse contexto que se insere a Arquitetura Bioclimática, que visa a harmonização das construções e das características climáticas locais, para otimizar as relações entre homem e natureza, tanto no que diz respeito à redução de impactos ambientais quanto à melhoria das condições de vida humana, conforto e redução do consumo energético.

O desempenho de um edifício está diretamente relacionado com as características dos elementos que o conformam e suas interações. Conhecer as propriedades térmicas dos materiais e fechamentos permite estabelecer estratégias para que o edifício possa responder de maneira eficiente às variações do clima.

Normas que regulam o desempenho térmico e a eficiência energética das edificações já existem desde a década de 1970 em diversos países. Novas construções refletem o crescente reconhecimento da importância dessas normas. As normas de desempenho definem critérios e requisitos para que as construções sejam baseadas nas características climáticas locais e garantam um desempenho térmico mínimo para uma ocupação com conforto térmico.

Duas normas brasileiras englobam o desempenho térmico das habitações. A NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005a) trata especificamente sobre desempenho térmico e incorpora recomendações técnico-construtivas que visam a otimização do desempenho das edificações, através de sua melhor adequação climática. A NBR 15575 - Edificações habitacionais de até cinco pavimentos –

Desempenho (ABNT, 2012), trata sobre o desempenho geral e não apenas térmico da edificação, tendo um desempenho global mínimo determinado, independentemente dos sistemas construtivos que forem utilizados.

Sendo a alvenaria estrutural uma tecnologia cada vez mais usada no Brasil, é interessante que haja uma análise do seu desempenho também do ponto de vista térmico. A alvenaria estrutural é um processo construtivo em que as paredes atuam simultaneamente como elementos estruturais e de vedação e que, juntamente com as lajes, substituem os pilares e vigas utilizados nos processos tradicionais. Seu principal componente é o bloco estrutural, que diferentemente do bloco de vedação, além de servir como fechamento da edificação, compõe a sua estrutura.

Este trabalho realiza um estudo comparativo do comportamento térmico de dois fechamentos muito utilizados na alvenaria estrutural, o bloco estrutural de concreto e o bloco estrutural cerâmico.

Assim é verificado o desempenho térmico de duas edificações construídas com alvenaria estrutural, uma com bloco estrutural de concreto e outra com bloco estrutural cerâmico. Estas edificações estão localizadas na zona bioclimática 2 brasileira, em um mesmo condomínio habitacional, localizadas lado a lado. As duas edificações foram analisadas nos mesmos períodos, sem ocupação e vedadas, para que os resultados pudessem ser comparados.

1.1 Justificativa

O desempenho de um edifício está relacionado com as características dos elementos que o conformam e suas interações. A alvenaria estrutural é uma tecnologia cada vez mais usada no Brasil, e, por isso, é interessante que haja uma análise do seu desempenho também do ponto de vista térmico. Existe uma lacuna quanto a existência de pesquisas que relatem o comportamento e desempenho térmico desse material

construtivo, além da falta de pesquisas e análises comparativas entre diferentes opções de blocos estruturais.

O comportamento térmico de edificações é de difícil avaliação, já que muitos parâmetros podem influenciar no real desempenho térmico. Para que estes parâmetros não interfiram nos resultados, muitos trabalhos são feitos apenas com simulação computacional, onde são selecionadas as variáveis convenientes à análise. Parâmetros como planta baixa e orientação solar diferenciadas, podem dificultar comparações. No presente trabalho foram analisadas duas edificações com dois tipos de blocos estruturais, um cerâmico e outro de concreto, com geometrias internas e propriedades térmicas diferentes. Apesar das diferenças quanto aos blocos utilizados, as duas edificações analisadas possuem mesma planta baixa e orientação solar e conseqüentemente possuem também semelhante regime de ventos, além de estarem localizadas lado a lado. Dessa forma foi possível analisar e comparar a influência do tipo de bloco estrutural, sem a interferência de outros parâmetros.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar e comparar o desempenho térmico de edificações em alvenaria estrutural executadas com dois tipos de blocos: o bloco estrutural de concreto e o bloco estrutural cerâmico para a Zona Bioclimática Brasileira 2.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a variação das temperaturas internas em relação às externas, avaliando a influência dos diferentes blocos estruturais no comportamento térmico da edificação durante um período de 15 dias no inverno e outro no verão.

- Monitorar, a variação das temperaturas internas e externas das edificações durante o período de inverno e de verão.

- Avaliar a influência da cobertura nas variações das temperaturas internas nas edificações com bloco estrutural de concreto e bloco estrutural cerâmico.

- Avaliar a influência da orientação solar nas variações das temperaturas internas nas edificações com bloco estrutural de concreto e bloco estrutural cerâmico.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos: Introdução, Revisão de Literatura, Metodologia, Resultados, Análise dos Resultados e Conclusões.

A introdução apresenta o tema a ser desenvolvido, abordando sua importância e as justificativas para a realização desta pesquisa.

Na revisão de literatura aborda-se o zoneamento bioclimático brasileiro com a caracterização da região estudada, as propriedades térmicas dos materiais, o desempenho térmico de edificações com apresentação de estudos já realizados e das normas brasileiras acerca do assunto. Por fim é abordada a alvenaria estrutural e seus componentes.

No terceiro capítulo apresenta-se a metodologia. Este item consta do levantamento de dados com a descrição das edificações analisadas e das características dos blocos estruturais. Além disso, apresenta o monitoramento de temperatura e umidade com a caracterização do instrumento utilizado, do período e do local da coleta de dados.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos com os cálculos das propriedades térmicas de acordo com as normas brasileiras e apresenta também os resultados obtidos com o monitoramento das edificações.

O quinto capítulo refere-se à análise dos resultados onde são realizadas a análise comparativa entre os valores calculados e as recomendações das normas, análise da influência da cobertura e da orientação solar, além da análise comparativa do comportamento térmico com diferentes tipos de blocos.

O sexto capítulo remete-se as conclusões extraídas da análise dos resultados juntamente com sugestões para trabalhos futuros. Em seguida, são apresentados as referências bibliográficas e o anexo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica com assuntos relevantes ao presente trabalho como o zoneamento bioclimática brasileiro, as propriedades térmicas dos materiais, o desempenho térmico das edificações com pesquisas sobre o assunto, bem como sobre a alvenaria estrutural e seus componentes principais, os blocos estruturais.

2.1 Arquitetura Bioclimática

A arquitetura é considerada bioclimática quando está baseada na correta aplicação de elementos arquitetônicos e tecnologias construtivas em relação às características climáticas, de forma a otimizar o conforto dos ocupantes e minimizar o consumo de energia (ROSSETI, 2009).

Para Vieira (2008), o conceito de arquitetura bioclimática pode ser entendido como uma vertente da arquitetura que incorpora o clima na sua concepção. Assim, na fase de projeto, são levados em conta diversos elementos climáticos do local, como a radiação, a água e o vento. Avaliando-se a interação destes fatores com o edifício, pode-se melhorar o comportamento do mesmo.

Nesse contexto, a Arquitetura Bioclimática busca a harmonização das construções com as características locais, procurando otimizar as relações entre homem e natureza, para a redução de impactos ambientais e para a melhoria das condições de vida humana e de conforto (AMBIENTE, 2011).

A maioria das construções existentes e mesmo aquelas em fase de construção não empregam estratégias bioclimáticas recomendadas para o clima local, demandando gastos extras para o alcance das condições de conforto. A escolha dos

materiais mais adequados ao bom desempenho térmico da construção vai interferir em seu potencial de absorver mais ou menos calor, ou refletir mais ou menos energia.

Conforme Leão (2006) foi provavelmente Victor Olgyay, em 1963, que delimitou a relação entre clima e projeto arquitetônico, escrevendo um manual para projeto bioclimático, com referência à carta bioclimática. Muitas das diretrizes e métodos para projetos bioclimáticos advêm das cartas bioclimáticas, que associam o comportamento climático do local e as estratégias de projeto com informações sobre a zona de conforto térmico. A carta bioclimática foi aperfeiçoada por Givoni (1992) e é utilizada até os dias atuais, com constantes aperfeiçoamentos.

Assim, a Arquitetura Bioclimática aplica os elementos arquitetônicos, climáticos, e tecnológicos para edificar ambientes termicamente melhores e, conseqüentemente, mais racionais quanto ao consumo de energia.

2.1.1 Zoneamento Bioclimático Brasileiro

O Brasil possui vários climas, e é justamente por essa variedade de climas que a Associação Brasileira de Normas Técnicas, na NBR 15220-3, com o título "Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social" apresenta o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ABNT, 2005a).

Este zoneamento adotado pela ABNT divide o território brasileiro em 8 zonas bioclimáticas. Essa divisão levou em conta o clima de cada local atribuindo a mesma classificação zonal para regiões com homogeneidade quanto às médias mensais das temperaturas máximas e mínimas e as médias mensais da umidade relativa do ar. Além disso foi feita uma adaptação do Diagrama Bioclimático de Givoni (1992) para a classificação do clima.

Essa classificação bioclimática fornece recomendações construtivas para um melhor desempenho térmico das edificações, adequando estratégias de projeto para o

clima local, de forma a proporcionar melhor conforto térmico e melhoria da eficiência energética.

O Rio Grande do Sul possui em sua extensão 3 diferentes zonas bioclimáticas. A cidade de São Leopoldo encontra-se na zona bioclimática 2, cujas características são indicadas na Figura 1.

Para cada Zona Bioclimática existem diferentes diretrizes construtivas que são recomendadas. Elas abrangem basicamente as dimensões e proteções das aberturas, as vedações externas (tipos de cobertura, tipos de parede e piso) e estratégias de condicionamento térmico passivo. Na Zona Bioclimática 2, onde se encontra a cidade de São Leopoldo, as recomendações são as das tabelas 1, 2 e 3.

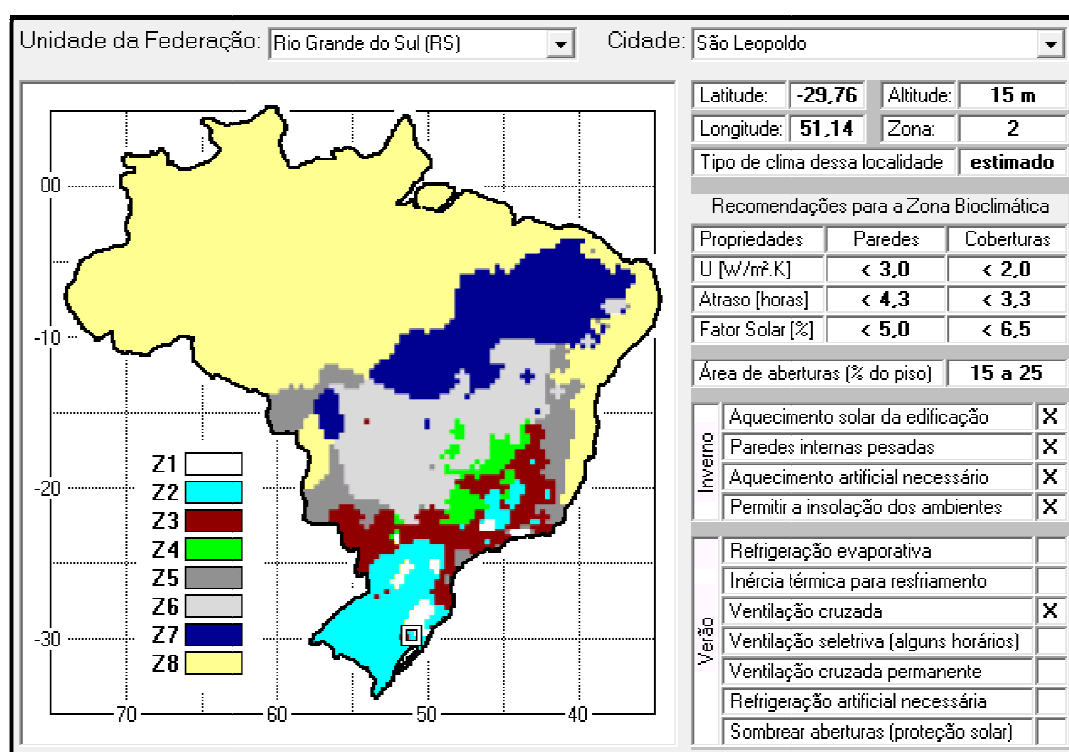


Figura 1- Zoneamento Bioclimático do Brasil e recomendações para Zona Bioclimática 2
 Fonte: Programa ZBBR do LabEEE– UFSC (2011).

Tabela 1 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 2.

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

Fonte: ABNT, 2005a.

Tabela 2 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 2.

Vedações externas
Parede: Leve
Cobertura: Leve isolada

Fonte: ABNT, 2005a.

Tabela 3 - 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.

Fonte: ABNT, 2005a.

É interessante notar que grande parte do território gaúcho encontra-se na mesma zona, ainda que cada região apresente características climáticas bem distintas. Este zoneamento está sendo revisto, mas para a presente pesquisa utilizou-se o zoneamento tal como ele se apresenta no momento, com a maioria das cidades gaúchas na zona bioclimática 2.

2.1.2 Características do clima da cidade de São Leopoldo – RS

São Leopoldo é uma cidade localizada a 31,4 km de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul. Ela está localizada na região da encosta inferior do nordeste do Rio Grande do Sul (Figura 2) a 15 metros acima do nível do mar e é cortada pelas rodovias BR 116 e RS 240 (SÃO LEOPOLDO, 2011).



Figura 2 - Localização da cidade de São Leopoldo no Estado do Rio Grande do Sul.
Fonte: Wikipédia, 2011.

Com 214.087 habitantes, segundo o Censo 2010 (IBGE), São Leopoldo possui clima subtropical úmido, com verões quentes e invernos frios e chuvosos. A temperatura média anual é de 19,4°C, com temperatura média de 24,5°C em janeiro e de 14,3°C em julho. Muitas vezes a temperatura sobe e chega perto dos 30°C em

alguns dias do inverno. A média anual de chuva é de 1.324mm (SÃO LEOPOLDO.NET, 2011).

2.2 Propriedades térmicas dos materiais

Sendo o envelope da edificação responsável pelas trocas térmicas entre o meio externo e interno, é importante para o estudo do desempenho térmico o conhecimento das propriedades térmicas dos materiais e fechamentos.

As recomendações sobre os materiais a serem utilizados na construção de edificações, muitas vezes, tratam apenas de uma das suas características térmicas. Mas não é possível basear-se em somente uma de suas propriedades térmicas, de forma independente, uma vez que todo o material combina essas propriedades como uma unidade. Um material isolante (baixa condutividade térmica) também tem determinados valores de densidade e de calor específico que podem diferenciá-lo de outro material, mesmo com condutividade igual (GONZÁLEZCRUZ, 2002).

As características térmicas fundamentais dos materiais são: a condutividade térmica (λ), a densidade (ρ), o calor específico (c), a difusividade térmica (a) e a efusividade térmica (b) (GONZÁLEZCRUZ, 2002).

A condutividade térmica (λ) e o calor específico (c), junto com as características da superfície dos fechamentos, determinam o ganho de calor dentro do recinto (GONZÁLEZCRUZ, 2002). Considerando que o calor específico varia muito pouco entre os materiais de construção, a capacidade de armazenamento depende da densidade dos mesmos.

O edifício está sujeito ao efeito periódico da radiação solar incidente e da temperatura exterior. Nestas condições de variáveis externas, os materiais utilizados

regulam a entrada e saída do calor de acordo com dois parâmetros: difusividade térmica e efusividade térmica (GONZÁLEZCRUZ,2002).

Conhecer as propriedades térmicas permite estabelecer estratégias para que o edifício responda de maneira eficiente às variações do clima. Além disso a correta seleção dos materiais construtivos tem papel fundamental para a promoção de um desempenho térmico satisfatório, oferecendo conforto aos usuários dessa edificação.

2.2.1 Calor específico

O calor específico (c) ou capacidade térmica específica é o quociente da capacidade térmica pela massa (ABNT, 2005a), caracterizando a capacidade de um material acumular calor. O seu valor é dado em $J/(kg.K)$ e depende do material, tendo um intervalo de variação pequeno para a maioria dos materiais de construção, entre 500 e 2000 $J/kg.K$. Um caso especial é a água, cujo valor específico é elevado (4.187 $J/kg.K$), fazendo com que ela seja utilizada como meio de armazenamento térmico em muitas aplicações (GONZÁLEZCRUZ, 2002).

2.2.2 Condutividade térmica

A condutividade térmica (λ) é uma propriedade física de um material homogêneo e isótropo, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m^2 , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro (ABNT, 2005a). Sua unidade no SI é $W/(m.K)$. A partir desta propriedade é possível estimar, por exemplo, o fluxo de calor através de uma parede.

A faixa de valores de condutividade dos materiais é muito ampla, variando de 0,026W/(m.K) para a espuma de poliuretano a 389W/(m.K) para o cobre (GONZÁLEZCRUZ, 2002). Quanto maior for a condutividade térmica de um material, melhor condutor ele é e menor será a resistência térmica do elemento ou componente construtivo.

2.2.3 Transmitância térmica do fechamento

Transmitância térmica (U) ou coeficiente global de transferência de calor é uma propriedade dos componentes construtivos relacionada à permissão da passagem de energia e é função dos materiais que a compõe (ABNT, 2005a). Está relacionada à espessura do componente e à condutividade térmica dos seus materiais constituintes, e representa sua capacidade de conduzir maior ou menor quantidade de energia por unidade de área e de diferença de temperatura (LAMBERTS et al., 2010). Sua unidade é W/(m².K).

A transmitância térmica pode ser calculada utilizando o método de cálculo da NBR 15220-2 (ABNT, 2005a), sendo que esta norma apresenta, além do método de cálculo, as propriedades térmicas de diferentes materiais, os coeficientes de trocas superficiais interno e externo, e os valores de resistências térmicas de câmaras-de- ar.

2.2.4 Difusividade térmica e efusividade térmica

A difusividade térmica (α) expressa a capacidade de um material de transmitir uma variação de temperatura enquanto a efusividade térmica (b) expressa a

capacidade de um material absorver ou restaurar um fluxo de calor ou potência térmica (GONZÁLEZCRUZ, 2002).

A difusividade térmica (α) é o quociente da condutividade térmica (λ) de um material pela sua capacidade de armazenar energia térmica (ρc) (ABNT, 2005a) sendo sua unidade dada em m^2/s . A difusividade térmica expressa quão rapidamente um corpo se ajusta à temperatura de seu entorno, sem no entanto expressar quanta energia térmica é acumulada pelo material. Submetido a uma variação de temperatura, um material expressará esta variação mais rapidamente na medida em que cresce sua difusividade térmica (GONZÁLEZCRUZ, 2002). Materiais de baixa difusividade retardam a transferência de variações externas de temperatura para o interior das construções.

A efusividade térmica indica a quantidade de energia térmica que um material é capaz de absorver. Ela é uma variável importante para o controle térmico das construções, porque expressa o amortecimento de oscilações de temperatura que os materiais são capazes de proporcionar, determinando como a variação da temperatura interna é amortecida com relação à variação da temperatura externa (FIGUEIRA, 2005).

Um elemento interno que tenha efusividade elevada indica que, em caso de elevação da temperatura do ar interno, ele roubará muita energia desse ar e a temperatura do ambiente interno não aumentará tanto. Quando o ar interno diminui sua temperatura, os materiais com valor elevado de efusividade lhe entregarão energia, fazendo com que o resfriamento não seja muito grande. Assim a diferença entre o máximo e o mínimo será muito menor dentro do ambiente que a flutuação exterior (CORBELLA & YANNAS, 2009).

Os materiais de baixa efusividade possuem uma temperatura de contato mais próxima da temperatura do corpo, fazendo com que o material pareça mais quente. Os de alta efusividade, como o granito, parecem frios ao toque (GONZÁLEZCRUZ, 2002).

De acordo com Corbella e Yannas (2009), a inércia térmica está relacionada a difusividade e a efusividade térmicas dos materiais de construção e ambas são conceitos importantes das propriedades dos materiais quando se estuda o conforto térmico de uma construção.

2.2.5 Capacidade térmica do fechamento

Capacidade térmica (C) é uma propriedade dos componentes construtivos que indica a quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema (ABNT, 2005a). A unidade usada no SI é $J/(m^2.K)$.

Quanto maior a capacidade térmica dos componentes de uma edificação, maior sua inércia térmica resultando em maior amortecimento das temperaturas internas em relação aos valores correspondentes no ambiente externo (LAMBERTS et al., 2010).

2.2.6 Inércia térmica

A inércia térmica depende das características térmicas da envolvente e dos componentes construtivos internos (FROTA&SCHIFFER,2001). Geralmente os fechamentos absorvem calor tanto do exterior quanto do interior, dependendo de onde o ar tiver a maior temperatura. Ao conduzir o calor para o outro lado, o material retém uma parte no seu interior, como consequência de sua massa térmica. Quanto maior a massa térmica, maior o calor retido. Este calor pode ser devolvido ao interior quando a temperatura do ar for menor que a da superfície. Haverá assim uma diminuição da amplitude da temperatura interna, chamada amortecimento (μ), que oscilará de forma amortecida. O pico da temperatura interna acontecerá algumas horas após o fechamento estar submetido ao pico da temperatura externa, que constitui o atraso térmico (φ) (LAMBERTS et al, 1997).

As propriedades de atraso térmico e amortecimento térmico estão associadas a inércia térmica justamente porque o fluxo de calor que penetra na parede não a atravessa imediatamente, antes apenas a aquece (FROTA&SCHIFFER,2001). Este fluxo atravessa a parede com um certo atraso e amortecido, conforme ilustrado na figura 3 que segue.

A alta inércia térmica é desejada em locais onde a amplitude térmica, entre o período diurno e noturno, é muito alta. Os revestimentos desempenham importante papel, pois revestimentos isolantes reduzem as trocas de calor com a parede e reduzem sua inércia. O amortecimento e o atraso térmico serão tanto maiores quanto maior for a inércia da construção (FROTA&SCHIFFER, 2001).

Atraso térmico (φ) é o tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor (ABNT, 2005a), sendo sua unidade dada em h (horas).

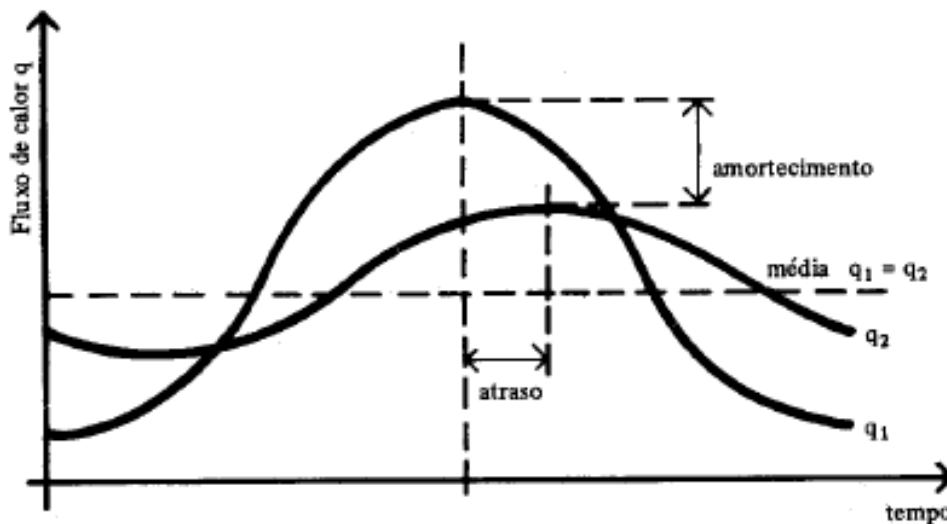


Figura 3 – Esquema explicativo do fenômeno da inércia térmica de uma parede real (q_2) e de uma parede fictícia de peso nulo (q_1).

Fonte: FROTA&SCHIFFER, 2001.

A capacidade de diminuir a amplitude das variações térmicas internas é chamada de amortecimento térmico. Roriz (1996) define o coeficiente de amortecimento (μ) como a razão entre as amplitudes das temperaturas máximas internas e externas

subtraídos de 1, representando que quanto maior o seu valor, maior a capacidade de amortecimento.

Segundo Frota & Schiffer (2001), os fenômenos de atraso e amortecimento térmico, que juntos compõem a inércia térmica, são bastante significativos para o comportamento térmico do edifício.

2.3 Desempenho térmico de edificações

Existe uma distinção entre desempenho térmico e comportamento térmico. O comportamento térmico é a resposta física que a edificação apresenta quando submetida às solicitações do clima externo (variáveis climáticas) e às condições de uso dos ambientes. Esta resposta pode ser identificada observando-se fatores como a variação da temperatura e umidade do ar interno ou dos fluxos de calor transmitidos através das vedações (LAMBERTS et al., 2010).

Quando tais fatores são confrontados com parâmetros de referência, ou seja, pré-requisitos que enfocam o atendimento das exigências de conforto dos usuários quanto ao comportamento da edificação em uso, tem-se a avaliação do desempenho térmico, que tem como fatores determinantes os ganhos de calor através das superfícies externas (paredes e cobertura) e das aberturas existentes (superfícies envidraçadas)(LAMBERTS et al., 2010).

O desempenho de um edifício está relacionado com as características dos seus elementos constituintes e suas interações. Suas cargas térmicas podem vir do exterior: determinadas pelas condições climáticas (temperatura, radiação solar e umidade), pelo sítio de implantação, pela forma arquitetônica e pelo seu fechamento (envelope externo); ou do interior: provenientes do metabolismo humano e do uso de equipamentos e processos (LAMBERTS et al., 2010).

Várias pesquisas referentes ao desempenho térmico já foram feitas e tem sido feitas, algumas das quais são aqui apresentadas. Suas diferenças se encontram nas edificações analisadas e no método de análise (medições ou simulações).

O objetivo principal do estudo realizado por Barbosa (1997) foi o de desenvolver uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico em edificações térreas residenciais unifamiliares, visando confirmar as condições de conforto térmico dos moradores; ajustar uma ferramenta de simulação térmica horária anual, frente a diferentes sistemas construtivos; e estabelecer o limite de horas anuais de desconforto com base nos sistemas construtivos mais utilizados.

Nos cinco diferentes sistemas construtivos de edificações estudados por Barbosa (1997) foram medidas as temperaturas internas no verão e no inverno, levantados os dados construtivos e as sensações dos usuários. A porcentagem de valores máximos ou mais frequentes foi considerada para a composição da tipologia construtiva representativa. Com o uso de um programa de simulação, a autora realizou simulações com várias alternativas construtivas, estabelecendo horas de desconforto anuais para cada uma delas. Dentre as tipologias estudadas, as casas de ardósia e de argamassa armada mostraram uma quantidade de horas de desconforto anual bem acima do limite estabelecido. As casas de concreto monolítico e blocos de concreto ficaram dentro da faixa aceitável de horas de desconforto. Esses resultados levaram a autora a verificar que a massa térmica é importante para a redução de horas de desconforto no clima de Londrina.

O estudo de Adriazola (2002) teve como objetivo principal analisar o desempenho térmico de salas de aula na unidade de Curitiba do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – CEFET-PR. O estudo abrangeu o monitoramento de temperatura e umidade no período de inverno e verão, simulações de modelos e análise do desempenho térmico de salas de aula.

A autora constatou que o período de monitoramento não havia sido suficiente para confirmar a influência das propriedades físicas dos materiais empregados nas paredes e coberturas dos ambientes monitorados, indicando a necessidade de se realizar avaliações por um período maior de tempo. Com isso foi realizada a opção de simulação. Com as simulações e cálculos pode-se verificar quais os materiais que apresentaram melhor desempenho, dentre os mais utilizados nas paredes e coberturas. As salas que apresentaram melhor desempenho térmico durante o monitoramento

foram as mesmas da simulação, que constatou que o concreto celular apresentou o melhor desempenho térmico, tanto para inverno como para o verão.

Adriazola (2002) concluiu que os valores de transmitância e de inércia térmica dos materiais empregados tanto nas paredes como nas coberturas influenciam no desempenho térmico das salas em maior ou menor grau. Para as paredes quanto menor o valor da transmitância térmica e maior o valor do atraso térmico, melhor o resultado.

Ferreira (2007) trabalhou na avaliação de edifícios de escritório na região central do Rio Grando do Sul, objetivando o diagnóstico e comparação da situação atual de desempenho térmico de diferentes tipologias de edifícios de escritório localizados em seis cidades pertencentes à Zona Bioclimática 2 do Brasil. Este trabalho não utilizou programas computacionais para avaliar o desempenho térmico dos edifícios. Para a realização do estudo foram definidas cinco tipologias representativas, utilizando-se de critérios como a relação largura/comprimento do prédio, formato do prédio e relação área dos fechamentos transparentes/opacos nas fachadas dos edifícios. Suas características construtivas foram analisadas e as temperaturas do ar interna e externa foram monitoradas em dois intervalos de treze dias, sendo um no período de inverno e outro no de verão. Embora cada tipologia tenha tido o monitoramento de temperaturas em um período tanto no inverno quanto no verão, estes períodos não foram os mesmos em todas as edificações.

A análise do comportamento térmico das diferentes tipologias se deu em função da relação entre a temperatura interna e externa no que diz respeito à variação ao longo do tempo. A autora relaciona os resultados externos e internos da amplitude térmica e do amortecimento da onda térmica, considerando tanto o período diário quanto o período total da medição.

Os resultados referentes ao amortecimento da onda térmica comparados às características construtivas do edifício permitiram concluir que a área de aberturas, a orientação das mesmas, o tipo de vidro e a cor dos fechamentos opacos foram os fatores que mais influenciaram nos resultados obtidos.

Uma limitação no estudo de Ferreira (2007) foi a dificuldade de análise comparativa dos resultados em função das medições em períodos diferentes e locais diferentes. No presente estudo o monitoramento das temperaturas foi simultâneo nas diferentes edificações, de forma a descartar diferenças climáticas que pudessem influenciar no comportamento térmico das edificações.

Dornelles e Roriz (2005) investigaram a influência do uso da inércia térmica em edificações localizadas na cidade de São Carlos, SP, com o objetivo de melhorar o desempenho térmico destas edificações e reduzir a utilização dos sistemas de condicionamento de ar. Foram analisadas três edificações com diferentes padrões de inércia térmica. Utilizou-se um sistema de aquisição de sinais (datalogers HOBO, Onset®) para monitorar a temperatura do ar no interior e exterior dos ambientes. Os ambientes foram analisados sem ocupação e fechados, para que as fontes internas de calor e a infiltração não interferissem na temperatura interna. Os resultados demonstraram que somente a utilização da inércia térmica não é suficiente para que as edificações localizadas em São Carlos resultem em edificações com elevado desempenho térmico.

A limitação do trabalho de Dornelles e Roriz (2005) se deu pela existência de diferentes posições de fachada principais e também de edificações em contato com outras edificações reduzindo o ganho por calor solar. Na presente pesquisa os ambientes também foram analisados sem ocupação e fechados, para que não houvessem interferências na temperatura interna, mas diferentemente do trabalho de Dornelles e Roriz (2005), as edificações analisadas possuem mesma orientação de fachadas e também mesma distribuição em planta, de forma a diminuir ainda mais a influência de outros fatores que poderiam interferir na análise.

No trabalho de Menezes (2006), foram realizadas medições *in loco* de temperatura e umidade no interior e no exterior de habitações unifamiliares de interesse social na cidade de Passo Fundo, no período de verão e de inverno. Simultaneamente às medições foram identificadas as tipologias construtivas das habitações e foram desenvolvidos os cálculos dos parâmetros de desempenho térmico das edificações

através do método definido pela norma NBR 15220 – 2 (ABNT, 2005a), calculando-se para cada elemento construtivo a transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar. Assim realizou-se a montagem do modelo de cada uma das habitações em estudo no programa computacional EnergyPlus, com a definição de cada uma de suas características e de seus elementos, parâmetros e arquivos climáticos. Com isso foram obtidos os relatórios da simulação de desempenho térmico de cada uma das edificações. O programa computacional EnergyPlus forneceu o PMV (Voto Médio Estimado), índice que estima o valor médio dos votos de um grupo de pessoas na escala de sensação térmica, caracterizando a sensação de conforto térmico das habitações, o qual foi comparado com os valores recomendados pela norma ISO 7730 (1994). Os valores encontrados nas simulações e os valores obtidos nas medições foram comparados entre as diferentes habitações e seus dados também foram confrontados.

Os resultados apresentados na pesquisa de Menezes (2006) permitem concluir que a maioria dos parâmetros das habitações estudadas está dentro dos estabelecidos pela NBR 15220. O autor constatou que o período de desconforto térmico é muito maior devido ao frio (baixas temperaturas) do que devido ao calor (altas temperaturas). Dessa forma, foi indicado um melhor aproveitamento do calor de radiação solar, com o aumento da inércia térmica da edificação, combinada com uma orientação solar adequada, o que pode melhorar o conforto dentro destas residências no inverno. Assim como Barbosa (1997), este estudo leva a concluir que, onde há inverno rigoroso, não é adequada a utilização de elementos construtivos externos leves. Além disso, mostra que a norma NBR 15220 equivoca-se ao indicar coberturas leves para uma região de clima frios e com uma grande variação diária de temperatura.

No trabalho de Dumke (2002) foram analisadas 18 moradias habitadas e de sistema construtivo diferenciado. A avaliação térmica das moradias habitadas foi realizada com medições no próprio ambiente com a utilização de dataloggers (HOBO, Onset®). Foram medidos períodos no verão e no inverno.

Na análise de Dumke (2002), observou-se que tanto para o inverno como para o verão, as coberturas com forro de madeira, câmara de ar não-ventilada e telha

cerâmica foram as que apresentaram melhor desempenho térmico e o pior desempenho foi obtido para as coberturas de forro de madeira ou de painéis de concreto e telhas de fibrocimento. Com relação às tecnologias, constatou-se que o sistema construtivo com tijolos cerâmicos vazados e cobertura de madeira, com câmara de ar muito ventilada, apresentou pior desempenho térmico no inverno, mas um dos melhores desempenhos no verão, sendo apropriada para regiões de clima quente. De modo semelhante, o sistema construtivo de blocos de concreto autotravados, apresentou bom desempenho térmico no verão e ruim no inverno (DUMKE, 2002).

Das tecnologias estudadas a mais adequada foi a de tijolos de solocimento, que teve melhor desempenho no inverno e segundo melhor desempenho no verão. A pior situação foi observada no sistema de tijolos cerâmicos vazados, com características de transmitância e inércia térmica muito semelhantes ao sistema de tijolos de solocimento, exceto por apresentar a transmitância da cobertura acima do valor recomendado (DUMKE, 2002).

Dumke (2002) não verificou uma relação clara do desempenho térmico e das características termofísicas dos materiais. No verão, tais características parecem ser fatores determinantes do desempenho térmico das moradias, mas não no inverno.

Em trabalho apresentado por Barbosa & Lemos (1999), foram analisados cinco sistemas construtivos diferentes utilizados na edificação de habitação popular na cidade de Londrina – PR, com o objetivo de verificar qual sistema apresentava o melhor desempenho térmico e quais as características térmicas que mais influenciam o resultado. A metodologia empregada para avaliar o desempenho térmico baseou-se nos limites de temperatura de conforto definidos por Givoni (1992), com a quantificação das horas anuais de desconforto por frio e por calor. Os sistemas foram comparados entre si segundo os resultados obtidos por simulação. O principal resultado encontrado foi que a taxa de ventilação é o parâmetro que mais influencia o desempenho térmico destes sistemas construtivos.

O estudo de Rotta (2009), para a avaliação do desempenho térmico de diferentes edifícios em conjuntos habitacionais de caráter popular na cidade de Santa Maria, foi composto pelo levantamento dos edifícios existentes, com a verificação das

características projetuais e construtivas dos edifícios; definição dos edifícios a serem analisados; e monitoramento das variáveis ambientais internas e externas permitindo a avaliação do desempenho térmico. Foram catalogados conjuntos habitacionais da cidade e foram coletados dados referentes às soluções adotadas no projeto arquitetônico, na implantação do conjunto e dados referentes aos sistemas construtivos utilizados nas edificações.

Para Rotta (2009), características de projeto que facilitam a ocorrência de ventilação cruzada e a capacidade térmica dos edifícios foram consideradas as mais relevantes na definição das tipologias a serem analisadas. Dessa forma, dentro de um universo de 22 conjuntos habitacionais, 5 amostras de tipologias foram selecionadas para a realização do monitoramento de temperatura. Foram levantados os dados de temperatura interna e externa nos períodos de inverno e verão, com leituras a cada 5 minutos. Em cada edifício foram feitos 4 medições internas e 1 medição externa. O período de medição das temperaturas internas e externas foi o mesmo em todas as tipologias, permitindo além da avaliação dos dados, a comparação entre eles.

Através da distribuição dos aparelhos de medição de temperatura em diferentes pavimentos e diferentes orientações, Rotta (2009) verificou que o efeito exercido pela cobertura nos últimos pavimentos teve maior influência que a orientação solar nos resultados de variação da temperatura interna, amplitude e amortecimento térmico, tanto no período de inverno quanto no período de verão. Verificou que a ventilação cruzada pode não melhorar as condições de conforto térmico quando não se pode controlá-la ou quando as condições de vedação não são adequadas. No verão, em áreas urbanas densificadas, o aquecimento do ar ocorre de maneira mais intensa e com o auxílio da ventilação a temperatura no interior da edificação tende a se igualar à temperatura externa. As medições de temperaturas externas realizadas apresentaram uma amplitude térmica média de até 10°C durante o dia, tanto no período de inverno quanto no período de verão. Utilizar-se dessa diferença de temperatura para resfriar o ambiente no verão e aquecê-lo no inverno é uma estratégia que deve ser adotada, mas com controle da entrada e saída do ar. A capacidade térmica elevada teve um papel decisivo no desempenho térmico dos prédios sendo fator determinante nos resultados obtidos de desempenho térmico no período de verão, sendo que no inverno outros

fatores interferiram de forma mais decisiva. Dessa forma, mais um estudo conclui que a norma de desempenho térmico (ABNT, 2005a) se aplica melhor para climas quentes.

Ribeiro (2010) analisou o desempenho térmico de paredes de alvenaria estrutural, selecionando 48 casos que relacionam painéis de paredes com materiais diferentes e orientações de fachada diferentes. Nesses painéis foram analisados os ganhos e perdas de calor através da envoltória, nos solstícios de verão e inverno, em uma edificação típica construída em alvenaria estrutural, resultando em diretrizes projetuais iniciais para um melhor desempenho térmico da edificação em alvenaria estrutural para Belo Horizonte.

Em cada módulo foram analisados oito casos, variando-se os materiais dos blocos comumente encontrados no mercado (concreto vazado, cerâmico vazado, cerâmico maciço e concreto celular) e a orientação das fachadas. A análise deu-se por meio da “Tabela de Análise de Desempenho Térmico” desenvolvida por Souza e Pereira (2004), com dados obtidos na modelagem da edificação no programa ARQUITROP (RIBEIRO, 2010).

Nos resultados foi possível notar que a orientação das fachadas tem grande influência no ganho de calor pela envoltória, sendo esta mais significativa do que a diferenciação de materiais. As fachadas com aberturas, quando voltadas para leste e oeste, transmitem para o interior da edificação, mais calor do que quando voltadas para norte e sul, levando a conclusão de que as aberturas nas fachadas leste e oeste devem apresentar proteção solar para evitar ganhos e perdas de calor pela envoltória do edifício.

Além disso Ribeiro (2010) conclui que o desempenho do revestimento interno não apresentou variação significativa na análise, sendo assim, a escolha do material do revestimento não precisa estar necessariamente condicionada ao seu desempenho térmico. O mesmo ocorre na diferenciação na espessura da argamassa, que não apresenta resultados relevantes ao estudo. A diferenciação de espessura do bloco apresentou cerca de 10% de diferença de ganhos e perdas de calor.

Os blocos cerâmicos, vazado e maciço, também apresentaram resultados semelhantes, devido ao isolamento térmico causado pela camada de ar presente no

interior do bloco cerâmico vazado. Já o bloco de concreto apresentou os resultados mais elevados de ganhos de calor, enquanto o bloco de concreto celular auto-clavado apresentou resultados com ganhos de calor mais baixos (RIBEIRO, 2010).

A maioria dos trabalhos que abordam desempenho térmico e eficiência energética em edificações, realiza simulações termo-energéticas, e utilizam para as simulações um caso base, definido através da frequência de ocorrência dos diversos parâmetros levantados nas pesquisas. Com o caso base são realizadas várias alternativas de projeto e materiais a fim de se chegar a um modelo mais eficiente energeticamente.

A presente pesquisa se diferencia por avaliar o desempenho térmico sem o uso de programas computacionais e por avaliar edifícios reais. Além disso, esta pesquisa analisa o desempenho térmico de edificações com mesma orientação solar e mesma planta baixa e possui suas medições no mesmo período e no mesmo local. Dessa maneira, para a análise comparativa, ficam excluídas diversas variáveis que poderiam afetar o resultado final.

2.3.1 Normas de Desempenho Térmico

Normas que regulam o desempenho térmico e/ou a eficiência das edificações já existem desde a década de 1970 e, cada vez mais, sua importância vem sendo reconhecida e elas vêm sendo empregadas nas novas construções. Atualmente, muitos países possuem normas ou legislações relacionadas ao desempenho térmico e à eficiência energética de edificações, que os ajudam a alcançar uma maior eficiência nas construções (MELO, 2007).

Um dos grandes desafios para a utilização das normas de desempenho na construção civil é a tradução das necessidades dos usuários em requisitos e critérios que possam ser mensurados de maneira objetiva, dentro de determinadas condições de exposição e uso, e que sejam viáveis técnica e economicamente dentro da realidade de cada sociedade (BORGES, 2008).

A necessidade de cumprimento das normas constituem também um estímulo para o seu desenvolvimento, implantação e contínuo aprimoramento. Elas devem ser usadas como uma ferramenta de análise de sistemas de construção, possibilitando a comparação de soluções arquitetônicas na busca de conforto e eficiência energética (AKUTSU & VITTORINO, 1997).

2.3.1.1 Norma Brasileira NBR 15220

O conjunto de normas NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações (ABNT, 2005a) entrou em vigor em 2005 e trata especificamente sobre desempenho térmico, sendo organizada em cinco partes. A primeira trata das definições, símbolos e unidades; já a segunda traz os procedimentos para que os valores de transmitância térmica, atraso térmico e fator solar para os elementos e componentes das edificações sejam calculados. A terceira parte trata do zoneamento bioclimático das cidades brasileiras, associado a recomendações e diretrizes para edifícios unifamiliares de interesse social; e a quarta e a quinta partes apresentam métodos diferenciados de medição da resistência e da condutividade térmica, pelo princípio da placa quente protegida e pelo método fluximétrico.

A primeira parte da NBR 15220 detalha as definições das características térmicas de materiais, elementos e componentes construtivos, definindo, entre outras, as grandezas da condutividade térmica, transmitância térmica, capacidade térmica, calor específico, difusividade térmica e atraso térmico (já descritas anteriormente).

Os cálculos necessários para a análise de desempenho térmico das edificações, além dos valores das propriedades térmicas dos materiais como condutividade térmica e calor específico, são encontrados na norma NBR 15220 – Parte 2.

O primeiro cálculo demonstrado na norma é o da resistência térmica, calculada pela equação 1.

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (1)$$

Onde:

e – é a espessura da camada;

λ – é a condutividade térmica do material da camada.

Este cálculo é feito para cada uma das seções das camadas do material, sendo que a resistência de câmaras de ar (R_{ar}) não ventiladas é obtida na mesma norma.

Assim, após o cálculo das resistências para cada seção, pode ser calculada a resistência térmica superfície a superfície. Considerando a existência de seções com diferentes resistências térmicas ela é determinada pela equação 2.

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \quad (2)$$

Onde:

A_a, A_b, \dots, A_n – são as áreas de cada seção;

R_a, R_b, \dots, R_n – são as resistências térmicas de superfície à superfície para cada seção.

A resistência térmica ambiente a ambiente é dada então pela equação 3:

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (3)$$

Onde:

R_t – é a resistência térmica de superfície a superfície, calculada conforme a equação 2;

R_{se} e R_{si} – são as resistências superficiais externas e interna, cujos valores são encontrados na norma.

Assim, chega-se a equação da transmitância térmica (Equação 4).

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (4)$$

Onde verifica-se que a transmitância térmica é o inverso da resistência térmica ambiente a ambiente.

Outro importante parâmetro para análise do desempenho térmico é a capacidade térmica. Primeiro, calcula-se a capacidade térmica de cada seção, pela equação 5.

$$C_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad (5)$$

Onde:

λ_i – é a condutividade térmica do material da camada i^a ;

R_i – é a resistência térmica da camada i^a ;

e_i – é a espessura da camada i^a ;

c_i – é calor específico do material da camada i^a ;

ρ_i – é a densidade de massa aparente do material da camada i^a .

Como o ar apresenta uma densidade de massa aparente muito baixa ($\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$), a sua capacidade térmica, em componentes com câmaras de ar, pode ser desprezada.

A determinação da capacidade térmica de um componente é dada pela equação 6.

$$C_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{C_{Tn}}} \quad (6)$$

Onde:

A_a, A_b, \dots, A_n – são as áreas de cada seção;

$C_{Ta}, C_{Tb}, \dots, C_{Tn}$ – são as capacidades térmicas do componente para cada seção, determinadas pela equação 5.

A norma também demonstra a equação para o cálculo do atraso térmico. No caso de um elemento heterogêneo, caso dos blocos cerâmicos e de concreto analisados, o atraso térmico é determinado através da equação 7.

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} \quad (7)$$

Onde:

R_t - é a resistência térmica de superfície a superfície do componente (calculada pela equação 2);

B_1 - é dado pela equação 8;

B_2 - é dado pela equação 9;

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} \quad (8)$$

Onde:

B_0 - é dado pela equação 10;

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \right) \cdot \left(R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right) \quad (9)$$

$$B_0 = C_T - C_{T_{ext}} \quad (10)$$

Onde:

C_T - é a capacidade térmica total do componente;

$C_{T_{ext}}$ - é a capacidade térmica da camada externa do componente.

Por último, a norma demonstra os cálculos para o Fator Solar. Sendo que o fator de ganho de calor solar de elementos opacos é dado pela equação 11:

$$FS_o = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{se} \quad (11)$$

Onde:

FS_o - é o fator solar de elementos opacos em percentagem;

U - é a transmitância térmica do componente;

α - é a absorvância à radiação solar da superfície - função da cor;

R_{se} - é a resistência superficial externa, dada pela tabela 5.

Como R_{se} é admitido constante e igual a 0,04, a equação 11, pode ser reescrita na forma da equação 12.

$$FS_o = 4.U.\alpha \quad (12)$$

Para análise dos cálculos definidos pela norma NBR 15220, são apresentados na mesma norma certas diretrizes construtivas específicas para cada zona bioclimática brasileira. No caso deste trabalho serão analisadas as recomendações para a Zona Bioclimática 2, da qual a cidade de São Leopoldo faz parte. A Tabela 4 apresenta as recomendações para a Zona Bioclimática 2 brasileira.

Tabela 4 - Recomendações para a zona bioclimática 2 conforme NBR 15220.

Zona Bioclimática 2		
Aberturas	Aberturas para ventilação médias	15%<A<25% A (em % da área do piso)
	Sombreamento	Permitir sol durante o inverno
Paredes externas leves	Transmitância térmica – U W/m ² .K	≤3,0
	Atraso térmico φ (h)	≤4,3
	Fator solar FS (%)	≤5,0
Cobertura leve e isolada	Transmitância térmica – U W/m ² .K	≤2,0
	Atraso térmico φ (h)	≤3,3
	Fator solar FS (%)	≤6,5
Estratégias de condicionamento térmico passivo	Verão	Ventilação cruzada
	Inverno *O condicionamento passivo é insuficiente neste período.	Aquecimento solar Vedações internas pesadas

Fonte: ABNT, 2005a.

A terceira parte da NBR 15220 é uma importante referência normativa, para a prescrição de estratégias bioclimáticas a serem incorporadas no projeto de edificações. Ela apresenta o Zoneamento Bioclimático Brasileiro e as Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social. De acordo com esta classificação, o Brasil foi subdividido em oito zonas. As diretrizes construtivas são específicas para cada zona bioclimática e a avaliação é prescritiva, realizada com base na verificação do atendimento de cada parâmetro identificado pela norma.

O objetivo das recomendações técnico-construtivas é a otimização do desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática. As estratégias de condicionamento ambiental recomendadas pela NBR 15220-3 são baseadas na carta bioclimática de Givoni (1992) e nas planilhas de Mahoney (KOENIGSBERGER, 1977).

A classificação de cada cidade em uma determinada zona depende das estratégias bioclimáticas, definidas previamente com a utilização das planilhas de Mahoney para a definição dos limites das propriedades térmicas dos elementos construtivos (paredes e coberturas): Transmitância Térmica, Capacidade Térmica, Fator Solar e Atraso Térmico (ABNT, 2005a).

O método desenvolvido por Mahoney tem sido usado em muitos países e contextos climáticos, com os dados das normais climatológicas comparados com limites de conforto pré-estabelecidos. Essa comparação permite identificar grupos de problemas climáticos dominantes e, para cada grupo, obter recomendações técnicas de projeto (BARBIRATO et al., 2010).

2.3.1.2 Norma brasileira NBR 15575

A norma NBR 15575: Edificações habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho, é um conjunto de normas organizadas em seis partes. Ela se preocupa com a edificação como um todo, estabelecendo critérios e métodos de avaliação de desempenho para os principais sistemas que compoem um edifício, abordando temas

relacionados a sistemas estruturais, sistemas de pisos internos, sistemas de vedações verticais internas e externas, sistemas de coberturas e sistemas hidrossanitários (ABNT, 2012).

Esse conjunto de normas é abrangente e define requisitos de desempenho que se aplicam ao edifício habitacional através de critérios de segurança, habitabilidade, higiene e saúde, durabilidade, e adequação ambiental, considerando as necessidades dos usuários e as condições de exposição da edificação ao longo de sua vida útil mínima obrigatória.

Os requisitos de desempenho são expressos em termos qualitativos; os critérios de desempenho, em termos quantitativos; e os métodos de avaliação para mensuração do desempenho variam de acordo com o momento e os objetivos das avaliações.

A classificação dos níveis de desempenho é feita de acordo com a adequação do projeto aos critérios estabelecidos pela norma, em três categorias: nível M (mínimo), I (intermediário) ou S (superior), sendo que para cada patamar, a edificação terá um prazo de garantia e vida útil diferente.

O desempenho térmico é um dos requisitos qualitativos de desempenho, sendo os critérios de avaliação os valores máximos de temperatura interna no verão e os valores mínimos de temperatura interna no inverno. Na NBR 15575, o desempenho térmico pode ser classificado e é um dos requisitos que deve ser contemplado adequadamente pelos sistemas de vedações verticais internas e externas, assim como pelos sistemas de cobertura.

A norma estabelece três procedimentos de avaliação do desempenho térmico: prescritiva (semelhante à NBR 15220-3); simulação computacional e medição. Quando se utiliza a medição, a temperatura do ar é monitorada nas edificações ou em protótipos construídos.

Como método de avaliação para as condições de conforto no verão e no inverno, a norma recomenda tanto a simulação computacional, como as medições *in loco*, conforme as recomendações apresentadas nos seus Anexos A e B da Parte 1.

O anexo B apresenta as recomendações para avaliação do desempenho térmico de edifícios por meio de medições. Estabelece que deve-se medir a temperatura de bulbo seco do ar no centro dos dormitórios e salas, a 1,20m do piso.

Como critérios e níveis de avaliação de desempenho térmico através de medições para a Zona Bioclimática 2, a norma estabelece as condições apresentadas na tabela 5.

Tabela 5 – Critérios para avaliação de desempenho térmico pelo método de medição na Zona Bioclimática 2 segundo NBR 15575

Nível de desempenho	Limites de temperatura do ar no verão
Mínimo	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
Intermediário	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{\circ}\text{C})$
Superior	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^{\circ}\text{C})$

$T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus centígrados.
 $T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus centígrados.

Nível de desempenho	Limites de temperatura do ar no inverno
Mínimo	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^{\circ}\text{C})$
Intermediário	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^{\circ}\text{C})$
Superior	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^{\circ}\text{C})$

$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus centígrados.
 $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus centígrados.

Fonte: ABNT, 2012.

A norma apresenta também os critérios mínimos de desempenho térmico de vedações verticais e cobertura estabelecendo valores admissíveis para transmitância térmica (U) e capacidade térmica (C) de acordo com a zona bioclimática em que a edificação está inserida. Além disso a norma faz recomendações sobre as aberturas,

estabelecendo áreas mínimas de ventilação e sombreamento das janelas. A tabela 6 apresenta os critérios estabelecidos pela NBR 15575 para a Zona bioclimática 2.

Tabela 6 – Recomendações para desempenho térmico mínimo de vedações verticais e cobertura na Zona Bioclimática 2 segundo NBR 15575.

Vedações verticais e cobertura		
Zona Bioclimática 2 – Nível de desempenho mínimo		
Requisito	Critérios	
Adequação vedações externas	Transmitância térmica – U $W/(m^2.K)$	$\leq 2,5$
	Capacidade térmica $KJ/(m^2.K)$	≥ 130
Ventilação dos ambientes internos à habitação	Áreas mínimas de aberturas para ventilação (A, em % da área do piso)	Aberturas médias $A \geq 8$
Sombreamento das aberturas localizadas em paredes externas	Sombreamento dos vãos das janelas de dormitórios	Uso de dispositivos de sombreamento que permitam o controle de sombreamento e escurecimento a critério do usuário
Isolação térmica da cobertura	Transmitância térmica – U $W/(m^2.K)$	$\leq 2,3$
	Absortância térmica	Sem exigência

Fonte: ABNT, 2012.

2.3.1.3 Considerações sobre as Normas NBR 15220 e NBR 15575

É possível observar que existem diferenças entre as propriedades térmicas apresentadas pelas duas Normas. A NBR 15575 insere algumas propriedades térmicas não mencionadas de forma explícita pela NBR 15220 como capacidade térmica de paredes e limites de valores para o coeficiente de absorção de paredes e coberturas. Além dessa diferença entre as propriedades térmicas mencionadas, há discrepâncias nos próprios parâmetros adotados (CURCIO, 2011). Enquanto a NBR 15575 exige valores de capacidade térmica acima de um valor limite, a NBR 15220 especifica valores de atraso térmico abaixo de um valor limite. Assim, enquanto uma norma adota o benefício da inércia térmica a outra vai na direção contrária.

Estas diferenças são apontadas na Tabela 7 que relaciona as recomendações das normas NBR 15220 e NBR 15575 para a Zona Bioclimática 2, conforme a tabela apresentada por Grigoletti (2007) que constata as diferenças entre as propriedades térmicas para a Zona Bioclimática 3.

Tabela 7 – Avaliação de desempenho térmico segundo NBR 15220 e NBR 15575 para a Zona Bioclimática 2 (adaptada da tabela apresentada por GRIGOLETTI (2007), para a Zona bioclimática 3)

Recomendações	Paredes	
	NBR 15220	NBR 15575
Transmitância térmica – U (W/C m ²)	≤ 3,0	≤ 2,5
Coeficiente de absorção α	Sem especificação (ver fator solar)	Sem especificação para a zonas 1 e 2
Capacidade térmica (KJ/m ² .K)	Sem especificação explícita (ver atraso térmico)	≥ 130
Aberturas para ventilação médias (em % da área do piso)	15% < A < 25%	A ≥ 8%
Fator solar FS = 4.α.U (%)	≤ 5,0	Sem especificação
Atraso térmico φ(h)	≤ 4,3	Sem especificação (ver capacidade térmica)

Fonte: ABNT, 2005a e 2012.

2.4 Alvenaria Estrutural

A alvenaria pode ser entendida como um componente construído em obra, a partir da união entre tijolos ou blocos com juntas de argamassa, formando um conjunto rígido e coeso (SABBATINI, 1984).

As edificações em alvenaria estão entre as construções que têm maior aceitação pelo homem, em todos os tempos (DUARTE, 1999). Ramalho & Correa (2003) citam alguns exemplos de obras executadas em alvenaria, desde a antiguidade, destacando as três grandes pirâmides de Guizé, (Quéfren, Quéops e Miquerinos), construídas em alvenaria de blocos de pedra (Figura 4).



Figura 4 - Pirâmides do Egito
Fonte: (<http://www.egypt.travel/>), 2011.

Embora no período entre os séculos XIX e XX tivessem sido realizados testes de resistência dos elementos da alvenaria estrutural em vários países, o projeto de alvenaria estrutural ainda era elaborado de acordo com métodos empíricos de cálculo, apresentando grandes limitações (HENDRY, 2002).

Foi durante os séculos XIX e XX que edifícios em alvenaria estrutural foram construídos com espessuras excessivas de paredes (HENDRY, 2002). Um dos edifícios mais conhecidos como exemplo é o edifício Monadnock em Chicago (Figura 5), que se

tornou um símbolo da moderna alvenaria estrutural, mesmo com suas paredes da base de 1,80m. Na época este edifício foi considerado como limite dimensional máximo para estruturas de alvenaria calculadas pelos métodos empíricos até então empregados. Acredita-se que este mesmo edifício, dimensionado pelos procedimentos utilizados atualmente, com os mesmos materiais, teria espessura inferior a 30cm (RAMALHO e CORRÊA, 2003).



Figura 5 - Edifício Monadnock, Chicago.
Fonte: <http://www.monadnockbuilding.com/history.htm> (2011)

Por cerca de 50 anos os edifícios em alvenaria estrutural tiveram pouca aplicação, já que a maioria das construções na época empregavam estruturas de concreto armado (HENDRY, 2002). Somente após a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), que causou uma escassez dos materiais de construção na Europa, em especial do aço, que a alvenaria estrutural voltou a ser utilizada, principalmente na Suíça, pela inexistência de indústrias de aço na região (HENDRY, 2002). Segundo Ramalho e Corrêa (2003), um edifício construído em 1950 na Basileia, Suíça, com 13 pavimentos

foi um marco importante na história da alvenaria estrutural, pois suas paredes internas foram reduzidas à espessura de 15cm e as paredes externas a 37,5cm de espessura.

Nas décadas de 1960 e 1970, o interesse pela alvenaria estrutural avançou para outros países da Europa, onde foram construídos diversos edifícios em alvenaria estrutural promovidos principalmente por programas públicos (HENDRY, 2002).

No Brasil foi a partir da década de 1970 que a alvenaria estrutural passou a ser tratada como uma tecnologia de engenharia, através do projeto estrutural baseado em princípios validados cientificamente (RAMALHO e CORRÊA, 2003). Segundo os mesmos autores, apesar de sua chegada tardia, o processo construtivo de alvenaria estrutural acabou se firmando como uma alternativa eficiente e econômica para a execução de edifícios residenciais e também industriais.

Conforme Ramalho e Corrêa (2003), a utilização da alvenaria estrutural parte de uma concepção que é a de transformar a alvenaria, originalmente com função exclusiva de vedação, na própria estrutura, evitando a necessidade de pilares e vigas que dão suporte a uma estrutura convencional.

Como as paredes constituem ao mesmo tempo, estrutura e vedação, a simplicidade resultante deste fato traz inúmeras vantagens, possibilitando a racionalização do processo construtivo, com a diminuição de custos e prazos. Tais motivos justificam a difusão da alvenaria em praticamente todo o país, num curto espaço de tempo (FRANCO, 1992).

A alvenaria estrutural apresenta várias vantagens como a redução da diversidade de materiais e mão de obra, redução no número de etapas, flexibilidade construtiva, compatibilização de projetos, economia e velocidade de construção. Mas sua maior notoriedade deve-se ao seu potencial de racionalização e produtividade, que possibilita a produção de construções com bom desempenho tecnológico aliado a altos índices de qualidade e economia, vantagens alcançadas através da elaboração e coordenação de projetos bem estudados.

Os principais componentes empregados na execução de edifícios de alvenaria estrutural são as unidades (blocos), a argamassa, o graute e as armaduras. É comum também a presença de elementos pré-fabricados como: vergas, contravergas e outros.

Muitos trabalhos de pesquisa foram desenvolvidos em alvenaria estrutural nos últimos tempos, melhorando a qualidade dos materiais e dos métodos de cálculo deste processo construtivo, conferindo-lhe progressos que o colocam como uma opção tecnológica moderna, econômica e de boa qualidade. Além disso este sistema tem apresentado resultados positivos como processo construtivo racionalizado com baixo consumo de energia e baixo custo de investimento, aliado a rapidez na construção (RAUBER,2005).

O bloco é a unidade básica da alvenaria estrutural e é o componente mais importante que a compõe, uma vez que comanda a resistência à compressão e determina os procedimentos para aplicação da técnica da coordenação modular nos projetos (CAMACHO, 2001). Para a utilização dos blocos em alvenaria estrutural os mesmos devem apresentar resistência à compressão, baixa absorção de água, durabilidade e estabilidade dimensional (ROMAN, MUTTI & ARAÚJO, 1999).

A escolha do bloco a ser usado influencia no comportamento final da estrutura. O fato de o bloco possuir dimensões conhecidas e de pequena variabilidade dimensional, possibilita que haja a coordenação modular, com ajuste de todas as dimensões da obra. Além disso a espessura escolhida será de fundamental importância para o encaixe dos blocos.

As unidades mais utilizadas no Brasil para edificações de alvenaria estrutural são, segundo Ramalho & Correa (2003) as unidades cerâmicas, as unidades de concreto e unidades sílico-calcárias.

Ainda segundo Ramalho & Correa (2003), as unidades podem ser maciças ou vazadas, sendo denominadas tijolos ou blocos, respectivamente. São consideradas maciças aquelas que possuem um índice de vazios de no máximo 25% da área total. Se os vazios excederem esse limite, a unidade é classificada como vazada.

A escolha do tipo de bloco depende da altura da edificação, da existência de fornecedores locais, custo, tradição da construtora, entre outros. Quanto a aplicação, as unidades podem ser de vedação, quando tem somente função de fechamento e estruturais, quando conferem resistência e dão suporte à estrutura.

Sendo o bloco o elemento mais importante da composição da alvenaria estrutural, as características do mesmo serão as que mais influirão no desempenho térmico do fechamento opaco.

No presente estudo, os diferentes blocos (estrutural cerâmico e estrutural de concreto) foram utilizados em diferentes edificações do conjunto habitacional apenas por falta de material na fabricante do bloco estrutural cerâmico. Não tendo havido nenhum outro estudo a respeito das diferentes propriedades dos dois tipos de blocos.

2.4.1 Blocos Cerâmicos utilizados em Alvenaria Estrutural

O bloco cerâmico estrutural é um componente de alvenaria que possui furos prismáticos e/ou cilíndricos perpendiculares às faces que os contêm (ABNT, 2005b). O material básico para sua produção é a argila e a qualidade dos blocos cerâmicos está intimamente relacionada à qualidade das argilas empregadas na fabricação e também ao processo de produção (ROMAN, MUTTI & ARAÚJO, 1999).


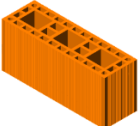

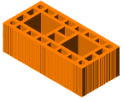
O bloco cerâmico estrutural deve ser fabricado por conformação plástica de matéria-prima argilosa, contendo ou não aditivos, e queimado em elevadas temperaturas (ABNT, 2005b). Os blocos devem possuir a forma de um prisma e sua geometria pode variar de acordo com o que é estabelecido pela norma NBR 15270 (ABNT, 2005b). As principais características funcionais dos componentes cerâmicos a serem respeitadas são resistência mecânica, absorção total e inicial, dimensões reais e nominais, área líquida, peso unitário, estabilidade dimensional, isolamento termo-acústico e durabilidade.

O bloco cerâmico é o mais utilizado na região sul do Brasil, onde a argila é de boa qualidade e existem empresas cerâmicas com avançada tecnologia. As unidades são moldadas em máquinas extrusoras, expostas a secagem e queimadas sob temperaturas muito elevadas. São obtidas unidades de baixíssima resistência (0,1 MPa) até de alta resistência (70MPa) (ROMAN, MUTTI & ARAÚJO, 1999). Além disso, por ser mais leve que o bloco de concreto, o bloco cerâmico diminui a carga na fundação.

Um grupo de blocos específicos para alvenaria estrutural é denominado “família de blocos”, onde cada família corresponde a uma dimensão modular, ou seja, ao tamanho do módulo em que a edificação vai ser projetada. Todas as dimensões da edificação devem então ser múltiplas da dimensão modular da família de blocos escolhida.

Alguns modelos de blocos estruturais cerâmicos da família de 14cm, que foram utilizados na obra analisada nesse trabalho, são mostrados na tabela 8.

Tabela 8 - Blocos estruturais cerâmicos da família de 14cm.

	Modelo	Medidas (em cm)
	Bloco	L14/H19/C29
	Bloco e meio	L14/H19/C44
	Meio bloco	L14/H19/C14
	Meio horizontal	L14/H9/C29

	Caixa de luz 4x2	L14/H19/C29
	Canaleta U	L14/H19/C29
	Canaleta J	L14/H19-10/C29
	Compensador	L14/H19/C4

Fonte: Adaptado de Pauluzzi Produtos Cerâmicos, 2011.

2.4.2 Blocos de Concreto utilizados em Alvenaria Estrutural

O bloco de concreto é a unidade mais utilizada no Brasil (RAMALHO & CORREA, 2003). Ele pode ser confeccionado em diversas geometrias e resistências à compressão.

Sua composição é obtida pela mistura e cura do cimento Portland, agregados (gráúdo e miúdo) e água. Os componentes são misturados com pouca água e colocados numa máquina de moldar, onde através de uma combinação de pressão e vibração, é feito o bloco. Os blocos são normalmente curados com algum tipo de aquecimento para ter sua cura acelerada. Os processos de fabricação e cura dos blocos devem assegurar a obtenção de um concreto suficientemente compacto e homogêneo (ROMAN, MUTTI & ARAÚJO, 1999).







Os blocos devem apresentar tolerância dimensional de 3 mm. Os blocos-padrão encontrados apresentam resistência à compressão de 6 a 15 MPa, mas, em casos especiais, podem apresentar resistências superiores a esses valores (ROMAN, MUTTI & ARAÚJO, 1999).

Em comparação com outros blocos, o de concreto apresenta a vantagem de poder ser comprado com certificação.

Assim como os blocos cerâmicos, um grupo de blocos de concreto também é denominado “família de blocos”, com cada família correspondendo a uma dimensão modular.

Alguns modelos de blocos estruturais de concreto utilizados na obra estudada nesse trabalho são apresentados na tabela 9.

Tabela 9 - Blocos estruturais de concreto da família 29cm.

	Modelo	Medidas (em cm)
	Bloco	L14/H19/C29
	Meio bloco	L14/H19/C14
	Especial complementar	L14/H19/C44
	Canaleta	L14/H19/C39
	Meia canaleta	L14/H19/C19
	Plaqueta de complemento	L14/H19/C4

Fonte: Adaptado de Tecmold, 2011

3 METODOLOGIA

3.1 Introdução

Com o objetivo de avaliar o comportamento térmico de edificações executadas em alvenaria estrutural, com o uso de diferentes tipos de blocos, foram analisadas duas edificações localizadas na cidade de São Leopoldo-RS, construídas no mesmo condomínio habitacional, com mesma distribuição em planta e mesma orientação solar. As duas edificações se diferem apenas no elemento estrutural utilizado, sendo uma construída com bloco estrutural cerâmico e outra com bloco estrutural de concreto. Busca-se com esse estudo evidenciar a influência do tipo de bloco de fechamento nas variações térmicas internas da edificação.

Inicialmente foram definidos os valores das características térmicas dos dois tipos de fechamentos, para evidenciar as diferenças dos mesmos, visando a análise térmica das duas edificações, sendo calculados a transmitância térmica, a capacidade térmica e o atraso térmico.

Foi também analisado o Zoneamento Bioclimático de acordo com a norma NBR 15220 (ABNT, 2005a) para a cidade de São Leopoldo, e as estratégias propostas para o melhor desempenho térmico das edificações na região estudada.

As primeiras medições ocorreram no período de inverno, com a determinação *in loco* das temperaturas em um período de 15 dias consecutivos, simultaneamente, nos dois edifícios. No período de verão o procedimento foi repetido, para um período novamente de 15 dias, de forma a avaliar o desempenho também nesta estação.

Com os dados coletados foi possível uma avaliação geral do desempenho térmico das duas edificações e uma análise comparativa entre o uso dos dois tipos de blocos neste tipo de edifício.

3.2 Levantamento de dados das edificações em estudo

Os dados foram levantados em um condomínio habitacional localizado na zona urbana da cidade de São Leopoldo, RS (Figura 6), contando esse condomínio com dois residenciais, Creta e Malta (Figura 7). Cada um desses residenciais conta com 16 torres, que ligadas 2 a 2 acabam por resultar em 8 edificações, cada uma delas com 4 pavimentos de apartamentos.

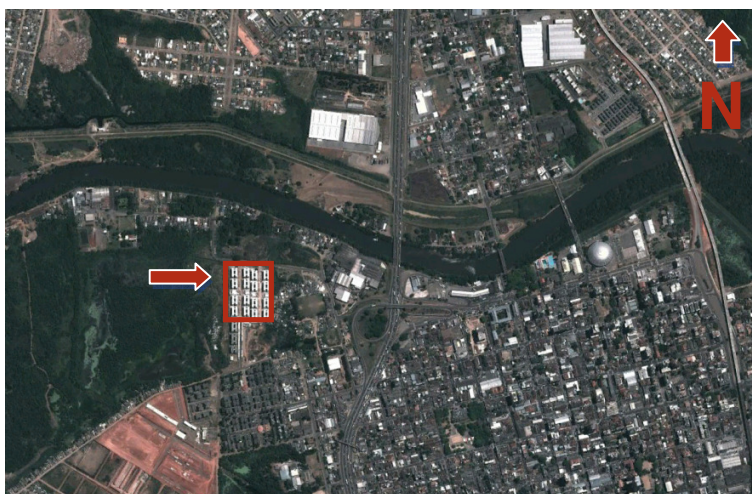


Figura 6 - Vista aérea da cidade de São Leopoldo com a localização do condomínio habitacional.
Fonte: Google Earth (2011).



Figura 7 - Vista aérea do condomínio habitacional com seus dois residenciais, Creta e Malta.
Fonte: Google Earth (2011).

Os condomínios estão sendo construídos para habitação de interesse social, contemplando moradores com renda de 1 a 3 salários mínimos.

3.2.1 Descrição das edificações analisadas

Foram analisadas 2 edificações (quatro torres), sendo uma edificação no residencial Creta e outra no residencial Malta (Figura 8). A edificação analisada no residencial Malta foi construída em alvenaria estrutural com blocos cerâmicos, material utilizado em praticamente todo o condomínio. A outra edificação, do residencial Creta, foi construída em alvenaria estrutural de bloco de concreto. A Figura 9 apresenta os dois tipos de edifícios executados lado a lado.

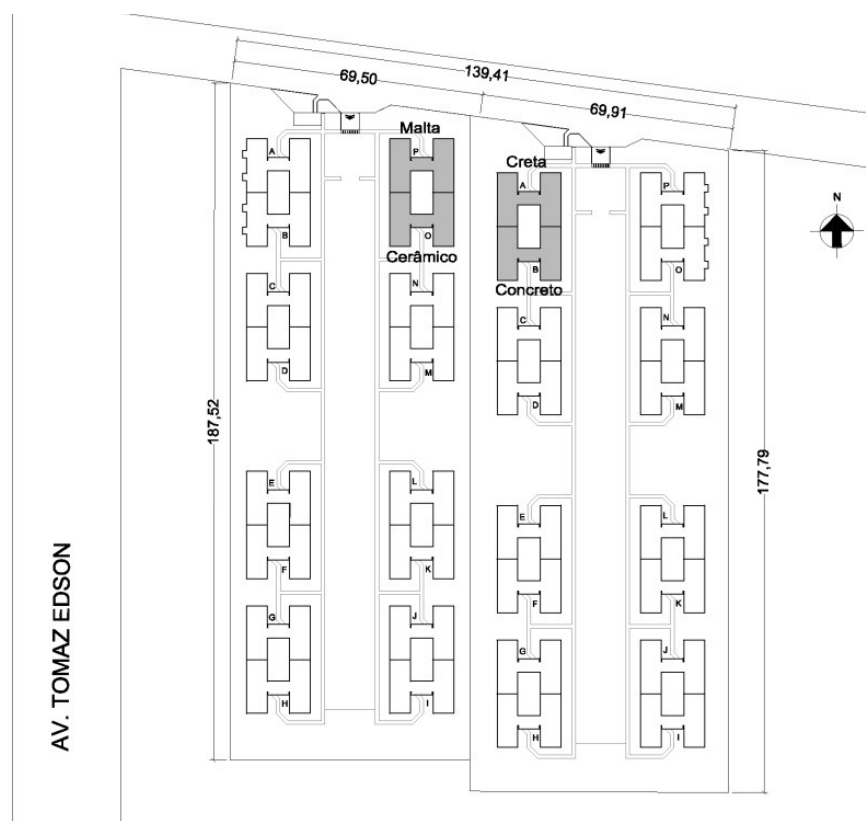


Figura 8 - Planta baixa do condomínio com os residenciais Creta e Malta.
Fonte: Adaptado de Baliza Empreendimentos Imobiliários Ltda.



Figura 9 - Edificação de bloco estrutural de concreto e edificação de bloco estrutural cerâmico.

As edificações possuem a mesma forma e proporção em planta. Cada edificação é formada por duas torres, que são rebatidas no sentido norte-sul, gerando uma planta baixa espelhada, com um pátio interno (Figura 10).

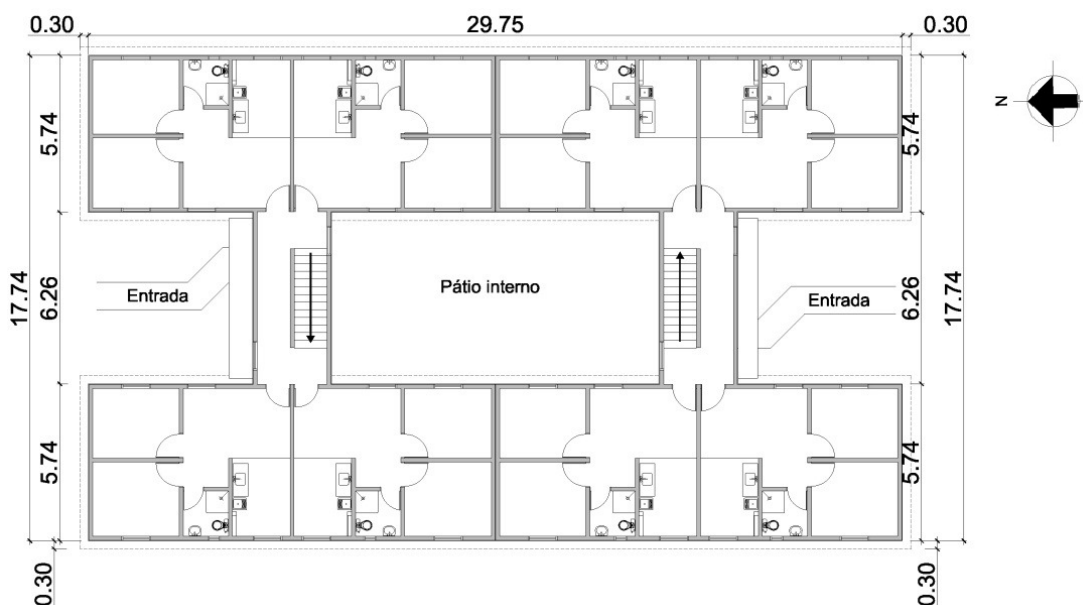


Figura 10 - Planta baixa do pavimento tipo.

Fonte: Adaptado de Baliza Empreendimentos Imobiliários Ltda.

De acordo com o memorial descritivo (Baliza Empreendimentos Imobiliários Ltda), ambas as edificações possuem laje pré-moldada de concreto com espessura de 10 cm. O forro é constituído apenas pela laje de concreto, que também serve de piso para os apartamentos superiores.

A cobertura da edificação é em telha de fibrocimento, com beiral em todo o perímetro de 30cm. Na cobertura existem aberturas de ventilação isoladas. Em cada oitão existem 6 blocos cerâmicos de 21 furos cada, também para ventilação (Figura 11).



Figura 11 - Detalhe das aberturas de ventilação e também dos blocos para ventilação no oitão.

As paredes internas e externas, tanto na edificação de bloco cerâmico quanto na de concreto, são executadas com blocos estruturais com espessura de 14cm, possuindo acabamento interno e externo de argamassa de revestimento de 2cm, o que faz com que sua espessura seja de 18 cm. Na parte interna todas os ambientes foram pintados com tinta clara (bege). Na parte externa a pintura também foi na cor bege, com detalhes em outras cores para diferenciar as edificações (Figura 12).

As janelas são de alumínio, com 2 folhas de correr. Nos dormitórios, nas salas e nas cozinhas suas dimensões são 1,00 x 1,20m, com vidro liso incolor de 3mm, com

área efetiva de ventilação de 50% da área do vão (Figura 13). As janelas dos banheiros são tipo maxim-ar de 0,40 x 0,60m, com vidro liso incolor com espessura de 3mm.



Figura 12 - Detalhe da pintura externa de uma edificação com detalhes em outra cor.



Figura 13 - Modelo de janela utilizado.
Fonte: Catálogo da empresa ESFA-IBRAP.

Os peitoris das janelas são pré moldadas em concreto. Além disso, nenhuma das janelas possui proteção solar ou qualquer tipo de proteção que proporcione sombreamento (Figura 14).



Figura 14 - Peitoril pré moldado em concreto e janela sem proteção solar.

As portas são de madeira compensada com medidas de 0,85 x 2,10 m.

Cada edificação possui 4 pavimentos, sendo que em cada pavimento existem 8 unidades habitacionais. Totalizando 32 unidades habitacionais por edificação.

Cada um dos apartamentos possui sala de estar, cozinha, 1 banheiro e 2 dormitórios com uma área total de 37,48 m² e pé-direito de 2,45m. A área de cada um dos ambientes pode ser verificada na tabela 10 e sua distribuição em planta pode ser verificada na figura 15.

Tabela 10 - Áreas do apartamento tipo.

Ambiente	Área
Sala de estar	12,37 m ²
Cozinha	5,56 m ²
Banheiro	2,80 m ²
Dormitório Casal	8,61 m ²
Dormitório Filhos	8,14 m ²

Fonte: Adaptado de Baliza Empreendimentos Imobiliários Ltda.

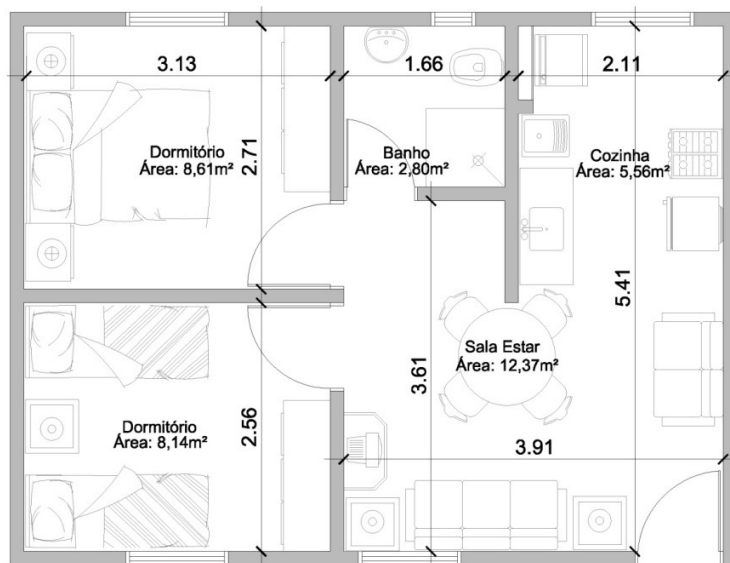


Figura 15 - Planta baixa básica do apartamento.
 Fonte: Adaptado de Baliza Empreendimentos Imobiliários Ltda.

O piso da habitação é em concreto, sendo que há revestimento cerâmico em uma parede da cozinha e nas paredes do banheiro, em todo a altura do pé direito.

3.2.2 Levantamento das características técnicas dos blocos estruturais cerâmicos e dos blocos estruturais de concreto

Os blocos utilizados no condomínio habitacional foram o bloco estrutural cerâmico (Figura 16) e o bloco estrutural de concreto (Figura 17). Os blocos estruturais utilizados nas edificações apresentam as características listadas na Tabela 11.



Figura 16 - Bloco estrutural cerâmico utilizado na obra analisada.



Figura 17 - Bloco estrutural de concreto utilizado na obra analisada.

Tabela 11 - Características do bloco estrutural cerâmico e do bloco estrutural de concreto

	Bloco estrutural cerâmico	Bloco estrutural de concreto
Dimensões (cm)	14 x 19 x 29	14 x 19 x 29
Resistência a compressão	7,0 MPa	≥4,0 MPa
Peso (g)	6.039	9.915
Área bruta (cm ²)	406	409,88
Densidade (kg/m ³)	1957	2400
Fonte:	Pauluzzi Produtos Cerâmicos Ltda	Tecmold Ltda

A Tabela 12 apresenta os valores referentes a densidade(ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (C) dos materiais que constituem os blocos e a argamassa de revestimento, conforme NBR 15220 – 2 (ABNT, 2005a).

Tabela 12 - Densidade, condutividade térmica e calor específico dos materiais constituintes das vedações externas e internas.

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	C (kJ/(kg.K))
Cerâmica	1800-2000	1,05	0,92
Concreto	2200-2400	1,75	1,00
Argamassa	1800-2100	1,15	1,00

Fonte: ABNT, 2005a.

3.3 Monitoramento de temperatura e umidade

O levantamento de dados de temperatura interna e externa foi realizado *in locosimultaneamente* em 16 unidades habitacionais durante dois períodos do ano, um no inverno e outro no verão.

No período das medições *in loco*, o condomínio ainda estava em fase de construção, portanto desocupado e desabitado. Dessa forma, os ambientes medidos estavam fechados e sem frestas nas aberturas (as frestas existentes foram fechadas com fitas) de modo que a ventilação não fosse um parâmetro a intervir. Além disso, os ambientes foram privados de qualquer interferência humana durante as medições.

3.3.1 Instrumento utilizado

Para o levantamento dos dados de temperatura interna foram utilizados 16 aparelhos registradores portáteis (dataloggers) de temperatura e umidade relativa do ar HOBO® Data Logger da Onset Computer Corporation (Figura 18). Eles registram a temperatura (bulbo seco) e a umidade relativa, podendo ser configurados para tomar leituras em intervalos de tempos, conforme a configuração desejada, programando-se a hora e data de início e fim das medições.

O modelo utilizado no presente estudo foi o H08-003-02 que registra temperaturas entre -20°C e 70°C com uma precisão de $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$.



Figura 18 - Aparelho HOBO® Data Logger para aquisição de dados de temperatura.
Fonte: Onset Computer Corporation,2011.

Os aparelhos foram distribuídos nos dois diferentes tipos de sistema construtivo, sendo 8 aparelhos para as edificações de alvenaria estrutural de bloco cerâmico e 8 para as edificações de alvenaria estrutural de bloco de concreto, todos colocados internamente.

Para as medições de temperatura externa foram instalados mais 3 aparelhos, sendo que eles foram acondicionados em uma pequena caixa de isopor revestida internamente com papel alumínio e com rasgos para ventilação. Além de estarem

localizados abaixo do beiral da edificação, os aparelhos externos foram colocados em uma estrutura de madeira, que tinha também a finalidade de proteger da radiação solar e das chuvas (Figura 19).



Figura 19 - Aparelho HOBO® externo com proteção.

Antes da colocação dos aparelhos HOBO® nos apartamentos, eles foram numerados de forma a facilitar sua identificação. Além disso, eles foram aferidos ligando-os dentro de uma caixa de isopor, para que seus dados fossem coletados por cerca de 1 hora para então terem seus comportamentos analisados.

3.3.2 Período de coleta de dados

Para que fosse possível a análise do comportamento térmico das edificações para diferentes condições climatológicas, o período de monitoramento das temperaturas internas e externas foi dividido em duas etapas, uma no período de inverno e outra no período de verão, sendo realizada simultaneamente em todas as edificações. Os registradores foram programados para tomar leituras a cada 10 minutos, por um período pré-fixado de 15 dias.

O período de inverno compreendeu medições entre os dias 30 de Agosto de 2011 e 13 de Setembro de 2011. Para o período de verão foram medidas as

temperaturas entre os dias 26 de Novembro de 2011 e 10 de Dezembro de 2011. Ainda que o período de verão tenha sido medido no final da primavera, este período compreendeu temperaturas semelhantes as registradas no período de verão. Tal período foi selecionado por possuir apartamentos ainda sem ocupantes, já que a entrega dos apartamentos estava prevista para o fim de Dezembro.

3.3.3 Local da realização da coleta de dados

As medições foram realizadas em moradias desabitadas e desocupadas durante os períodos de monitoramento, com o objetivo de avaliar o desempenho térmico dos blocos estruturais reduzindo-se a interferência de outras variáveis, tais como ventilação e ganhos internos de calor. Como as edificações possuem a mesma orientação solar, mesma planta baixa, mesma localização e regime de ventos semelhante, todos esses condicionantes puderam ser desconsiderados como variáveis e pode-se avaliar a real influência dos blocos estruturais no desempenho térmico.

Foram selecionados para medições 16 apartamentos, sendo divididos em 8 em cada edificação, sendo 4 no segundo pavimento e 4 no quarto pavimento. O segundo pavimento foi estipulado por não sofrer interferência do calor proveniente da cobertura. Já os apartamentos do quarto pavimento foram selecionados justamente por esta interferência, o que permite a análise da diferença de comportamento devido à cobertura. Foi colocado um aparelho de medição em cada um dos 16 apartamentos, sendo que a localização dos aparelhos internos pode ser vista na figura 20.

Tanto no segundo pavimento quanto no quarto pavimento, os aparelhos foram colocados na mesma posição e seguiram a indicação da norma NBR 15575 (ABNT, 2012). A norma NBR 15575 (ABNT, 2012), determina a colocação dos aparelhos de medição em uma mais de uma unidade de um conjunto habitacional, além de especificar a necessidade da medição no último pavimento (no caso, 4º pavimento).

Todos os aparelhos HOBOTM foram instalados em um dos dormitórios do apartamento, conforme a norma NBR 15575 (ABNT, 2012) que determina que as

medições sejam feitas em dormitórios ou salas. Além disso, é estabelecido para o período de verão a condição de que a janela do dormitório deva ser voltada para a oeste e que haja uma parede voltada para o norte, enquanto no período de inverno a janela do dormitório deve estar voltada para a orientação sul e a parede exposta para leste.

Como as medições foram feitas nos mesmos locais nos dois períodos foi atendida apenas a condição de verão com janela voltada para o oeste e parede exposta a norte. Como não existem janelas voltadas ao sul em nenhuma unidade habitacional, para o período de inverno não pode ser atendida a condição, sendo selecionado apartamentos com janelas voltadas a leste, com paredes expostas ao norte e a sul.

Assim em cada pavimento foram medidos 4 apartamentos, sendo eles com as seguintes orientações: janela voltada a leste e parede cega a norte; janela voltada a leste e parede cega a sul; janela voltada a oeste e parede cega a norte; e janela voltada a oeste e parede cega a sul.

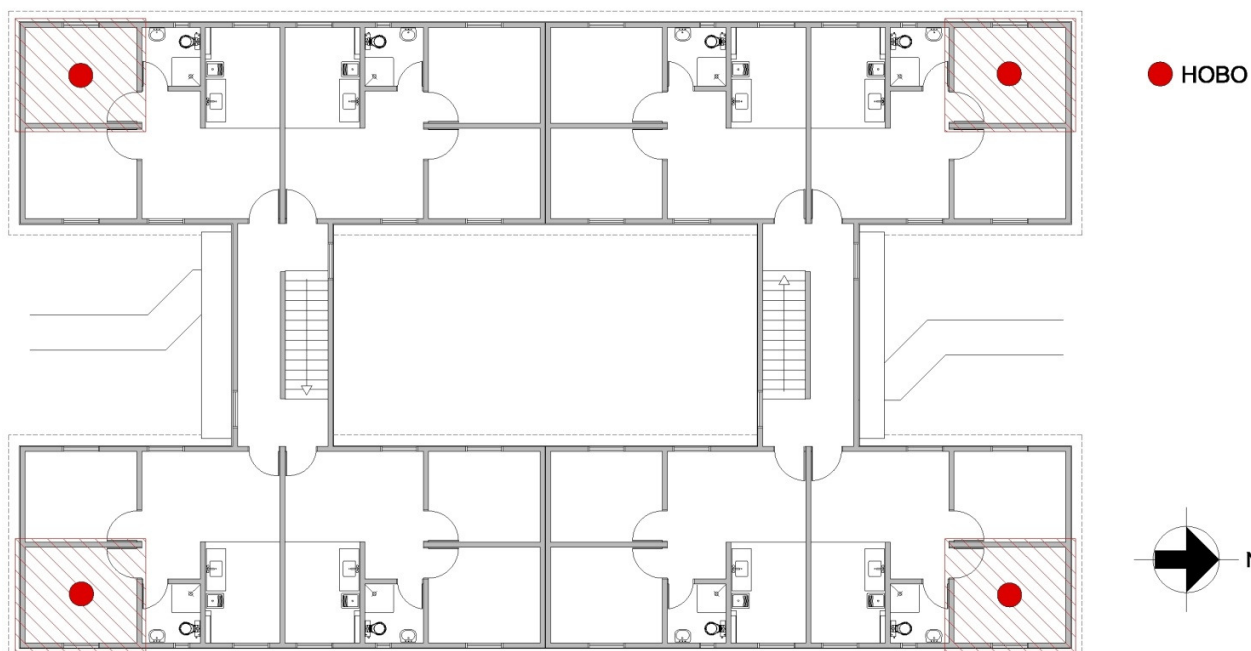


Figura 20 - Localização dos dormitórios analisados e localização dos aparelhos.
Fonte: Adaptado de Baliza Empreendimentos Imobiliários Ltda.

Os aparelhos foram instalados pendurados por um fio no centro do ambiente de forma que o mesmo ficasse a uma altura de 1,20m do piso de acordo com a NBR 15575 (Figura 21).



Figura 21 - Aparelho HOBO® interno no centro do ambiente.

3.3.4 Análise dos dados

Após realizadas as medições para cada período de monitoramento, os dados resultantes foram transmitidos para um computador por meio de um programa específico, o BoxCar Pro 4.3 (ONSET), que gera gráficos, semelhantes ao da figura 22, para a retirada das informações sobre as temperaturas para posterior análise. Esses dados foram analisados e tratados posteriormente com o auxílio do programa Microsoft Excel.

Com as três medições externas foi feita uma média, utilizada como parâmetro de comparação com os valores internos.

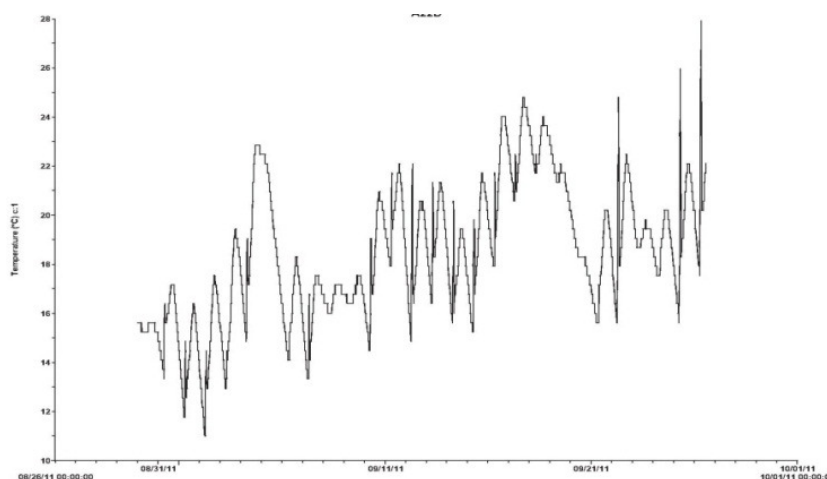


Figura 22 - Imagem de modelo de gráfico gerado pelo programa BoxCar Pro 4.3.
Fonte: BoxCar Pro 4.3 (ONSET, 2011).

Tanto no período de inverno quanto de verão, foi realizada uma primeira análise a partir dos dados coletados nos períodos de medições de 15 dias. Nessa análise foram selecionados para uma análise mais aprofundada os 3 dias com temperaturas mais extremas, que fossem mais significativos para a respectiva estação, ou seja, os 3 dias consecutivos com as menores temperaturas para o período de inverno e os 3 dias consecutivos com as temperaturas mais elevadas para o período de verão. Com os valores desses 3 dias selecionados, foi calculada uma média horária das temperaturas.

A partir destes dados foi possível gerar gráficos para analisar o comportamento térmico das diferentes edificações, sendo avaliado os ganhos térmicos pela cobertura e a influência da orientação solar. Nesta comparação foi analisado o comportamento de variação da temperatura interna e o amortecimento da onda térmica externa em cada edificação, identificando a influência dos diferentes tipos de blocos nestes parâmetros, e considerando a Zona Bioclimática 2 brasileira.

4 RESULTADOS

O presente capítulo apresenta os resultados obtidos neste trabalho, sendo inicialmente apresentados os valores calculados conforme a norma NBR 15220 – Parte 2 (ABNT, 2005a), das propriedades térmicas dos diferentes tipos de blocos.

Em seguida, são mostrados os resultados obtidos nas medições de temperatura interna durante os 15 dias no inverno e no verão, para a edificação de bloco estrutural de concreto e de bloco estrutural cerâmico, além dos dados das temperaturas obtidas na medição externa. Nestes gráficos estão destacados os três dias considerados mais significativos de cada período de medição, e que foram base para as análises mais detalhadas deste trabalho.

4.1 Valores calculados das propriedades térmicas dos blocos

Foram realizados os cálculos dos parâmetros de desempenho térmico das vedações externas das edificações através dos procedimentos definidos pela norma NBR 15220 – 2 (conforme descrito em 2.3.1.1), calculando-se a transmitância térmica (μ), a capacidade térmica (c), o atraso térmico (ϕ) e o fator solar (FS) para os dois tipos de vedações externas estudadas nesse trabalho. Os resultados obtidos estão na tabela 13, e o detalhamento dos procedimentos de cálculo estão apresentados no Anexo 1.

Tabela 13 – Valores de resistência térmica, transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar para o bloco estrutural cerâmico e o bloco estrutural de concreto.

	Bloco de concreto	Bloco cerâmico
Resistência térmica da parede - (m ² .K)/W	0,1769	0,3083
Resistência térmica total - (m ² .K)/W	0,3469	0,4783
Transmitância térmica U – W/(m ² .K)	2,8827	2,0907
Capacidade térmica C – KJ/(m ² .K)	264,3171	194,1747
Atraso térmico ϕ (h)	4,19	4,54
Fator solar FS (%)	2,88	2,09

*FS calculado para um $\alpha=0,25$.

4.2 Resultado das medições

As medições foram realizadas por um período de 15 dias, tanto no inverno quanto no verão, para as duas edificações. Os dados obtidos nestes períodos são apresentados aqui na sua totalidade, com os valores medidos a cada 10 minutos para cada unidade habitacional da edificação e com a comparação da temperatura medida externamente. São identificados também os três dias selecionados como mais significativos em cada período e que foram analisados neste trabalho.

4.2.1 Período de inverno - Edificação de bloco estrutural de concreto

Para o período de 15 dias de inverno o resultado das medições na edificação de bloco estrutural de concreto pode ser observado na figura 23.

Nos primeiros dias medidos, a amplitude térmica (diferença entre a temperatura máxima e a temperatura mínima) diária interna mostrou-se bastante semelhante, com temperaturas baixas e crescendo ligeiramente ao passar dos dias. Por volta do sexto dia nota-se um acréscimo acentuado da temperatura e em seguida um decréscimo ainda mais visível de temperatura, com a entrada de uma frente fria, fenômeno típico da região estudada.

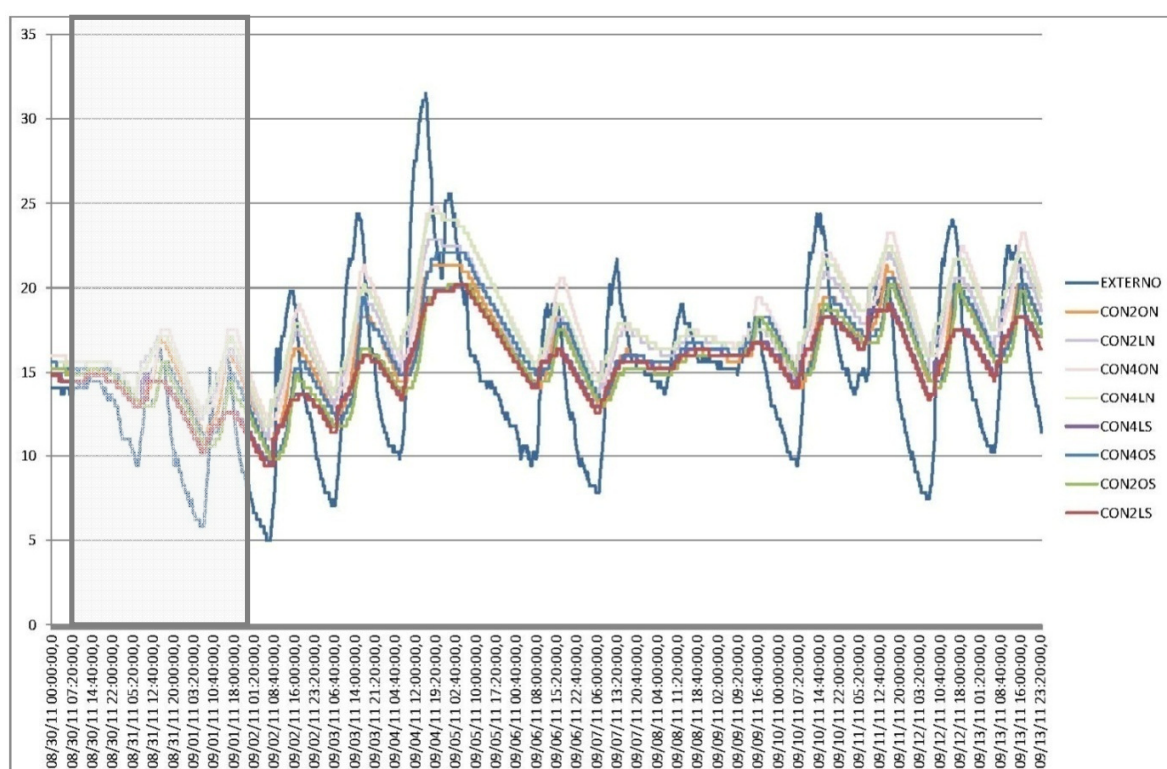


Figura 23 – Gráfico do período de 15 dias de inverno para os apartamentos da edificação de bloco estrutural de concreto.

A tabela 14 apresenta os valores de temperatura mínima, temperatura máxima, amplitude térmica e amortecimento térmico para o período total das medições na edificação de bloco estrutural de concreto.

Neste período a temperatura máxima medida foi de 24,8°C internamente na unidade habitacional do quarto pavimento, com janela a oeste e parede cega a norte, enquanto a máxima temperatura externa foi de 31,5°C. A temperatura mínima registrada foi de 9,4°C no interior do apartamento do segundo pavimento com janela na orientação leste e parede cega a sul, e no quarto pavimento, na mesma orientação. A temperatura mínima externa foi de 5,0°C.

O maior valor de amplitude térmica interna foi medido no quarto pavimento, no dormitório com janela voltada a oeste e parede cega ao norte, mesmo apartamento que teve a temperatura máxima medida no período. Neste apartamento o amortecimento térmico foi o mais baixo, com valor de 50,9%.

Tabela 14 – Valores de temperatura mínima, temperatura máxima, amplitude térmica e amortecimento térmico, para a edificação de bloco estrutural de concreto para o período de inverno.

Apto	TMin	TMax	ΔT	μ
CON2ON	11,0	21,3	10,3	61,0
CON2LN	11,0	22,9	11,9	55,3
CON2OS	9,8	20,2	10,4	60,9
CON2LS	9,4	20,2	10,8	59,4
CON4ON	11,8	24,8	13,0	50,9
CON4LN	11,8	24,4	12,6	52,4
CON4OS	10,2	22,1	11,9	55,2
CON4LS	9,4	20,2	10,8	59,4
EXTERNO	5,0	31,5	26,5	

*Legenda: CON2ON – edificação de bloco estrutural de concreto
 CON2ON – pavimento da unidade habitacional
 CON2ON – orientação da janela
 CON2ON – orientação da parede cega

O menor valor de amplitude térmica interna, e conseqüente maior valor de amortecimento térmico, ocorreu no apartamento do segundo pavimento, com janela a oeste e parede cega ao norte, com amortecimento de 61% em relação as temperaturas externas.

Quanto ao desempenho térmico de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2012), 5 unidades habitacionais apresentaram um nível de desempenho intermediário, enquanto as outras 3 unidades habitacionais tiveram um desempenho mínimo. Apenas as temperaturas máximas medidas no período estão dentro da zona de conforto térmico. Todas as unidades habitacionais apresentaram temperaturas mínimas inferiores a 18°C, estabelecida como limite inferior da zona confortável para a habitabilidade.

4.2.2 Período de inverno - Edificação de bloco estrutural cerâmico

Para o período de 15 dias, para a edificação de bloco estrutural cerâmico o resultado das medições pode ser observado na figura 24.

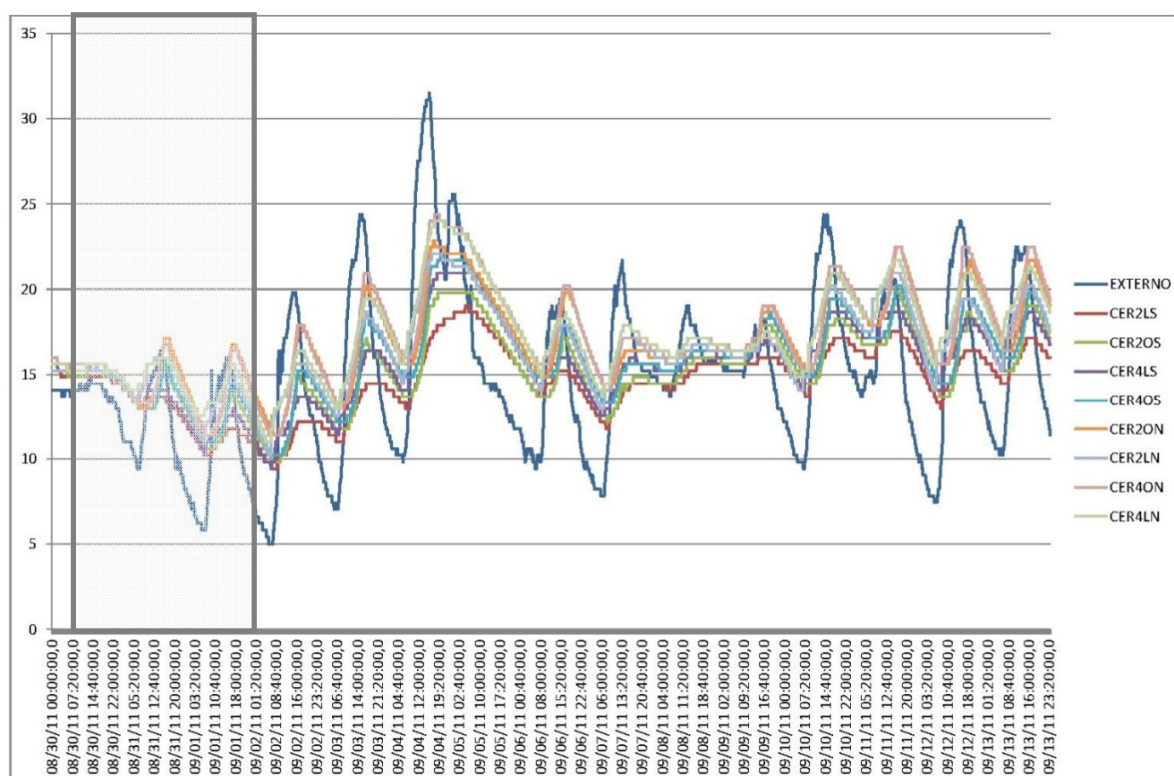


Figura 24 – Gráfico do período de 15 dias de inverno para os apartamentos da edificação de bloco estrutural cerâmico.

Tabela 15 – Valores de temperatura mínima, temperatura máxima, amplitude térmica e amortecimento térmico, para a edificação de bloco estrutural cerâmico para o período de inverno.

Apto	TMin	TMax	ΔT	μ
CER2ON	11,4	22,9	11,5	56,7
CER2LN	10,2	22,1	11,9	55,2
CER2OS	9,8	19,8	10,0	62,3
CER2LS	9,4	19,0	9,6	63,7
CER4ON	11,4	24,4	13,0	50,9
CER4LN	11,0	24,0	13,0	50,9
CER4OS	10,2	21,7	11,5	56,7
CER4LS	9,4	21,0	11,5	56,5
EXTERNO	5,0	31,5	26,5	

O comportamento térmico foi semelhante a edificação de bloco estrutural de concreto. Na edificação de bloco estrutural cerâmico a temperatura máxima medida foi um pouco menor, de 24,4°C no apartamento do quarto pavimento com janela a oeste e parede cega ao norte, enquanto a temperatura mínima foi de 9,4°C nos apartamentos do segundo e quarto pavimento com janelas para leste e parede cega ao sul. As temperaturas externas foram as mesmas, já que o período de medição foi o mesmo para ambas as edificações.

O maior valor de amplitude térmica foi medido no quarto pavimento, no dormitório com janela a oeste e parede cega ao norte, mesma localização do apartamento com maior valor de amplitude térmica na edificação de bloco estrutural de concreto. O valor de amortecimento térmico deste apartamento foi o mesmo, 50,9%.

O menor valor de amplitude térmica interna, e conseqüente maior valor de amortecimento térmico, ocorreu no apartamento do segundo pavimento com janela para o leste e parede cega para a orientação sul, com amortecimento de 63,7%. Este valor foi superior ao maior valor de amortecimento térmico medido na edificação de bloco estrutural de concreto.

O desempenho térmico apresentou os mesmos resultados do que a edificação de bloco estrutural de concreto, com 5 unidades habitacionais com nível de

desempenho intermediário e as outras 3 unidades habitacionais com um desempenho mínimo. Novamente somente as temperaturas máximas medidas no período estão dentro da zona de conforto térmico, sendo que as temperaturas mínimas foram inferiores a 18°C durante todo o período.

4.2.3 Período de verão - Edificação de bloco estrutural de concreto

No período de 15 dias de verão o resultado das medições na edificação de bloco estrutural de concreto pode ser observado na figura 25.

A amplitude térmica diária mostrou-se bastante semelhante durante todo o período. Por volta do quinto dia nota-se uma diminuição da temperatura, o que garantiu uma temperatura mais amena nos três dias seguintes.

Neste período a temperatura máxima medida foi de 32,3°C internamente no apartamento do quarto pavimento com janela voltada para a orientação oeste e parede cega a norte, enquanto a temperatura externa atingiu o valor de 41,2°C. Já a temperatura mínima registrada foi de 21,0°C no interior do apartamento do segundo pavimento, com janela a oeste e parede cega a norte, e de 13,9°C no lado externo.

O maior valor de amplitude térmica foi medido no interior dos apartamentos do quarto pavimento com janelas voltadas para o oeste, tanto para o dormitório com parede cega a norte quanto para o dormitório com parede cega ao sul. Sendo que no apartamento com janela para oeste e parede cega para o norte ocorreu o menor amortecimento térmico com valor de 61,1%.

O menor valor de amplitude térmica foi medido no apartamento do segundo pavimento com janela voltada a oeste e parede cega ao norte, apartamento este que registrou o maior amortecimento térmico de 67,2%.

Quanto ao desempenho térmico de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2012), todas as unidades habitacionais da edificação de bloco estrutural de concreto apresentaram um nível de desempenho superior. Ainda assim todas estas unidades

habitacionais tiveram temperaturas máximas fora da zona de conforto térmico, que estabelece temperatura máxima para o conforto térmico de 29°C.

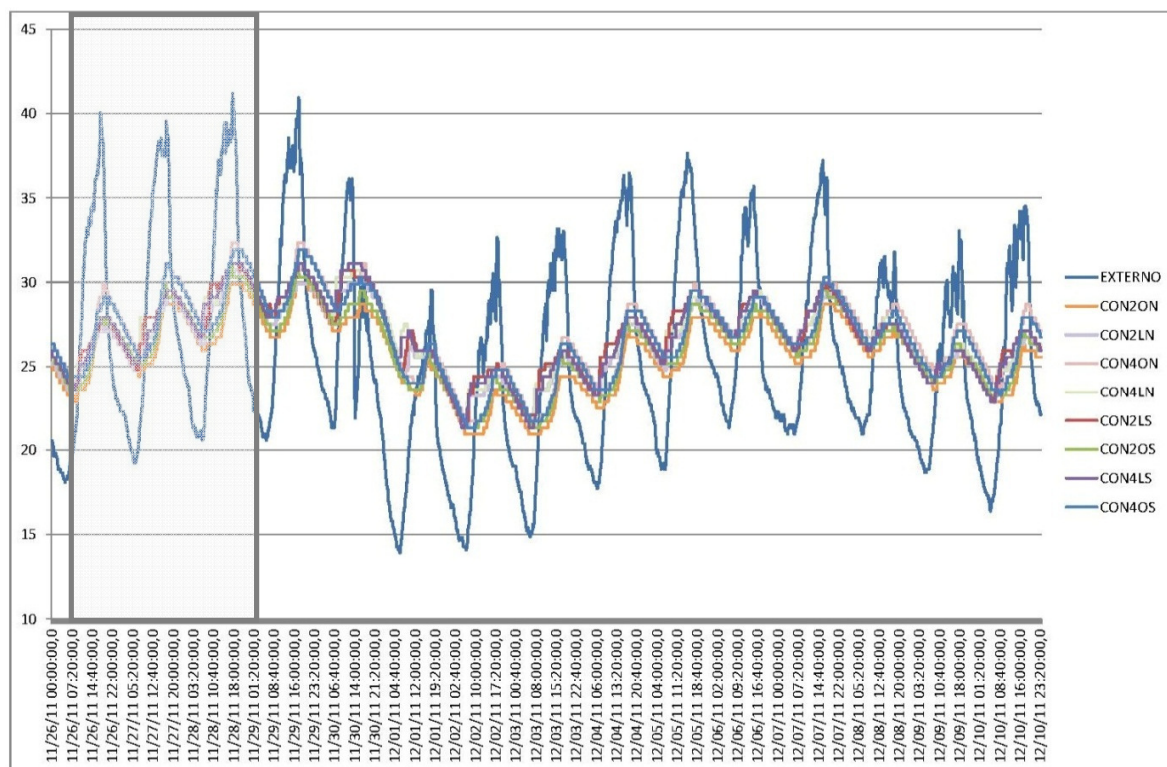


Figura 25 – Gráfico do período de 15 dias de verão para os apartamentos da edificação de bloco estrutural de concreto.

Tabela 16 – Valores de temperatura mínima, temperatura máxima, amplitude térmica e amortecimento térmico, para a edificação de bloco estrutural de concreto para o período de verão.

Apto	TMin	TMax	ΔT	μ
CON2ON	21,0	29,9	9,0	67,2
CON2LN	21,3	30,7	9,4	65,6
CON2OS	21,3	31,1	9,8	64,1
CON2LS	21,3	31,1	9,8	64,1
CON4ON	21,7	32,3	10,6	61,1
CON4LN	21,7	31,1	9,4	65,5
CON4OS	21,3	31,9	10,6	61,2
CON4LS	21,3	31,1	9,8	64,1
EXTERNO	13,9	41,2	27,3	

4.2.4 Período de verão - Edificação de bloco estrutural cerâmico

Para o período de 15 dias, para a edificação de bloco estrutural cerâmico o resultado das medições pode ser observado na figura 26.

O comportamento térmico nas edificações foi semelhante, porém as amplitudes térmicas foram um pouco maiores na edificação de bloco estrutural cerâmico, com alguns apartamentos com picos mais acentuados de temperatura, tanto nas máximas quanto nas mínimas.

Na edificação de bloco estrutural cerâmico a temperatura máxima medida foi um pouco mais elevada, 33,2°C no apartamento do quarto pavimento com janela voltada para o leste e parede cega para o sul e, no mesmo pavimento, com janela voltada para o oeste e parede cega ao norte. A temperatura mínima foi mais baixa que na edificação de bloco estrutural de concreto, com valor de 18,7°C para o quarto pavimento, no dormitório com janela voltada a orientação leste e parede cega ao norte. As temperaturas externas foram as mesmas, já que o período de medição foi o mesmo da edificação de bloco estrutural de concreto.

O maior valor de amplitude térmica foi medido no apartamento que apresentou a temperatura mínima, no quarto pavimento, janela a leste e parede cega para a orientação norte. E o menor valor de amortecimento térmico também foi neste apartamento com valor de 52,9%. Este valor de amortecimento foi bem mais baixo do que o menor valor de amortecimento térmico da edificação de bloco estrutural de concreto.

O menor valor de amplitude térmica foi medido no segundo pavimento, com janela a leste e parede cega voltada para o sul, sendo o maior valor de amortecimento térmico também neste apartamento com valor de 64,3%. Novamente este valor de amortecimento foi inferior ao medido na edificação de bloco estrutural de concreto.

Assim como na edificação de bloco estrutural de concreto, todas as unidades habitacionais da edificação um nível de desempenho térmico superior. E todas estas unidades habitacionais tiveram temperaturas máximas fora da zona de conforto térmico, que estabelece temperatura máxima para o conforto térmico de 29°C.

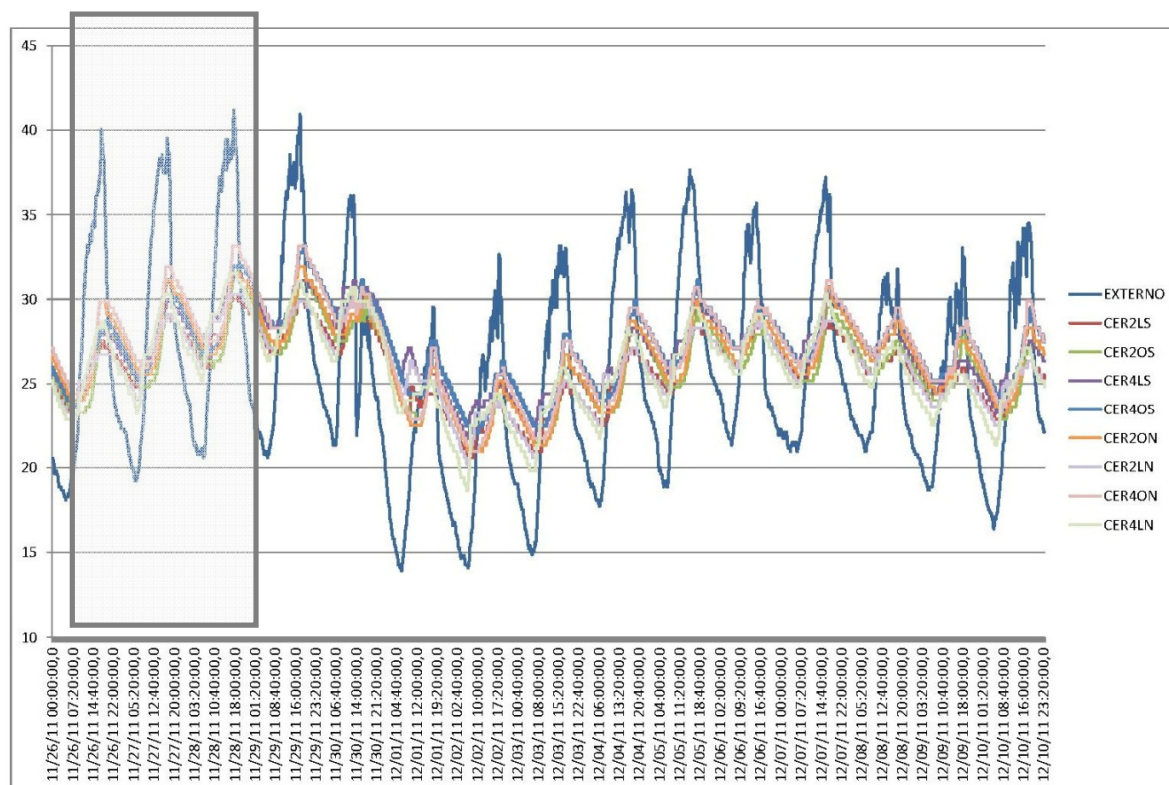


Figura 26 – Gráfico do período de 15 dias de verão para os apartamentos da edificação de bloco estrutural cerâmico.

Tabela 17 – Valores de temperatura mínima, temperatura máxima, amplitude térmica e amortecimento térmico, para a edificação de bloco estrutural cerâmico para o período de verão.

Apto	TMin	TMax	ΔT	μ
CER2ON	21,0	31,9	11,0	59,8
CER2LN	20,2	30,3	10,1	62,9
CER2OS	21,0	31,9	11,0	59,8
CER2LS	20,6	30,3	9,7	64,3
CER4ON	21,0	33,2	12,2	55,2
CER4LN	18,7	31,5	12,9	52,9
CER4OS	22,1	33,2	11,1	59,4
CER4LS	21,7	31,5	9,8	64,1
EXTERNO	13,9	41,2	27,3	

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com os dados obtidos durante a medição de 15 dias para cada período, foi possível selecionar os 3 dias mais significativos para a análise do comportamento térmico das duas edificações.

Para o período de inverno, foram selecionado os três dias com as menores temperaturas, sendo que a temperatura mínima medida no período estivesse entre esses três dias. Para o verão, os dias selecionados foram os com temperaturas mais elevadas, tendo entre eles o dia com a temperatura máxima registrada no período. Os valores registrados durante estes três dias foram medidos de 10 em 10 minutos mas, para as análises, esses dados foram convertidos em médias horárias.

A primeira análise foi feita para comparar os resultados obtidos nos cálculos das propriedades térmicas, com os valores indicados pela norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005a) e pela norma NBR 15575 (ABNT, 2012).

Em seguida, foi feita uma comparação entre os resultados obtidos nas medições de temperatura para o segundo pavimento das edificações e para o quarto pavimento, para verificar a influência da cobertura nas temperaturas medidas. Depois a comparação foi feita entre as diferentes orientações solares, comparando os valores obtidos nas medições do segundo pavimento nas diferentes orientações.

5.1 Análise comparativa entre os valores calculados e as recomendações da norma NBR 15220

Através dos cálculos realizados de acordo com a norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005a), apresentados no Anexo A, foi possível chegar ao valor das propriedades térmicas das vedações externas opacas com bloco estrutural cerâmico e com bloco estrutural de concreto.

A tabela 18 apresenta os valores calculados, juntamente com os valores definidos para cada zona bioclimática brasileira pela NBR 15220 (ABNT, 2005a). Os valores marcados em verde estão dentro do estabelecido pela norma, já os valores em vermelho não estão dentro dos parâmetros indicados pela norma.

Tabela 18 – Valores de Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar para vedações verticais para as zonas bioclimáticas brasileiras (NBR 15220) e comparação com os valores calculados

Zona	U	U – Bloco Concreto	U – Bloco Cerâmico	φ	φ – Bloco Concreto	φ – Bloco Cerâmico	FSo	Fso – Bloco Concreto	Fso – Bloco Cerâmico
1 e 2	$\leq 3,00$	2,88	2,09	$\leq 4,3$	4,2	4,5	$\leq 5,0$	2,9%	2,1%
3, 5 e 8	$\leq 3,60$	2,88	2,09	$\leq 4,3$	4,2	4,5	$\leq 4,0$	2,9%	2,1%
4, 6 e 7	$\leq 2,20$	2,88	2,09	$\geq 6,5$	4,2	4,5	$\leq 3,5$	2,9%	2,1%

Fonte: ABNT, 2005a.

Os valores de transmitância térmica são de 2,09 e 2,88 W/(m².K), para o bloco de cerâmica e de concreto, respectivamente. Assim ambos os blocos estão dentro do estabelecido pela norma NBR 15220 (ABNT, 2005a), que estabelece valor máximo de 3,00 W/(m².K) para a zona bioclimática 2.

O atraso térmico calculado foi de 4,5 horas para o bloco estrutural cerâmico e de 4,2 horas para o bloco estrutural de concreto, sendo que a norma NBR 15220 (ABNT, 2005a) estabelece um atraso térmico máximo de 4,3 horas. Dessa forma, o bloco estrutural cerâmico tem um atraso térmico superior ao valor estabelecido.

Para o fator de ganho de calor solar, a norma estabelece o limite de 5% para a zona bioclimática 2, valor não ultrapassado pela edificações analisadas, visto que ambas as edificações possuem pintura de cores claras.

Analisando os valores obtidos com os valores estabelecidos pela norma para as demais zonas, é possível perceber que o valor calculado de transmitância térmica para

o bloco estrutural de concreto é superior ao permitido para as zonas 4, 6 e 7. O bloco estrutural cerâmico atende aos parâmetros em todas as zonas.

Quanto ao atraso térmico, o valor calculado ficou em 4,5 horas para o bloco estrutural cerâmico, sendo que em nenhuma das 8 zonas este valor é adequado ao da norma. O bloco estrutural de concreto não possui valor adequado de atraso térmico novamente para as zonas 4, 6 e 7.

Para os valores de fator solar, ambos os blocos estão em conformidade com os valores estabelecidos pela norma.

5.2 Análise comparativa entre os valores calculados e as recomendações da norma NBR 15575

Os valores definidos pela norma NBR 15575 (ABNT, 2012) para as diferentes zonas brasileiras, podem ser vistos na tabela 19 e 20, juntamente com os valores calculados para os blocos analisados neste trabalho. Os valores em verde estão em conformidade com os valores estabelecidos pela norma e os valores em vermelho não estão em conformidade.

Tabela 19 - Transmitância térmica de vedações verticais

Zonas	Transmitância térmica U		U – Bloco Concreto	U – Bloco Cerâmico
1 e 2	U ≤ 2,5		2,88	2,09
3,4,5,6,7 e 8	$\alpha^a \leq 0,6$	U ≤ 3,7	2,88	2,09
	$\alpha^a > 0,6$	U ≤ 2,5	2,88	2,09

Fonte: ABNT, 2012.

Tabela 20 – Capacidade térmica de vedações verticais

Zonas	Capacidade térmica (CT)	CT – Bloco Concreto	CT – Bloco Cerâmico
1,2,3,4,5,6 e 7	≥ 130	264,09	194,17
8	Sem exigência	264,09	194,17

Fonte: ABNT, 2012.

Para a zona 2, o valor máximo admissível para a transmitância térmica das paredes externas, de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2012) é de 2,5 W/(m².K). Assim, o valor calculado para o bloco estrutural de concreto está acima do limite estabelecido. Já para a capacidade térmica, o valor estipulado mínimo pela norma é de 130 KJ/(m².K), os valores calculados foram superiores com 194,17 KJ/(m².K) para o bloco estrutural cerâmico e de 264,09 KJ/(m².K) para o bloco estrutural de concreto.

Analisando os valores obtidos com os normatizados para as demais zonas, é possível verificar que a transmitância térmica calculada para o bloco estrutural de concreto não é adequada para as zonas 1 e 2. Para as demais zonas quando a absorvância for maior que 0,6 (caso de pinturas mais escuras), a transmitância térmica do bloco estrutural de concreto também não é adequada. A transmitância térmica do bloco estrutural cerâmico está dentro do estabelecido para todas as zonas.

Quanto a capacidade térmica, os valores calculados, tanto para o bloco estrutural de concreto quanto para o bloco estrutural cerâmico, estão dentro dos valores permitidos pela norma em todas as 8 zonas.

5.3 Análise da influência da cobertura

A cobertura é a parte da edificação mais exposta à radiação solar e por isso ela tem bastante influência na carga térmica transmitida aos ambientes durante o período de verão, e na carga térmica dissipada por ela no período de inverno. Dessa forma ao

analisar as diferenças de temperatura entre o segundo pavimento e o quarto pavimento (cobertura), pode-se verificar o quanto do comportamento térmico da edificação deve-se a cobertura.

Nesta análise, tanto no inverno quanto no verão, foram analisados os 3 dias mais significativos em cada período, com a média das temperaturas horárias para cada pavimento, comparando os pavimentos e relacionando com a temperatura medida externamente.

5.3.1 Período de inverno – Edificação de bloco estrutural de concreto

Analisando o gráfico (Figura 27), onde são apresentadas as temperaturas médias horárias para cada pavimento, a edificação de bloco estrutural de concreto apresentou, em praticamente todo o primeiro dia, temperaturas no segundo e no quarto pavimento muito próximas e, em alguns momentos, iguais. No restante do tempo analisado, as temperaturas do quarto pavimento foram superiores, mas com pouca diferença de valores.

Na tabela 21, é possível visualizar os valores obtidos nas medições para o segundo pavimento e para o quarto pavimento da edificação de bloco estrutural de concreto, bem como a amplitude térmica, o atraso térmico, o amortecimento térmico e suas médias.

Percebe-se que a temperatura máxima ocorreu no quarto pavimento, enquanto a temperatura mínima ocorreu no segundo pavimento, ambas no terceiro dia. É possível verificar que há uma influência da cobertura, ainda que pequena, nas temperaturas medidas internamente, já que o valor médio das temperaturas máximas foi maior no quarto pavimento com diferença de $0,8^{\circ}\text{C}$ para o segundo pavimento. É importante ressaltar que a imprecisão do aparelho HOBOTM[®] é de $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$, portanto esta diferença entre o segundo e o quarto pavimento pode ter sido insignificante devido a esta imprecisão.

O pico da temperatura externa aconteceu as 14:30h nos 3 dias. O pico das temperaturas internas foi as 17:30h para o quarto pavimento no segundo dia, enquanto todas as demais foram as 16:30h. Assim, o atraso térmico médio dos blocos estruturais de concreto foi de 2h para o segundo pavimento e de 2h 20min para o quarto pavimento.

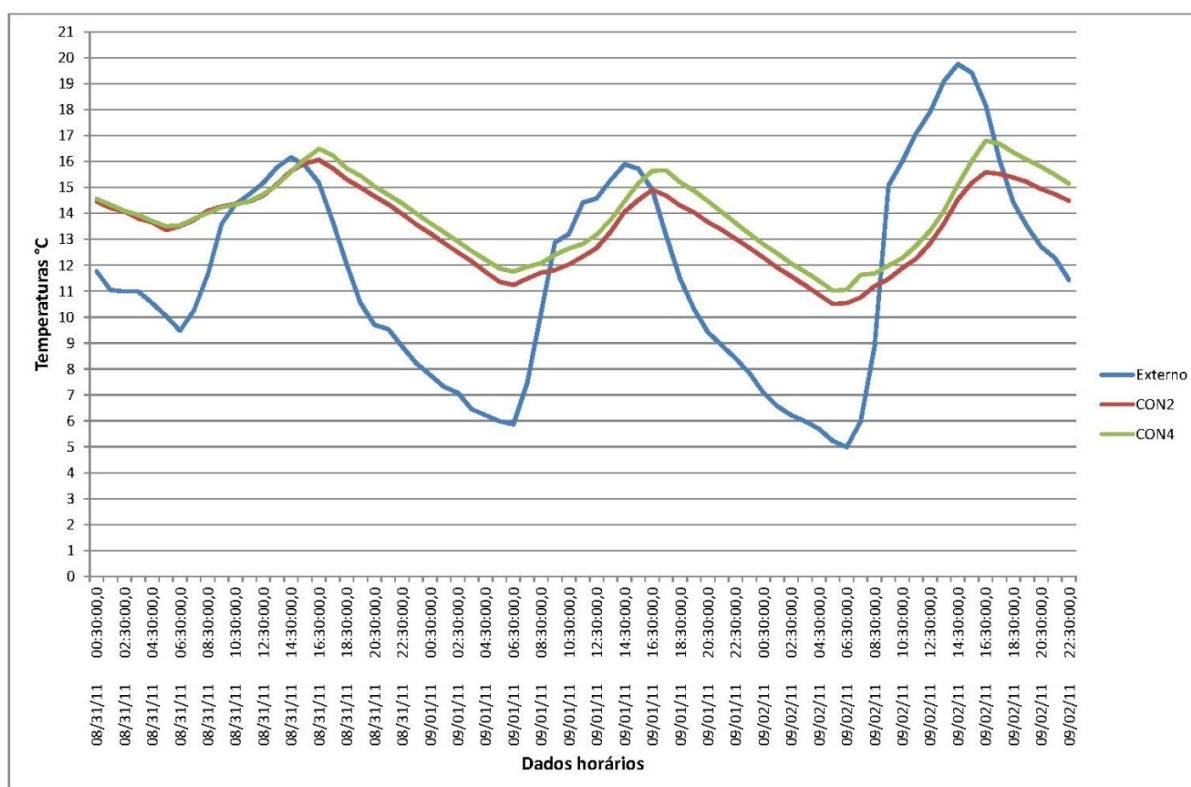


Figura 27 – Gráfico do período de 3 dias de inverno para o segundo e quarto pavimento da edificação de bloco estrutural de concreto.

A amplitude térmica diária externa (diferença entre a temperatura máxima e a mínima medidas no dia) foi aumentando ao longo dos dias medidos, tendo seu valor máximo no terceiro dia com 14,8°C. A amplitude térmica diária interna teve valores menores no segundo pavimento, ainda que ambos os pavimentos tenham tido um crescente aumento da amplitude térmica ao longo dos dias. O valor máximo da amplitude térmica foi de 5,3°C para o segundo pavimento e de 6,0°C para o quarto pavimento, ambos valores obtidos no terceiro dia.

Tabela 21 – Temperaturas máximas e mínimas, atraso térmico e amortecimento para o segundo e o quarto pavimento- bloco de concreto no período de inverno

Apto	Dia	T _{mín}	T _{máx}	Hr T _{máx}	ΔT	φ	μ	Média T _{máx}	Média T _{mín}	Média ΔT	φ médio	μ médio
Concreto 2º pav.	1	13,1	16,2	16:30	3,1	02:00	61,4	15,6	11,5	4,1	02:00	62,5
	2	11,1	14,9	16:30	3,8	02:00	61,8					
	3	10,3	15,6	16:30	5,3	02:00	64,2					
Concreto 4º pav.	1	13,1	16,7	16:30	3,6	02:00	55,2	16,4	11,8	4,6	02:20	57,9
	2	11,6	15,7	17:30	4,1	03:00	59,2					
	3	10,8	16,8	16:30	6,0	02:00	59,3					
Externo	1	8,2	16,2	14:30	7,9	-	-	17,3	6,4	10,9	-	-
	2	5,9	15,9	14:30	10,0	-	-					
	3	5,0	19,8	14:30	14,8	-	-					

O amortecimento térmico médio foi de 62,5% para o segundo pavimento da edificação e de 57,9% para o quarto pavimento. Quanto menor o amortecimento, mais os picos de temperatura externa são sentidos no interior da edificação.

Quanto ao desempenho térmico de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2012), as unidades habitacionais tanto do segundo pavimento quanto as do quarto pavimento, apresentaram um nível de desempenho mínimo no primeiro dia analisado e desempenho térmico intermediário nos dois dias seguintes.

As temperaturas mínimas e as temperaturas máximas medidas nestes 3 dias não se encontram na zona de conforto térmico.

5.3.2 Período de inverno – Edificação de bloco estrutural cerâmico

Analisando o gráfico da figura 28, onde são apresentadas as temperaturas médias horárias para cada pavimento, a edificação de bloco estrutural cerâmico apresentou temperaturas muito próximas no segundo e no quarto pavimento, o que mostra uma pequena influência da cobertura nesta edificação.

Na tabela 22, é possível visualizar os valores obtidos nas medições para o segundo pavimento e para o quarto pavimento da edificação de bloco estrutural

cerâmico, bem como a amplitude térmica, o atraso térmico, o amortecimento térmico e suas médias.

A temperatura máxima ocorreu no terceiro dia no quarto pavimento, enquanto a temperatura mínima ocorreu no segundo pavimento e também no terceiro dia, com uma diferença nas temperaturas superiores de 0,8°C e de 0,4°C nas inferiores. O valor médio das temperaturas máximas e mínimas foi maior novamente no quarto pavimento, mas com uma diferença pequena de 0,5°C e de 0,2°C, respectivamente. Novamente estas diferenças podem ter existido devido a imprecisão de $\pm 0,7^\circ\text{C}$ do aparelho HOBO®.

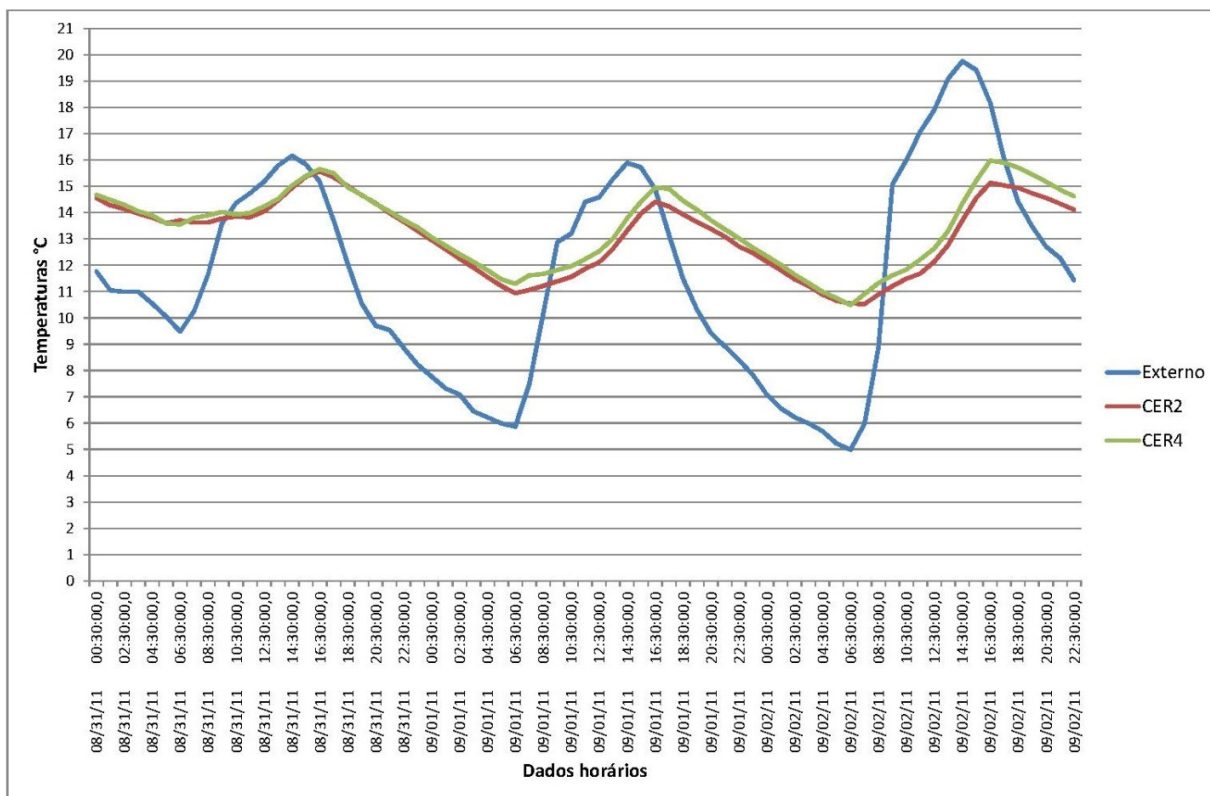


Figura 28 – Gráfico do período de 3 dias de inverno para o segundo e quarto pavimento da edificação de bloco estrutural cerâmico.

O pico da temperatura externa aconteceu as 14:30h nos 3 dias, da mesma forma que na edificação de bloco estrutural de concreto, já que as medições foram no mesmo período.

O pico das temperaturas internas foi as 16:30h para ambos os pavimentos no primeiro dia. Nos demais dias, o pico de temperatura foi as 17:30h também nos dois pavimentos. Assim, o atraso térmico médio foi o mesmo para o segundo e para o quarto pavimento, com valor de 2h 40min.

Tabela 22 – Temperaturas máximas e mínimas, atraso térmico e amortecimento para o segundo e o quarto pavimento - bloco cerâmico no período de inverno

Apto	Dia	T _{mín}	T _{máx}	Hr T _{máx}	ΔT	φ	μ	Média T _{máx}	Média T _{mín}	Média ΔT	φ médio	μ médio
Cerâmico 2º pav.	1	12,9	15,8	16:30	2,9	02:00	63,7	15,1	11,4	3,8	02:40	64,9
	2	10,8	14,4	17:30	3,6	03:00	64,0					
	3	10,3	15,2	17:30	4,9	03:00	67,1					
Cerâmico 4º pav.	1	13,1	15,8	16:30	2,6	02:00	66,9	15,6	11,6	4,0	02:40	63,8
	2	11,2	15,0	17:30	3,8	03:00	61,9					
	3	10,5	16,0	17:30	5,5	03:00	62,6					
Externo	1	8,2	16,2	14:30	7,9	-	-	17,3	6,4	10,9	-	-
	2	5,9	15,9	14:30	10,0	-	-					
	3	5,0	19,8	14:30	14,8	-	-					

A amplitude térmica diária externa teve o mesmo comportamento que na edificação de bloco estrutural de concreto, com valor máximo de 14,8°C no terceiro dia. A amplitude térmica diária interna do primeiro dia foi maior no segundo pavimento. Nos dois dias seguintes, os valores maiores foram no quartopavimento, ainda que ambos os pavimentos tenham tido um crescente aumento da amplitude térmica ao longo dos dias. O valor máximo da amplitude térmica foi de 4,9°C para o segundo pavimento e de 5,5°C para o quarto pavimento, ambos valores obtidos no terceiro dia.

O amortecimento térmico médio foi de 64,9% para o segundo pavimento da edificação e de 63,8% para o quarto pavimento. Estes valores de amortecimento foram mais altos do que na edificação de bloco estrutural de concreto.

Com o uso dos blocos cerâmicos nas vedações externas do edifício analisado neste trabalho, as diferenças de comportamento térmico no inverno devido à cobertura são ainda menores.

Quanto ao desempenho térmico de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2012), as unidades habitacionais tanto do segundo pavimento quanto as do quarto pavimento, apresentaram no primeiro dia um nível de desempenho térmico mínimo, enquanto no segundo dia o quarto pavimento apresentou um desempenho térmico intermediário, e no terceiro dia ambos os pavimentos apresentaram um desempenho intermediário.

Assim como na edificação de bloco estrutural de concreto, as temperaturas mínimas e as temperaturas máximas medidas nestes 3 dias não se encontram na zona de conforto térmico.

5.3.3 Período de verão – Edificação de bloco estrutural de concreto

Pela análise do gráfico da figura 29, onde são apresentadas as temperaturas médias horárias para cada pavimento, a edificação de bloco estrutural de concreto apresentou as temperaturas mais altas no quarto pavimento, durante o período de verão, mas com valores muito próximos.

Na tabela 23 é possível visualizar os valores obtidos nas medições para o segundo pavimento e para o quarto pavimento da edificação de bloco estrutural de concreto, bem como a amplitude térmica, o atraso térmico, o amortecimento térmico e suas médias.

A temperatura máxima foi medida no segundo e no terceiro dia no quarto pavimento, enquanto a temperatura mínima foi medida no segundo pavimento e no primeiro dia. Nessa análise fica mais visível a influência da cobertura, já que as maiores temperaturas medidas internamente ocorrem no quarto pavimento.

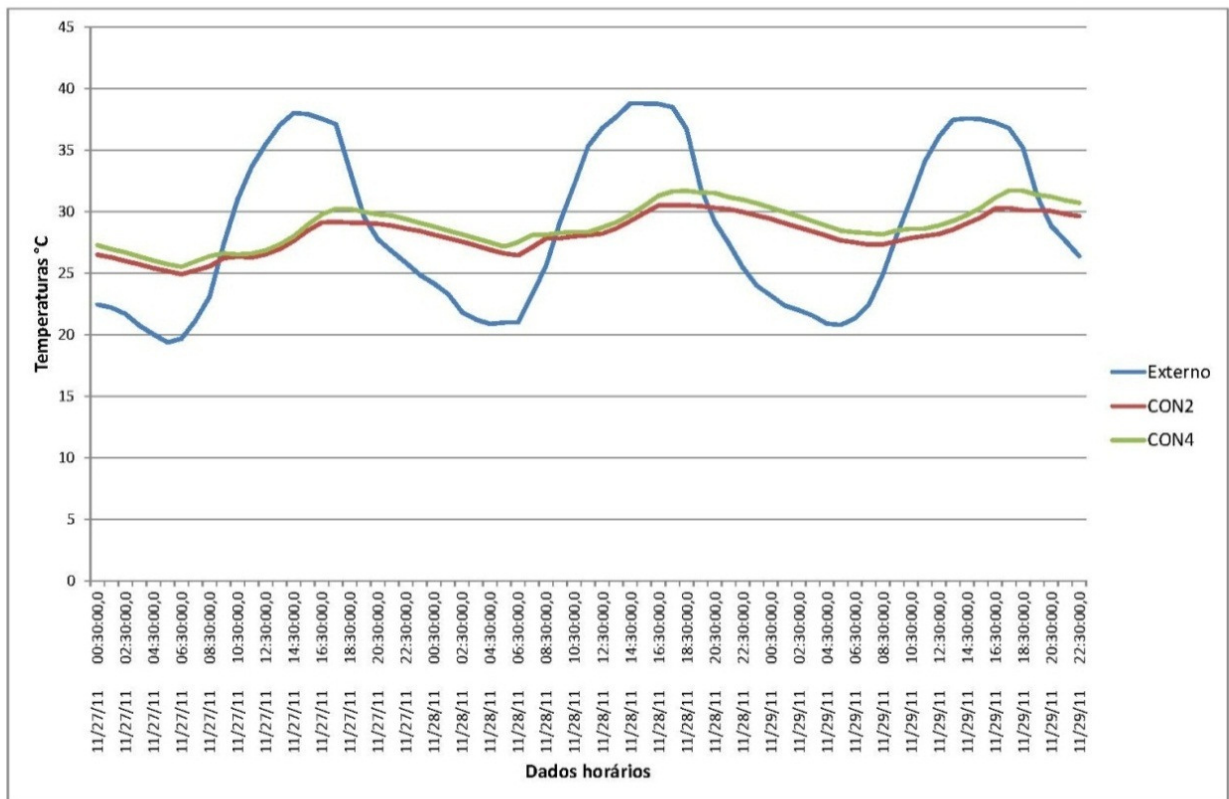


Figura 29 – Gráfico do período de 3 dias de verão para o segundo e quarto pavimento da edificação de bloco estrutural de concreto.

Tabela 23 – Temperaturas máximas e mínimas, atraso térmico e amortecimento para o segundo e o quarto pavimento - bloco de concreto no período de verão

Apto	Dia	Tmín	Tmáx	Hr Tmáx	ΔT	φ	μ	Média Tmáx	Média Tmín	Média ΔT	φ médio	μ médio
Concreto 2º pav.	1	24,9	29,3	18:30	4,5	04:00	76,1	30,1	26,2	3,9	03:40	78,2
	2	26,4	30,7	18:30	4,2	04:00	76,4					
	3	27,3	30,3	17:30	3,0	03:00	82,1					
Concreto 4º pav.	1	25,5	30,3	18:30	4,8	04:00	74,0	31,2	26,8	4,4	04:00	75,3
	2	26,9	31,7	18:30	4,7	04:00	73,5					
	3	28,1	31,7	18:30	3,6	04:00	78,3					
Externo	1	19,4	38,0	14:30	18,6	-	-	38,1	20,3	17,8	-	-
	2	20,9	38,8	14:30	17,9	-	-					
	3	20,8	37,6	14:30	16,8	-	-					

O pico da temperatura externa foi as 14:30h, enquanto o pico das temperaturas internas ocorreu as 18:30h. A exceção foi no segundo pavimento no terceiro dia, onde o pico da temperatura foi as 17:30h. O atraso térmico foi de 3h 40min para o segundo pavimento e de 4h para o quarto pavimento.

A amplitude térmica diária externa foi mais alta no primeiro dia, com valor de 18,6°C e foi baixando gradativamente nos dias seguintes. A amplitude térmica diária interna teve valores bem mais baixos do que a externa e também foi baixando seus valores ao longo dos dias. O valor máximo da amplitude térmica foi de 4,5°C para o segundo pavimento e de 4,8°C para o quarto pavimento, ambos valores obtidos no primeiro dia.

O amortecimento térmico médio foi de 78,2% para o segundo pavimento da edificação e de 75,3% para o quarto pavimento. Embora ambos os valores tenham sido elevados, pode-se perceber a influência da cobertura na diminuição do valor do amortecimento térmico no quarto pavimento.

Nesta edificação, no período de verão, a cobertura não influencia na diferença de comportamento térmico nos ambientes, no período medido ela contribui mais para as transferências por radiação.

Quanto ao desempenho térmico de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2012), as unidades habitacionais tanto do segundo pavimento quanto as do quarto pavimento apresentaram nos 3 dias um nível de desempenho térmico superior.

Apenas as temperaturas mínimas medidas nas unidades habitacionais estão dentro da zona de conforto térmico, todas as temperaturas máximas apresentaram valores superiores aos estipulados na zona de conforto térmico.

5.3.4 Período de verão – Edificação de bloco estrutural cerâmico

A figura 30 apresenta as temperaturas médias horárias para o segundo pavimento e para o quarto pavimento da edificação de bloco estrutural cerâmico, onde

se observam as maiores temperaturas no quarto pavimento. No início do primeiro e do segundo dia, as temperaturas do segundo e do quarto pavimento foram muito próximas e em alguns momentos iguais.

Na tabela 24 é possível visualizar os valores obtidos nas medições para o segundo pavimento e para o quarto pavimento da edificação de bloco estrutural cerâmico, bem como a amplitude térmica, o atraso térmico, o amortecimento térmico e suas médias.

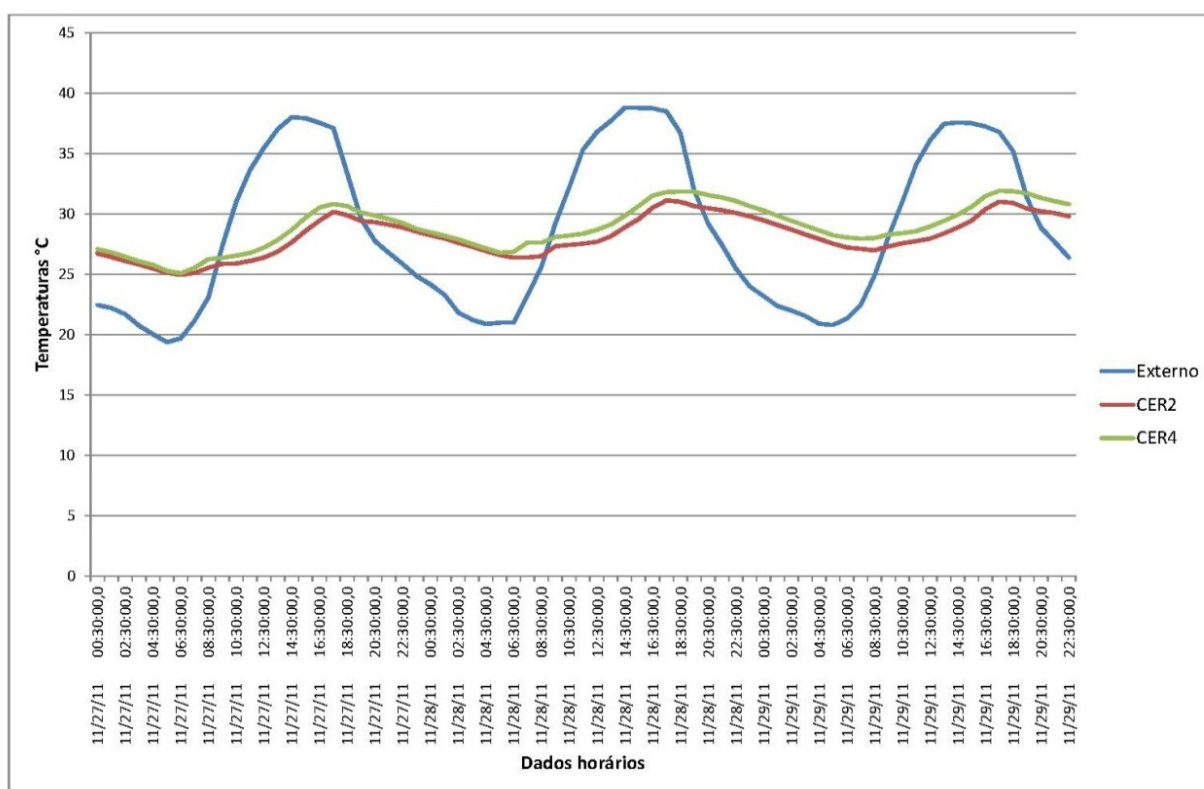


Figura 30 – Gráfico do período de 3 dias de verão para o segundo e quarto pavimento da edificação de bloco estrutural cerâmico.

A cobertura influenciou as temperaturas medidas internamente, ainda que com pequenas diferenças de valores nas temperaturas. O valor médio das temperaturas máximas e mínimas foi maior no quarto pavimento com uma diferença de 0,8°C para as

máximas e de 0,4°C para as mínimas, valores estes que podem ter sofrido a imprecisão de $\pm 0,7^\circ\text{C}$ do aparelho HOBO®.

Tabela 24 – Temperaturas máximas e mínimas, atraso térmico e amortecimento para o segundo e o quarto pavimento - bloco cerâmico no período de verão

Apto	Dia	Tmín	Tmáx	Hr Tmáx	ΔT	φ	μ	Média Tmáx	Média Tmín	Média ΔT	φ médio	μ médio
Cerâmico 2º pav.	1	24,8	30,2	18:30	5,4	04:00	71,1	30,8	26,0	4,8	03:20	73,1
	2	26,2	31,1	17:30	4,9	03:00	72,5					
	3	26,9	31,0	17:30	4,1	03:00	75,7					
Cerâmico 4º pav.	1	24,9	30,8	17:30	5,9	03:00	68,4	31,6	26,4	5,1	04:00	71,3
	2	26,6	32,0	19:30	5,4	05:00	69,9					
	3	27,9	32,0	18:30	4,1	04:00	75,6					
Externo	1	19,4	38,0	14:30	18,6	-	-	38,1	20,3	17,8	-	-
	2	20,9	38,8	14:30	17,9	-	-					
	3	20,8	37,6	14:30	16,8	-	-					

O pico da temperatura externa foi as 14:30h, enquanto o pico das temperaturas internas ocorreu em diferentes horários. No segundo pavimento, o pico das temperaturas ocorreu as 18:30h no primeiro dia e as 17:30h no segundo e terceiro dia. Para o quarto pavimento, o pico do primeiro dia foi as 17:30h, do segundo dia as 19:30h e no terceiro dia as 18:30h. Assim o atraso térmico médio foi de 3h 20min para o segundo pavimento e de 4h para o quarto pavimento.

A amplitude térmica diária externa foi mais alta no primeiro dia, com valor de 18,6°C e foi baixando nos dias seguintes. A amplitude térmica diária interna teve valores bem mais baixos do que a externa e seus valores também diminuíram ao longo dos dias. O valor máximo da amplitude térmica foi de 5,4°C para o segundo pavimento e de 5,9°C para o quarto pavimento, ambos valores obtidos no primeiro dia.

O amortecimento térmico médio foi de 73,1% para o segundo pavimento da edificação e de 71,3% para o quarto pavimento. Assim como na edificação de bloco estrutural de concreto, ambos os valores foram elevados e percebe-se a pequena influência da cobertura no comportamento térmico dos ambientes.

Quanto ao desempenho térmico, assim como na edificação de bloco estrutural de concreto, as unidades habitacionais tanto do segundo pavimento quanto as do quarto pavimento, apresentaram nos 3 dias um nível de desempenho térmico superior.

Da mesma forma, apenas as temperaturas mínimas medidas nas unidades habitacionais da edificação de bloco estrutural cerâmico estão dentro da zona de conforto térmico, todas as temperaturas máximas apresentaram valores superiores aos estipulados na zona de conforto térmico.

5.4 Análise da influência da orientação solar

A orientação solar é um parâmetro importante na análise do comportamento térmico das edificações. Uma edificação pode ter melhor comportamento térmico apenas por ter uma orientação mais favorável de acordo com a região em que ela está inserida.

Para esta análise foram levados em consideração apenas os valores de temperatura do segundo pavimento das edificações, de forma a eliminar a influência da cobertura como mais um parâmetro.

Nesta análise, também foram analisados os 3 dias mais significativos, tanto no inverno quanto no verão, sendo analisados os dormitórios das unidades habitacionais com janelas orientadas a leste e oeste, tendo estes dormitórios paredes cegas na orientação norte ou sul.

As temperaturas horárias médias foram comparadas entre as 4 orientações de dormitórios com janela a oeste e parede cega ao norte, janela a oeste e parede cega ao sul, janela leste com parede cega ao norte e janela leste com parede cega ao sul. As temperaturas internas foram comparadas e relacionadas com a temperatura medida externamente.

5.4.1 Período de inverno – Edificação de bloco estrutural de concreto

Fazendo-se a análise do gráfico da figura 31, onde são apresentadas as temperaturas médias horárias para as diferentes orientações, observa-se que a edificação de bloco estrutural de concreto teve suas maiores temperaturas máximas e mínimas no apartamento com janela a leste e parede cega a norte e as menores temperaturas máximas e mínimas quando a janela estava na orientação leste e a parede cega a sul.

Na tabela 25 é possível visualizar os valores obtidos nas diferentes orientações da edificação de bloco estrutural de concreto, bem como a amplitude térmica, o atraso térmico, o amortecimento térmico e suas médias.

A média das temperaturas máximas foi maior na unidade habitacional com janela a leste e parede cega no norte e a média das temperaturas mínimas ocorreu quando a janela estava a leste e a parede cega a sul, com diferença de 3,3°C nas máximas e de 1,6°C nas mínimas. Isto indica uma influência importante da orientação solar nas temperaturas máximas e um pouco menor nas mínimas, que ocorrem sempre à noite e refletem o efeito conjunto da temperatura diurna e da inércia térmica dos componentes do edifício.

O atraso térmico médio foi de 2h para a unidade habitacional com janela a oeste e parede cega a sul, 1h 40min para janela oeste e parede cega a norte, 1h 20 min para janela leste e parede cega norte e de 1h para janela leste e parede cega sul.

A amplitude térmica diária externa foi aumentando ao longo dos dias medidos com valor máximo de 14,8°C no terceiro dia. A amplitude térmica diária interna também foi aumentando ao longo dos dias, com valores bem menores que os da amplitude externa, reflexo da boa inércia térmica das vedações. A média da amplitude térmica interna foi mais elevada no apartamento com janela leste e parede cega norte.

O amortecimento térmico foi mais elevado na unidade habitacional com janela leste e parede cega sul com valor de 72,4%, enquanto que com orientação de janela leste e parede cega a norte o valor foi de 57,0%.

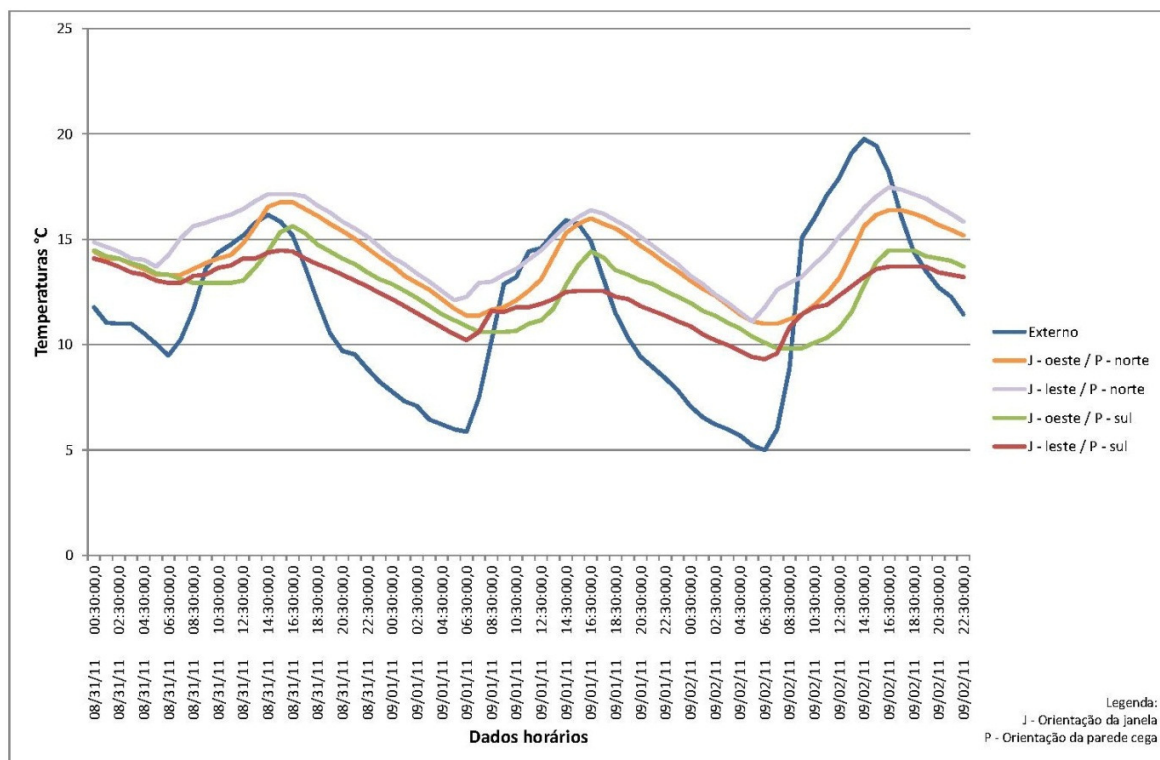


Figura 31 – Gráfico do período de 3 dias de inverno para as orientações da edificação de bloco estrutural de concreto.

Tabela 25 – Temperaturas máximas e mínimas, atraso térmico e amortecimento para diferentes orientações - bloco de concreto no período de inverno

Apto	Dia	Tmáx	Tmín	Hr Tmáx	ΔT	φ	μ	Média Tmáx	Média Tmín	Média ΔT	φ médio	μ médio
J - oeste / P - norte	1	16,8	13,3	15:30	3,4	01:00	56,6	16,4	11,9	4,5	01:40	58,0
	2	16,0	11,4	16:30	4,6	02:00	53,9					
	3	16,4	11,0	16:30	5,4	02:00	63,5					
J - leste / P - norte	1	17,1	13,7	14:30	3,4	00:00	56,6	17,0	12,3	4,7	01:20	57,0
	2	16,4	12,1	16:30	4,3	02:00	57,3					
	3	17,5	11,1	16:30	6,4	02:00	56,9					
J - oeste / P - sul	1	15,9	12,9	16:30	3,0	02:00	62,0	15,1	11,1	4,0	02:00	62,5
	2	14,7	10,6	16:30	4,1	02:00	59,2					
	3	14,8	9,8	16:30	5,0	02:00	66,3					
J - leste / P - sul	1	14,8	12,4	14:30	2,4	00:00	70,3	13,7	10,7	3,0	01:00	72,4
	2	12,6	10,2	15:30	2,3	01:00	76,7					
	3	13,7	9,3	16:30	4,4	02:00	70,3					
Externo	1	16,2	8,2	14:30	7,9	-	-	17,3	6,4	10,9	-	-
	2	15,9	5,9	14:30	10,0	-	-					
	3	19,8	5,0	14:30	14,8	-	-					

Quanto ao desempenho térmico, de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2012), as unidades habitacionais com dormitórios com janela a oeste e leste e parede cega na orientação sul, apresentaram nos 3 dias um desempenho térmico mínimo. As demais unidades apresentaram um desempenho térmico intermediário. Ainda assim, nenhuma temperatura medida internamente está dentro da zona de conforto térmico.

5.4.2 Período de inverno – Edificação de bloco estrutural cerâmico

A figura 32 apresenta as temperaturas médias horárias para cada orientação para a edificação de bloco estrutural cerâmico. Nesse caso a unidade habitacional com janela na orientação leste e parede cega ao norte apresentou as maiores temperaturas, enquanto as temperaturas mais baixas do período foram com janela a leste e parede cega a sul.

Na tabela 26, é possível visualizar os valores obtidos nas diferentes orientações da edificação de bloco estrutural cerâmico, bem como a amplitude térmica, o atraso térmico, o amortecimento térmico e suas médias.

A maiores temperatura máxima e mínimas foram obtidas na unidade habitacional com janela a oeste e parede cega a norte. As menores temperaturas máximas e mínimas ocorrem com janela a leste e parede cega no sul. A média das temperaturas máximas medidas foi maior com janela a oeste e a parede cega na orientação norte, enquanto as mínimas foram na unidade habitacional com janela leste e parede cega no sul.

O atraso térmico médio foi de 2h 40min para janela oeste e parede cega no norte, 2h para janela oeste e parede cega no sul, 1h 20min para janela leste e parede cega norte e de 1h para janela com orientação leste e parede cega no sul.

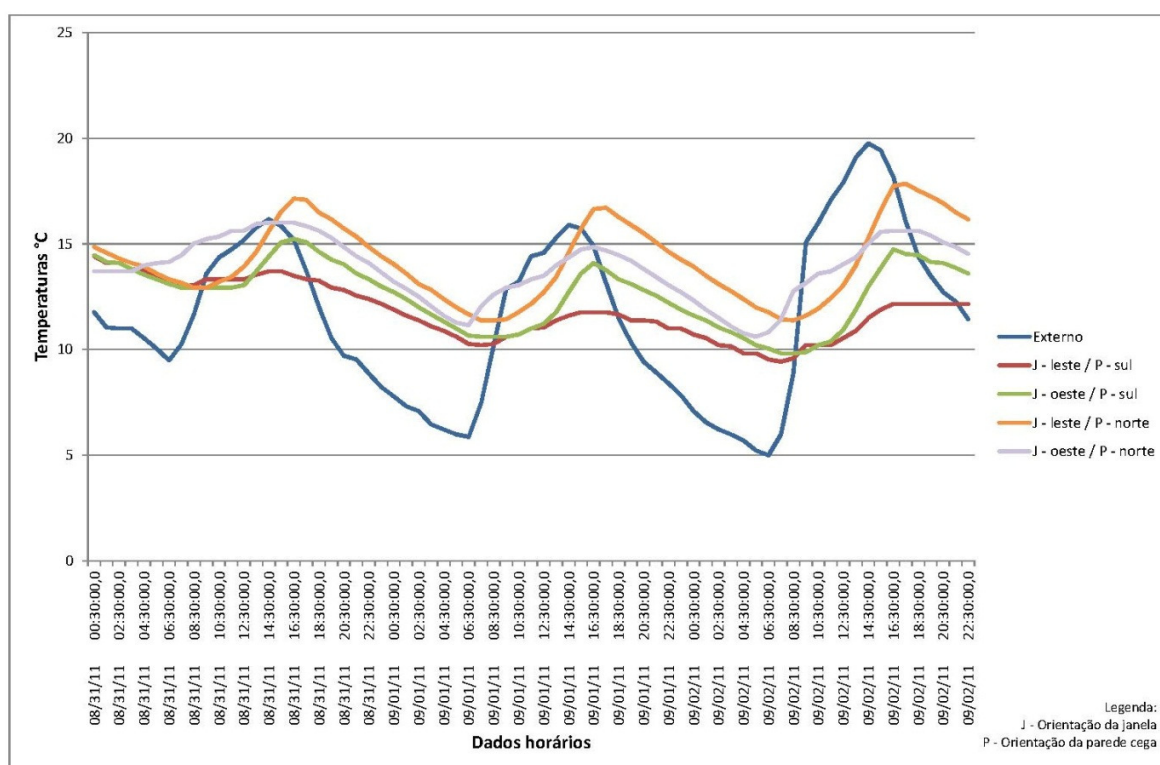


Figura 32 – Gráfico do período de 3 dias de inverno para as orientações da edificação de bloco estrutural cerâmico.

Tabela 26 – Temperaturas máximas e mínimas, atraso térmico e amortecimento para diferentes orientações - bloco cerâmico no período de inverno

Apto	Dia	Tmáx	Tmín	Hr Tmáx	ΔT	φ	μ	Média Tmáx	Média Tmín	Média ΔT	φ médio	μ médio
J - oeste / P - norte	1	17,1	12,9	16:30	4,2	02:00	46,9	17,2	11,9	5,3	02:40	50,0
	2	16,7	11,4	17:30	5,3	03:00	46,9					
	3	17,8	11,4	17:30	6,5	03:00	56,2					
J - leste / P - norte	1	16,0	13,6	14:30	2,4	0,00	70,3	15,5	11,8	3,7	01:20	66,5
	2	14,9	11,2	16:30	3,7	02:00	63,2					
	3	15,6	10,6	16:30	5,0	02:00	66,0					
J - oeste / P - sul	1	15,6	12,9	16:30	2,7	02:00	66,1	15,0	11,1	3,9	02:00	64,5
	2	14,4	10,6	16:30	3,8	02:00	62,5					
	3	15,0	9,8	16:30	5,2	02:00	64,8					
J - leste / P - sul	1	14,4	12,2	14:30	2,3	00:00	71,6	12,8	10,6	2,2	01:00	78,8
	2	11,9	10,2	15:30	1,7	01:00	83,3					
	3	12,2	9,4	16:30	2,7	02:00	81,4					
Externo	1	16,2	8,2	14:30	7,9	-	-	17,3	6,4	10,9	-	-
	2	15,9	5,9	14:30	10,0	-	-					
	3	19,8	5,0	14:30	14,8	-	-					

A amplitude térmica diária externa foi aumentando ao longo dos dias medidos com valor máximo de 14,8°C no terceiro dia. A amplitude térmica diária interna também foi aumentando ao longo dos dias, embora seus valores tenham sido muito menores que na amplitude externa. A média da amplitude térmica interna foi mais elevada na unidade habitacional com janela na orientação oeste e parede cega no norte.

O amortecimento térmico foi mais elevado no apartamento com janela leste e parede cega no sul com valor de 78,8%. O menor valor de amortecimento térmico foi para janela oeste e parede cega norte com valor de 50%. Assim fica evidente a influência da orientação solar no comportamento térmico no interior dos edifícios no período de inverno.

Quanto ao desempenho térmico, de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2012), as unidades habitacionais com dormitórios com janela a leste e parede cega na orientação norte, apresentaram nos 3 dias um desempenho térmico intermediário, as unidades habitacionais com janela a oeste e parede cega no norte também apresentaram um desempenho térmico intermediário em 2 dias. As demais unidades apresentaram um desempenho térmico mínimo. Ainda assim, nenhuma temperatura medida internamente está dentro da zona de conforto térmico.

5.4.3 Período de verão – Edificação de bloco estrutural de concreto

O gráfico da figura 33 apresenta as temperaturas médias horárias para as diferentes orientações para a edificação de bloco estrutural de concreto. Essa edificação apresentou temperaturas muito próximas em todas as orientações. Na maior parte do período, a temperatura foi mais elevada na unidade habitacional com janela na orientação leste e parede cega no sul. E na unidade com janela a oeste e parede cega norte ocorreram as menores temperaturas.

Na tabela 27, é possível visualizar os valores obtidos nas diferentes orientações da edificação de bloco estrutural de concreto, bem como a amplitude térmica, o atraso térmico, o amortecimento térmico e suas médias.

Para o período de verão se observam diferenças menores nas temperaturas internas devido à orientação solar, com a maior média das máximas com valor de 30,5°C na unidade habitacional com janela a oeste e parede cega no sul, e a menor média para janela oeste e parede cega norte com valor de 29,7°C, uma diferença de apenas 0,8°C.

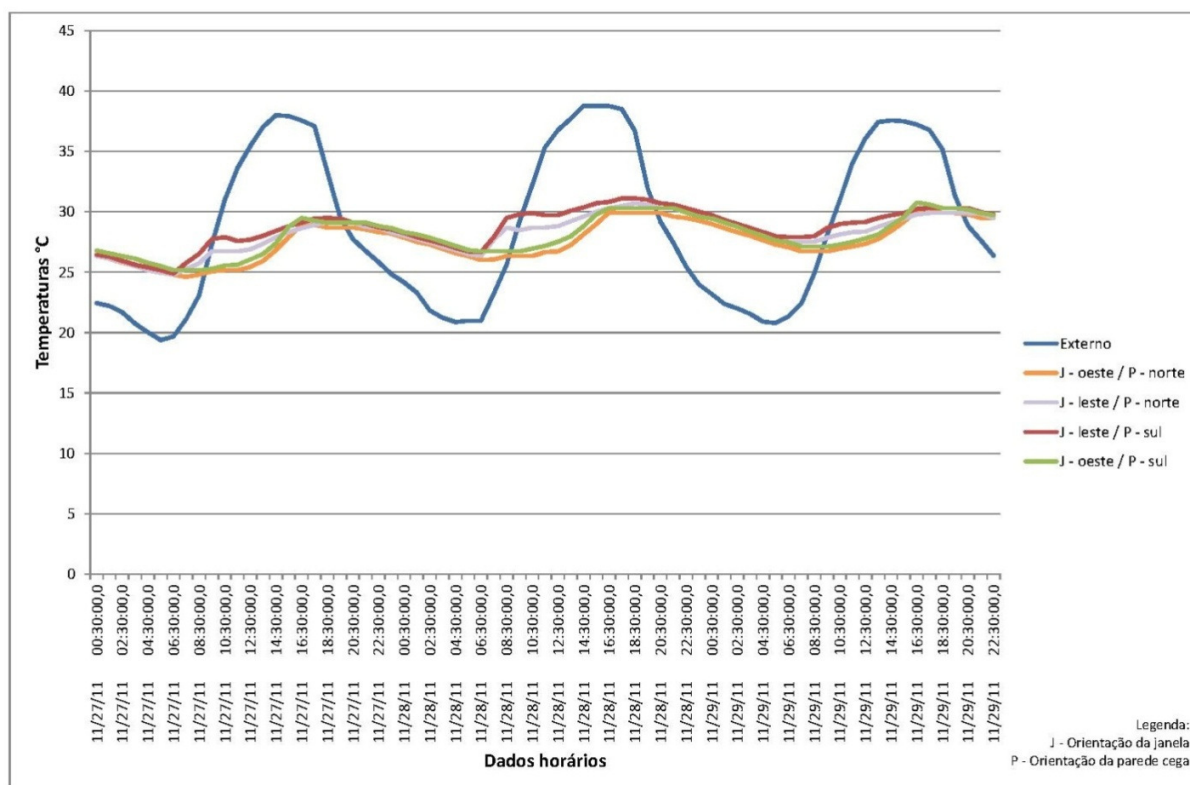


Figura 33 – Gráfico do período de 3 dias de verão para as orientações da edificação de bloco estrutural de concreto.

Tabela 27 – Temperaturas máximas e mínimas, atraso térmico e amortecimento para diferentes orientações - bloco de concreto no período de verão

Apto	Dia	Tmín	Tmáx	Hr Tmáx	ΔT	φ	μ	Média Tmín	Média Tmáx	Média ΔT	φ médio	μ médio
J - oeste / P - norte	1	24,6	28,9	16:30	4,3	02:00	76,9	25,8	29,7	3,9	02:20	77,8
	2	26,0	30,0	16:30	4,0	02:00	77,9					
	3	26,7	30,3	17:30	3,6	03:00	78,7					
J - leste / P - norte	1	24,8	29,1	18:30	4,3	04:00	76,9	26,2	29,9	3,7	03:40	79,4
	2	26,3	30,7	18:30	4,4	04:00	75,6					
	3	27,5	29,9	17:30	2,4	03:00	85,8					
J - oeste / P - sul	1	25,2	29,8	16:30	4,6	02:00	75,2	26,3	30,5	4,1	02:00	76,7
	2	26,7	30,9	16:30	4,2	02:00	76,8					
	3	27,1	30,8	16:30	3,7	02:00	78,2					
J - leste / P - sul	1	24,9	29,5	18:30	4,6	04:00	75,3	26,5	30,3	3,8	03:20	78,7
	2	26,7	31,1	17:30	4,4	03:00	75,2					
	3	27,9	30,3	17:30	2,4	03:00	85,7					
Externo	1	19,4	38,0	14:30	18,6	-	-	20,3	38,1	17,8	-	-
	2	20,9	38,8	14:30	17,9	-	-					
	3	20,8	37,6	14:30	16,8	-	-					

O atraso térmico médio foi de 3h 40min para janela leste e parede cega norte, 3h 20min para janela leste e parede cega sul, 2h 20min para janela oeste e parede cega norte e de 2h para janela oeste e parede cega sul.

O amortecimento térmico foi mais elevado para o apartamento com janela leste e parede cega no norte com 79,4%. Ainda assim, as demais orientações tiveram seus valores de amortecimento muito próximos, sendo o valor mais baixo de 76,7% para janela oeste e parede cega sul.

Observando estes valores nota-se a pouca influência da orientação solar nas temperaturas internas do edifício com blocos de concreto para o período de verão.

Relacionando os valores obtidos com a norma NBR 15575 (ABNT, 2012), todas as unidades habitacionais medidas na edificação de bloco estrutural de concreto apresentaram um desempenho térmico superior para o período de verão. Ainda assim, somente as temperaturas mínimas e a temperatura máxima no primeiro dia com janela orientada a oeste e parede cega norte estiveram dentro da zona de conforto térmico.

5.4.4 Período de verão – Edificação de bloco estrutural cerâmico

Pela análise do gráfico da figura 34, onde são mostradas as temperaturas médias horárias para cada orientação, a edificação de bloco estrutural cerâmico apresentou temperaturas muito semelhantes para todas as orientações no verão.

Na tabela 28, é possível visualizar os valores obtidos nas diferentes orientações da edificação de bloco estrutural cerâmico, bem como a amplitude térmica, o atraso térmico, o amortecimento térmico e suas médias.

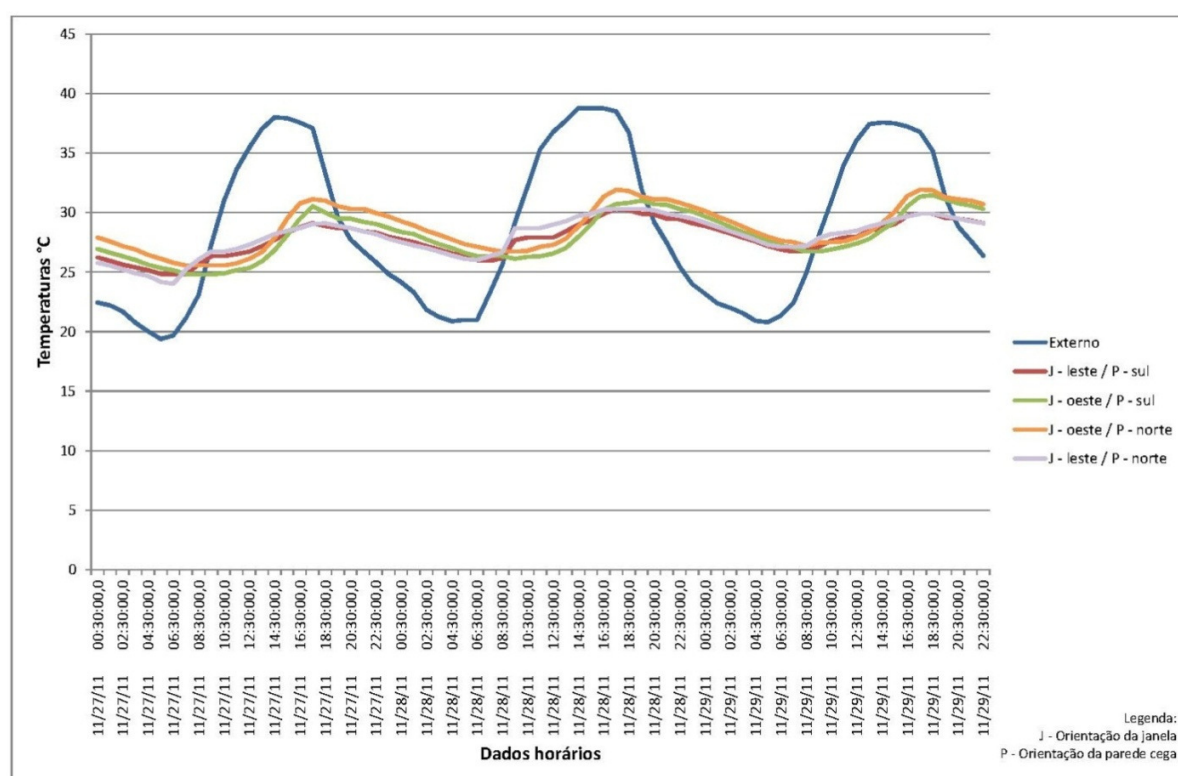


Figura 34 – Gráfico do período de 3 dias de verão para as orientações da edificação de bloco estrutural cerâmico.

Tabela 28 – Temperaturas máximas e mínimas, atraso térmico e amortecimento para diferentes orientações - bloco cerâmico no período de verão

Apto	Dia	Tmín	Tmáx	Hora Tmáx	ΔT	φ	μ	Média Tmín	Média Tmáx	Média ΔT	φ médio	μ médio
J - oeste / P - norte	1	25,6	31,1	17:30	5,6	03:00	70,2	26,5	31,7	5,2	03:00	70,9
	2	26,7	31,9	17:30	5,2	03:00	71,0					
	3	27,2	31,9	17:30	4,8	03:00	71,7					
J - leste / P - norte	1	24,0	29,1	18:30	5,1	04:00	72,7	25,7	29,8	4,1	03:20	77,4
	2	26,0	30,3	17:30	4,3	03:00	76,0					
	3	27,1	29,9	17:30	2,8	03:00	83,4					
J - oeste / P - sul	1	24,8	31,4	17:30	6,6	03:00	64,5	25,9	31,9	6,0	03:00	66,2
	2	26,1	31,9	17:30	5,8	03:00	67,5					
	3	26,7	32,3	17:30	5,6	03:00	66,6					
J - leste / P - sul	1	24,8	29,1	17:30	4,3	03:00	76,9	25,8	29,8	3,9	03:00	77,9
	2	26,0	30,3	17:30	4,4	03:00	75,7					
	3	26,7	29,9	17:30	3,2	03:00	81,1					
Externo	1	19,4	38,0	14:30	18,6	-	-	20,3	38,1	17,8	-	-
	2	20,9	38,8	14:30	17,9	-	-					
	3	20,8	37,6	14:30	16,8	-	-					

Para o período de verão, no edifício com blocos cerâmicos, observou-se a maior média das máximas de 31,9°C para a unidade habitacional com janela a oeste e parede cega sul, e a menor para janela leste e parede cega sul e parede cega norte com valor de 29,8°C.

O atraso térmico médio foi de 3h 20min para janela leste e parede cega norte enquanto nas demais orientações o atraso foi de 3h.

A amplitude térmica diária externa foi diminuindo ao longo dos dias, tendo seu valor máximo de 18,6°C no primeiro dia. O amortecimento térmico foi mais elevado para janela leste e parede cega sul com valor de 77,9%. O valor mais baixo de amortecimento térmico foi de 66,2% para janela oeste e parede cega sul. Os valores de amortecimento térmico foram menores na edificação de bloco estrutural cerâmico em comparação com a edificação de bloco estrutural de concreto.

A influência da orientação solar no valor das temperaturas internas é pouco notada no edifício com blocos cerâmicos para o período de verão, mas, ainda assim, é um pouco superior ao edifício com bloco de concreto.

Quanto ao desempenho térmico, de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2012), todas as unidades habitacionais medidas na edificação de bloco estrutural cerâmico

apresentaram um desempenho térmico superior para o período de verão. Somente as temperaturas mínimas se apresentaram dentro da zona de conforto térmico.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar e comparar o desempenho térmico de edificações em alvenaria estrutural executadas com dois tipos de blocos, o bloco estrutural de concreto e o bloco estrutural cerâmico, para a zona bioclimática 2 brasileira.

A metodologia utilizada com as medições *in loco* mostrou resultados satisfatórios, com medições que puderam ser analisadas de diferentes formas. O único porém deve-se a precisão de $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$ do aparelho HOBO® utilizado. Como as temperaturas foram muito próximas, os resultados podem se enquadrar nesta imprecisão e não apresentar diferenças reais.

Analisando os elementos construtivos, calculando as características térmicas das vedações executadas com os dois tipos de blocos e comparando com as normas NBR 15220 e NBR 15575, foi possível perceber que a vedação com bloco cerâmico apresentou valor de atraso térmico superior ao estipulado como limite pela NBR 15220 para a zona bioclimática 2, enquanto que a vedação com o bloco de concreto apresentou o valor de transmitância térmica superior ao limite estabelecido pela NBR 15575. Ou seja, de acordo com as normas, ambos os blocos não seriam adequados para a zona bioclimática brasileira analisada.

Na análise da influência da cobertura, no período de inverno, as temperaturas foram superiores no quarto pavimento na maior parte do tempo. A edificação de bloco estrutural cerâmico apresentou atraso térmico maior e também um maior amortecimento térmico. Assim, os picos de temperatura mínima são menos sentidos internamente nesta edificação e as temperaturas máximas externas atingem o interior mais tarde, garantindo temperaturas amenas por mais tempo.

Os valores de amortecimento térmico na edificação de bloco estrutural cerâmico, além de mais altos, tiveram valores mais próximos entre o segundo e o quarto pavimento, comprovando a menor influência da cobertura.

Ainda que ambas as edificações apresentaram um desempenho térmico normatizado como intermediário (em alguns momentos, mínimo) nenhuma das edificações se apresentou dentro da zona de conforto térmico, que estabelece temperaturas entre 18°C e 29°C como confortáveis.

No período de verão as temperaturas internas continuaram sendo superiores no quarto pavimento. Neste período a edificação de bloco estrutural de concreto apresentou os maiores valores de amortecimento térmico. Este amortecimento térmico mais elevado juntamente com a amplitude térmica interna menor fazem com que esta edificação seja mais amena internamente no período de verão.

No período de verão ambas as edificações apresentaram um desempenho térmico superior, o que não indica um conforto térmico maior. No período analisado as temperaturas externas foram muito elevadas, então uma temperatura interna com apenas 4°C a menos do que a temperatura externa (conforme NBR 15575) não representa uma temperatura agradável e dentro da zona de conforto térmico. Apenas as temperaturas mínimas se encaixaram na faixa de 18°C e 29°C.

Em ambos os períodos, inverno e verão, o amortecimento térmico mais elevado e a menor amplitude térmica interna foram medidos no segundo pavimento das edificações.

Embora os valores medidos de temperatura indiquem que os ganhos de temperatura pela cobertura têm influência no comportamento térmico, em qualquer um dos dois edifícios, tanto no período de verão como no inverno, essa influência é pouco expressiva nas edificações analisadas, para o clima considerado e para o tipo de cobertura utilizado. Estas diferenças de temperatura podem ser decorrentes apenas da imprecisão do aparelho HOBOTM[®] utilizado.

Na análise da influência das diferentes orientações, o período de inverno teve suas maiores temperaturas e amplitudes térmicas nos dormitórios com janela na orientação leste e parede cega na orientação norte para as edificações de bloco estrutural de concreto e de bloco estrutural cerâmico. As menores temperaturas foram para janelas orientadas a leste e parede cega a sul.

Os maiores atrasos térmicos foram de janelas orientadas a oeste, com parede cega na orientação norte e na orientação sul, enquanto o amortecimento térmico foi maior para janela leste e parede cega no sul.

Para este período, as unidades habitacionais com parede cega na orientação norte apresentaram um desempenho térmico intermediário, tanto com janela a oeste quanto a leste. As unidades habitacionais com parede cega ao sul, apresentaram um desempenho térmico mínimo. As temperaturas medidas em ambas as edificações não se encontram na zona de conforto térmico.

O período de verão teve suas maiores temperaturas nos dormitórios das unidades habitacionais com orientação da parede cega ao sul, enquanto que as menores temperaturas foram para orientação de parede cega norte.

Em ambas as edificações o maior atraso térmico ocorreu para janela orientada a leste e parede cega ao norte. Os valores de amortecimento térmico foram maiores na edificação de bloco estrutural de concreto, sendo que nesta edificação o maior valor de amortecimento foi para janela leste e parede cega no norte. Para a edificação de bloco estrutural cerâmico o maior valor de amortecimento ocorreu para janela leste e parede cega sul.

O desempenho térmico para o período de verão foi superior em ambas as edificações e somente as temperaturas mínimas do período estiveram dentro da faixa de conforto térmico.

Analisando as edificações nas suas diferentes orientações é possível verificar a influência da radiação solar, tanto no inverno quanto no verão. No inverno quando a inclinação do sol é mais acentuada, as janelas orientadas a leste e oeste com parede cega na orientação norte são as que apresentam as maiores temperaturas, devido à maior incidência solar na orientação norte. Já no verão, onde a inclinação da trajetória solar é menor, as janelas orientadas a leste e oeste com parede cega ao sul foram as que apresentaram as maiores temperaturas.

Embora ocorram diferenças de temperaturas entre os edifícios construídos com o bloco estrutural de concreto e o bloco estrutural cerâmico, essas diferenças são reduzidas. Isto indica que os dois tipos de blocos considerados neste estudo tem pouca

influência no comportamento térmico das edificações estudadas, tanto no período de inverno como no verão.

Assim, para edificações de alvenaria estrutural construídas com os modelos de blocos e com a cobertura analisada e para as orientações aqui analisadas, pode-se optar tanto pelo bloco estrutural de concreto quanto pelo bloco estrutural cerâmico na zona bioclimática 2 brasileira, sem que o comportamento térmico da edificação seja comprometido.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

A partir desse trabalho, sugere-se que trabalhos futuros abordem:

- Análise do desempenho térmico destes blocos em outras zonas.
- Análise do desempenho térmico de diferentes tipos de blocos.
- Análise dos mesmos blocos estudados, pelo sistema de caixa preta e a comparação dos seus resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADRIAZOLA, M. K. O. **Avaliação do desempenho térmico de salas de aula do CEFET-PR, Unidade de Curitiba.** 2002. Dissertação (Mestrado em Tecnologia). UTFPR, Curitiba, 2002.

AMBIENTE Brasil. Disponível em:
<http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/energia_solar/arquitetura_bioclimatica.html>. Acesso em 05 maio 2011.

AKUTSU, M.; VITTORINO, F. A tendência atual dos métodos de avaliação do desempenho térmico e energético de edificações. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador, 1997.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270** – Componentes Cerâmicos. Rio de Janeiro, 2005b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575** – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho. Rio de Janeiro, 2012.

BARBIRATO, G. M.; TORRES, S. C.; PASSOS, I. C. S.; BARBOSA, R. V. R. Diretrizes bioclimáticas para o planejamento urbano a partir da aplicação de metodologias de análise do clima local. In: PLURIS 2010 – CONGRESSO PARA O PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL, 4º, 2010.

BARBOSA, M. J. **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares.** 1997. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)–Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

BARBOSA, M. J.; LEMOS, P.N. Avaliação comparativa de desempenho térmico entre cincosistemas construtivos de habitação popular. In **Anais** do V Encontro Nacional de Confortono Ambiente Construído. Fortaleza, 1999.

- BORGES, Carlos Alberto de Moraes. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. São Paulo: EPUSP, 2008.
- CAMACHO, Jefferson S. **Projetos de edifícios em alvenaria estrutural**. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista, 2001. Notas de aula.
- CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: Conforto Ambiental**. 2. ed. Rio de Janeiro: Revan, 2009.
- CURCIO, Daniela da Rosa. **Desempenho termo-energético de Habitações de Interesse Social produzidas pelo Programa de Arrendamento Residencial – PAR na cidade de Pelotas/RS**. 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura)–Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.
- DORNELLES, K; RORIZ, M. Efeitos da inércia térmica sobre as temperaturas internas de edificações na cidade de São Carlos, SP. In: V ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...Alagoas: ENCAC, 2005**.
- DUARTE, R. B. **Recomendações para o Projeto e Execução de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Porto Alegre, 1999.
- DUMKE, E. M. S. **Avaliação do desempenho térmico em sistemas construtivos da Vila Tecnológica de Curitiba como subsídio para a escolha de tecnologias apropriadas em habitação de interesse social**. 2002. Dissertação (Mestrado em Tecnologia). UTFPR, Curitiba, 2002.
- FERREIRA, F. **Desempenho térmico em Edifícios de Escritório na Região Central do Rio Grande do Sul**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)– Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2007.
- FIGUEIRA, Daniel Sampaio. **Análise experimental e numérica do comportamento térmico de um coletor solar acumulador**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia)– Escola de Engenharia. Universidade Federal do rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 6. ed. São Paulo: Nobel, 2001.
- GIVONI, B. **Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines**. Rev. Energy and Buildings: v. 18, n. 1, p. 11-23, Lausanne.

GONZÁLEZ CRUZ, E. M. **Selección de materiales en la concepción arquitectónica bioclimática**. Estudios de Arquitectura Bioclimática. México: Anuário 2002.

GRIGOLETTI, G. **Contribuição para avaliação de desempenho higrotérmico de habitações térreas unifamiliares de interesse social para Porto Alegre – RS**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia)–Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

HENDRY, A.W. **Engineered design of masonry buildings: fifty years development in Europe**. Prog. Struct. Eng. Mater. Edinburgo: University of Edinburgh, 2002.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 junho de 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 7730. **Ergonomics of the Thermal Environment**– Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. International Organization for Standardization, 1994.

KOENIGSBERGER, O. H. et al. **Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales**. Madri: Paraninfo, 1977.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na Arquitetura**. São Paulo: P.W., 1997.

LAMBERTS, R. et al. (Ed.). **Casa eficiente**: Bioclimatologia e desempenho térmico. v. 1. Florianópolis: UFSC/LabEEEE. 2010.

LEÃO, M. **Desempenho Térmico em Habitações Populares para Regiões de Clima Tropical**: Estudo de Caso em Cuiabá-MT. 2006. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente)–Departamento de Física. Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2006.

MELO, Ana Paula. **Análise da influência da transmitância térmica no consumo de energia de edificações comerciais**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MENEZES, M. S. **Avaliação do desempenho térmico de habitações sociais de Passo Fundo – RS**. 2006. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia). Faculdade de Engenharia e Arquitetura. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.

OLGYAY, Victor. **Arquitectura y Clima, manual de diseño bioclimático para arquitectos e urbanistas**. Editorial Gustavo Gili, 2002. Barcelona, Espanha.

ONSET, Computer Corporation. Disponível em: <<http://www.onsetcomp.com/>>. Acesso em: 27 junho 2011.

PAULUZZI. Produtos Cerâmicos. Disponível em: <<http://www.pauluzzi.com.br/>>. Acesso em: 22 junho 2011.

RAMALHO, M.;CORREA, M. R. S. **Projetos de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

RAUBER, F. C. **Contribuições ao projeto arquitetônico de edifícios em alvenaria estrutural**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

RIBEIRO, M. S. B. **Orientações para projetos arquitetônicos: funcionamento estrutural e particularidades do sistema em alvenaria estrutural**. 2010. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia de Estruturas). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

ROMAN, H. R.; MUTTI, C. N.; ARAÚJO, H. N. de. **Construindo em alvenaria estrutural**. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 1999.

RORIZ, M. **Conforto térmico em edificações: um modelo matemático e uma aplicação**. 1996. 185f. Tese (Doutorado em Arquitetura)–Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

ROSSETI, K. A. C. **Estudo do desempenho de coberturas verdes como estratégia passiva de condicionamento térmico dos edifícios na cidade de Cuiabá, MT**. 2009. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física. Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2009.

ROTTA, R. **Desempenho térmico de edificações multifamiliares de interesse social em conjuntos habitacionais na cidade de Santa Maria – RS**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

SABBATINI, F.H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária**. São Paulo: USP. 1984. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Escola Politécnica. Universidade São Paulo, São Paulo, 1984.

SÃO LEOPOLDO. Prefeitura Municipal de São Leopoldo. Disponível em: <<http://www.saoleopoldo.rs.gov.br/home/>>. Acesso em: 05 maio 2011.

SAOLEOPOLDO.NET. Disponível em: <<http://www.saoleopoldo.net/cidade.php>>. Acesso em: 05 maio 2011.

SOUZA, R. V. G.; PEREIRA, F. O. R. Módulo didático para avaliação de desempenho térmico de sistemas construtivos. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2004.

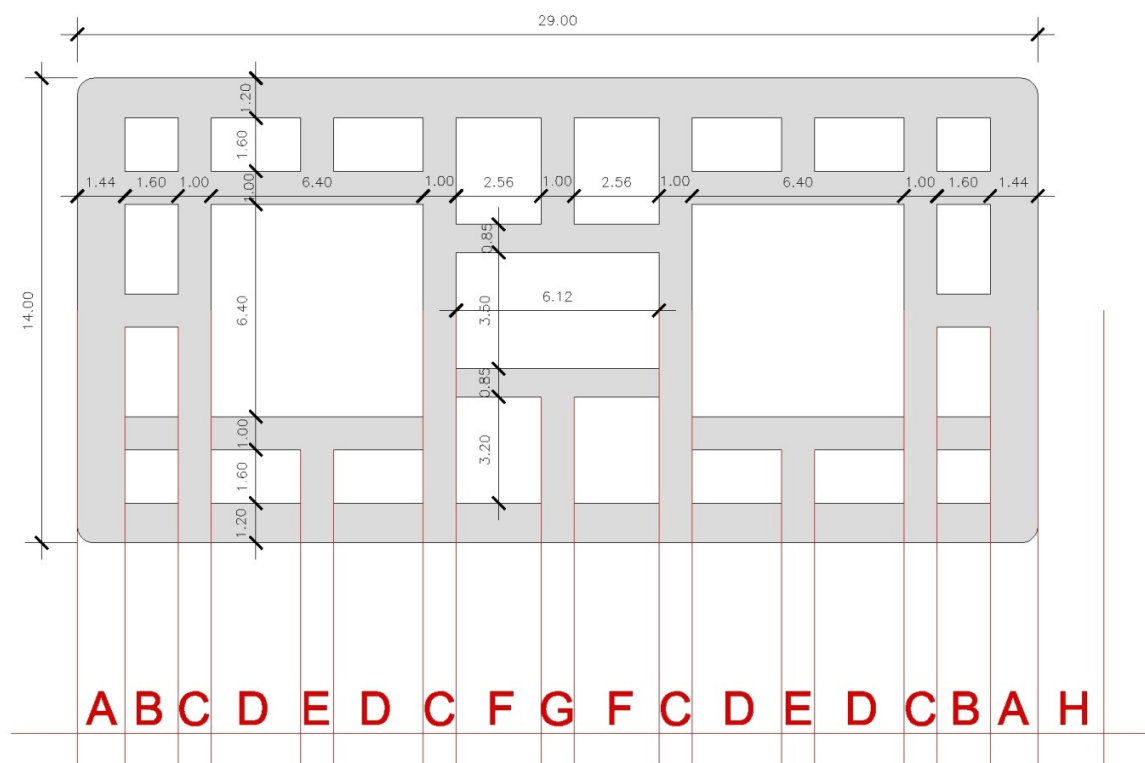
VIEIRA, M. J. F. A. **Técnicas construtivas ambientalmente adequadas**. 2008. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil)–Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto, Porto, 2008.

ZBBR. Zoneamento Bioclimático do Brasil. Disponível em:<<http://www.labee.ufsc.br/downloads/software/zbbr>>. Acesso em 3 março de 2011.

ANEXO

ANEXO 1 - Cálculo das propriedades térmicas do bloco estrutural cerâmico e do bloco estrutural de concreto conforme a NBR 15220-2

Seções do bloco estrutural cerâmico



Resistência térmica de cada seção

Seção A (Argamassa + Cerâmica)

$$A_a = 0,0144m \times 0,19m = 0,002736m^2$$

$$R_a = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} = \frac{0,04}{1,15} + \frac{0,14}{1,05} = 0,03478 + 0,1333 = 0,1681(m^2 \cdot K)/W$$

Seção B (Argamassa + Ar + Cerâmica)

$$A_b = 0,016m \times 0,19m = 0,00304m^2$$

$$R_b = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + 2 \cdot R_{ar_1} + 2 \cdot R_{ar_2}$$

$$R_b = \frac{0,04}{1,15} + \frac{0,54}{1,05} + 2 \cdot 0,14 + 2 \cdot 0,16$$

$$R_b = 0,03478 + 0,05142 + 0,28 + 0,32 = 0,6862(m^2 \cdot K)/W$$

Seção C (Argamassa + Cerâmica)

$$A_c = 0,01m \times 0,19m = 0,0019m^2$$

$$R_c = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} = R_a = 0,1681(m^2 \cdot K)/W$$

Seção D (Argamassa + Ar + Cerâmica)

$$A_d = 0,027m \times 0,19m = 0,00513m^2$$

$$R_d = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + 2 \cdot R_{ar_1} + R_{ar_3}$$

$$R_d = \frac{0,04}{1,15} + \frac{0,44}{1,05} + 2 \cdot 0,14 + 0,17 =$$

$$R_d = 0,03478 + 0,04190 + 0,28 + 0,17 = 0,5266(m^2 \cdot K)/W$$

Seção E (Argamassa + Ar + Cerâmica)

$$A_e = 0,01m \times 0,19m = 0,0019m^2$$

$$R_e = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + R_{ar_3}$$

$$R_e = \frac{0,04}{1,15} + \frac{0,076}{1,05} + 0,17$$

$$R_e = 0,03478 + 0,07238 + 0,17 = 0,2771(m^2 \cdot K)/W$$

Seção F (Argamassa + Ar + Cerâmica)

$$A_f = 0,0256m \times 0,19m = 0,004864m^2$$

$$R_f = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + 3 \cdot R_{ar_2}$$

$$R_f = \frac{0,04}{1,15} + \frac{0,040}{1,05} + 3 \cdot 0,16$$

$$R_f = 0,03478 + 0,03904 + 0,48 = 0,5538(m^2 \cdot K)/W$$

Seção G (Argamassa + Ar + Cerâmica)

$$A_g = 0,01m \times 0,19m = 0,0019m^2$$

$$R_g = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + R_{ar_2}$$

$$R_g = \frac{0,04}{1,15} + \frac{0,105}{1,05} + 0,16$$

$$R_g = 0,03478 + 0,1 + 0,16 = 0,2947(m^2 \cdot K)/W$$

Seção H (Argamassa)

$$A_h = 0,01m \times 0,3m + 0,01 \times 0,19m = 0,0049m^2$$

$$R_h = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}}$$

$$R_h = \frac{0,18}{1,15} = 0,1565 (m^2 \cdot K)/W$$

Resistência térmica da parede

$$R_t = \frac{(2 \cdot A_a) + (2 \cdot A_b) + (4 \cdot A_c) + (4 \cdot A_d) + (2 \cdot A_e) + (2 \cdot A_f) + A_g + A_h}{\frac{(2 \cdot A_a)}{R_a} + \frac{(2 \cdot A_b)}{R_b} + \frac{(4 \cdot A_c)}{R_c} + \frac{(4 \cdot A_d)}{R_d} + \frac{(2 \cdot A_e)}{R_e} + \frac{(2 \cdot A_f)}{R_f} + \frac{A_g}{R_g} + \frac{A_h}{R_h}}$$

$$R_t = \frac{0,0054 + 0,0060 + 0,0076 + 0,0205 + 0,0038 + 0,0097 + 0,0019 + 0,0049}{0,0325 + 0,0088 + 0,0452 + 0,0389 + 0,0137 + 0,0175 + 0,0064 + 0,0313}$$

$$R_t = \frac{0,06}{0,1946} = 0,3083 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Resistência térmica total

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$R_T = 0,13 + 0,3083 + 0,04 = 0,4783 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Transmitância térmica

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,4783} = 2,09 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Capacidade térmica de cada seção

Seção A (Argamassa + Cerâmica)

$$A_a = 0,0144\text{m} \times 0,19\text{m} = 0,002736\text{m}^2$$

$$C_{ta} = (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)_{\text{argamassa}} + (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)_{\text{cerâmica}}$$

$$C_{ta} = 0,04 \cdot 1.1932 + 0,14 \cdot 0,92 \cdot 1957 = 77,28 + 252,06 = 329,34 \text{ KJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Seção B (Argamassa + Ar + Cerâmica)

$$A_b = 0,016\text{m} \times 0,19\text{m} = 0,00304\text{m}^2$$

$$C_{tb} = (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)_{\text{argamassa}} + (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)_{\text{cerâmica}}$$

$$C_{tb} = 0,04 \cdot 1.1932 + 0,054 \cdot 0,92 \cdot 1957 = 77,28 + 97,22 = 174,50 \text{ KJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Seção C (Argamassa + Cerâmica)

$$A_c = 0,01m \times 0,19m = 0,0019m^2$$

$$C_{tc} = (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)_{\text{argamassa}} + (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)_{\text{cerâmica}}$$

$$C_{tc} = 0,04 \cdot 1.1932 + 0,14 \cdot 0,92 \cdot 1957 = 77,28 + 252,06 = 329,34 \text{ KJ}/(m^2 \cdot K)$$

Seção D (Argamassa + Ar + Cerâmica)

$$A_d = 0,027m \times 0,19m = 0,00513m^2$$

$$C_{td} = (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)_{\text{argamassa}} + (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)_{\text{cerâmica}}$$

$$C_{td} = 0,04 \cdot 1.1932 + 0,044 \cdot 0,92 \cdot 1957 = 77,28 + 79,21 = 156,49 \text{ KJ}/(m^2 \cdot K)$$

Seção E (Argamassa + Ar + Cerâmica)

$$A_e = 0,01m \times 0,19m = 0,0019m^2$$

$$C_{te} = (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)_{\text{argamassa}} + (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)_{\text{cerâmica}}$$

$$C_{te} = 0,04 \cdot 1.1932 + 0,076 \cdot 0,92 \cdot 1957 = 77,28 + 136,83 = 214,11 \text{ KJ}/(m^2 \cdot K)$$

Seção F (Argamassa + Ar + Cerâmica)

$$A_f = 0,0256m \times 0,19m = 0,004864m^2$$

$$C_{tf} = (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)_{\text{argamassa}} + (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)_{\text{cerâmica}}$$

$$C_{tf} = 0,04 \cdot 1.1932 + 0,041 \cdot 0,92 \cdot 1957 = 77,28 + 73,81 = 151,09 \text{ KJ}/(m^2 \cdot K)$$

Seção G (Argamassa + Ar + Cerâmica)

$$A_g = 0,01m \times 0,19m = 0,0019m^2$$

$$C_{tg} = (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)_{\text{argamassa}} + (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)_{\text{cerâmica}}$$

$$C_{tg} = 0,04 \cdot 1.1932 + 0,105 \cdot 0,92 \cdot 1957 = 77,28 + 189,04 = 266,32 \text{ KJ}/(m^2 \cdot K)$$

Seção H (Argamassa)

$$A_h = 0,01m \times 0,3m + 0,01 \times 0,19m = 0,0049m^2$$

$$C_{th} = (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i) \text{argamassa}$$

$$C_{th} = 0,18 \cdot 1.1932 = 347,76 \text{ KJ}/(m^2 \cdot K)$$

Capacidade térmica

$$C_T = \frac{(2 \cdot A_a) + (2 \cdot A_b) + (4 \cdot A_c) + (4 \cdot A_d) + (2 \cdot A_e) + (2 \cdot A_f) + A_g + A_h}{\frac{(2 \cdot A_a)}{c_{ta}} + \frac{(2 \cdot A_b)}{c_{tb}} + \frac{(4 \cdot A_c)}{c_{tc}} + \frac{(4 \cdot A_d)}{c_{td}} + \frac{(2 \cdot A_e)}{c_{te}} + \frac{(2 \cdot A_f)}{c_{tf}} + \frac{A_g}{c_{tg}} + \frac{A_h}{c_{th}}}$$

$$C_T = \frac{0,0054 + 0,0060 + 0,0076 + 0,0205 + 0,0038 + 0,0097 + 0,0019 + 0,0049}{1,66 \cdot 10^{-5} + 3,48 \cdot 10^{-5} + 2,30 \cdot 10^{-5} + 1,31 \cdot 10^{-4} + 1,77 \cdot 10^{-5} + 6,43 \cdot 10^{-5} + 7,13 \cdot 10^{-6} + 1,40 \cdot 10^{-5}}$$

$$C_T = \frac{0,06}{3,0900 \cdot 10^{-4}} = 194,17 \text{ KJ}/(m^2 \cdot K)$$

Atraso térmico

$$B_0 = C_T - C_{T_{ext}}$$

$$B_0 = 194,17 - 0,02 \cdot 1.1932 = 155,53$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t}$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{155,53}{0,30} = 0,226 \cdot 504,45 = 114,00$$

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1}$$

$$\varphi = 1,382 \cdot 0,30 \cdot \sqrt{114,00}$$

$$\varphi = 1,382 \cdot 0,30 \cdot 10,67$$

$$\varphi = 4,54 \text{ hrs}$$

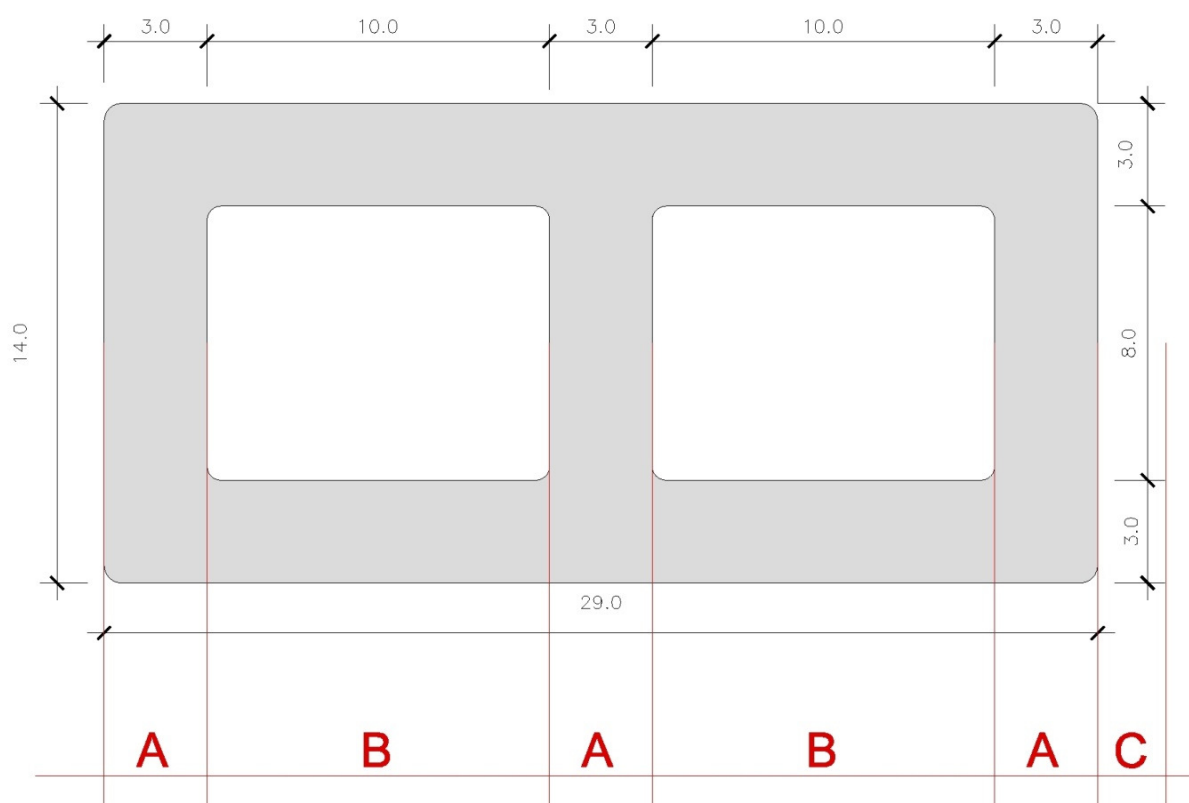
Fator Solar

$$F_{So} = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

$$F_{So} = 4 \cdot 2,09 \cdot 0,25$$

$$F_{So} = 2,09\%$$

Seções do bloco estrutural de concreto



Resistência térmica de cada seção

Seção A (Argamassa + Concreto)

$$A_a = 0,03m \times 0,19m = 0,0057m^2$$

$$R_a = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{concreto}}{\lambda_{concreto}} = \frac{0,04}{1,15} + \frac{0,14}{1,75} = 0,0347 + 0,08 = 0,1147(m^2 \cdot K)/W$$

Seção B (Argamassa + Ar + Concreto)

$$A_b = 0,1m \times 0,19m = 0,019m^2$$

$$R_b = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{concreto}}{\lambda_{concreto}} + R_{ar_3}$$

$$R_b = \frac{0,04}{1,15} + \frac{0,06}{1,75} + 0,17$$

$$R_b = 0,0347 + 0,0342 + 0,17 = 0,2390(m^2 \cdot K)/W$$

Seção C (Argamassa)

$$A_c = 0,01m \times 0,3m + 0,01m \times 0,19m = 0,0049m^2$$

$$R_c = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} = \frac{0,18}{1,15} = 0,1565(m^2 \cdot K)/W$$

Resistência térmica da parede

$$R_t = \frac{(3 \cdot A_a) + (2 \cdot A_b) + (A_c)}{\frac{(3 \cdot A_a)}{R_a} + \frac{(2 \cdot A_b)}{R_b} + \frac{(A_c)}{R_c}}$$

$$R_t = \frac{0,0171 + 0,038 + 0,0049}{0,1489 + 0,1589 + 0,0313}$$

$$R_t = \frac{0,06}{0,3391} = 0,1769 (m^2 \cdot K)/W$$

Resistência térmica total

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$R_T = 0,13 + 0,1769 + 0,04 = 0,3469 (m^2 \cdot K)/W$$

Transmitância térmica

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,3469} = 2,88 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Capacidade térmica de cada seção

Seção A (Argamassa + Concreto)

$$A_a = 0,03\text{m} \times 0,19\text{m} = 0,0057\text{m}^2$$

$$C_{ta} = (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)_{\text{argamassa}} + (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)_{\text{concreto}}$$

$$C_{ta} = 0,04 \cdot 1.1932 + 0,14 \cdot 1.2400 = 77,28 + 336 = 413,28 \text{ KJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Seção B (Argamassa + Ar + Concreto)

$$A_b = 0,1\text{m} \times 0,19\text{m} = 0,019\text{m}^2$$

$$C_{tb} = (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)_{\text{argamassa}} + (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)_{\text{concreto}}$$

$$C_{tb} = 0,04 \cdot 1.1932 + 0,06 \cdot 1.2400 = 77,28 + 144 = 221,28 \text{ KJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Seção C (Argamassa)

$$A_c = 0,01\text{m} \times 0,3\text{m} + 0,01\text{m} \times 0,19\text{m} = 0,0049\text{m}^2$$

$$C_{tc} = (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)_{\text{argamassa}}$$

$$C_{tc} = 0,18 \cdot 1.1932 = 347,76 \text{ KJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Capacidade térmica

$$C_T = \frac{(3 \cdot A_a) + (2 \cdot A_b) + (A_c)}{\frac{(3 \cdot A_a)}{C_{ta}} + \frac{(2 \cdot A_b)}{C_{tb}} + \frac{(A_c)}{C_{tc}}}$$

$$C_T = \frac{0,0171 + 0,038 + 0,0049}{4,13 \cdot 10^{-5} + 1,71 \cdot 10^{-4} + 1,40 \cdot 10^{-5}}$$

$$C_T = \frac{0,06}{2,27 \cdot 10^{-4}} = 264,32 \text{ KJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Atraso térmico

$$B_0 = C_T - C_{T_{ext}}$$

$$B_0 = 264,09 - 0,02 \cdot 1.1932 = 225,45$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t}$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{225,45}{0,17} = 288,03$$

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1}$$

$$\varphi = 1,382 \cdot 0,17 \cdot \sqrt{288,03}$$

$$\varphi = 1,382 \cdot 0,17 \cdot 16,97$$

$$\varphi = 4,19 \text{ hrs}$$

Fator Solar

$$F_{So} = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

$$F_{So} = 4 \cdot 2,09 \cdot 0,25$$

$$F_{So} = 2,09\%$$