

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS EXECUTADAS EM PAREDES DE CONCRETO: UM ESTUDO DE CASO EM CASCAVEL – PR

PIAMOLINI, Analice.¹
RAMOS, Bruna Aparecida.²
DE LACERDA, Izan Gomes.³

RESUMO

Devido ao grande crescimento da utilização do método construtivo de paredes executadas em concreto armado, fez-se necessário um estudo sobre o conforto térmico que o sistema proporciona a quem nele residir. O presente artigo tem como objetivo apresentar se o conforto térmico de edificações residenciais executadas em paredes de concreto armado moldado *in loco* atendem os requisitos estipulados pela NBR 15220 (2003) e 15575 (2013), através do levantamento das variações de temperatura interna e externa dos quatro apartamentos dos andares 1º, 4º, 5º e 11º de um edifício executado com este sistema, situado na cidade de Cascavel-PR, com auxílio de termômetros e posterior comparação dos resultados obtidos *in loco* com os resultados de cálculo. Os resultados apontaram que o comportamento térmico da edificação apresentou desempenho térmico satisfatório.

PALAVRAS-CHAVE: Conforto térmico, Zoneamento climático, NBR 15220, Paredes de concreto.

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da evolução, o ser humano sempre buscou maneiras de manter seu corpo em temperatura regular, por meio de fogo, cavernas e mantas feitas com a pele de animais. Ao longo da evolução humana, foram desenvolvidos mecanismos e/ou sistemas de proteção contra toda variação climática (BATIZ; GOEDERT; MORSCH; KASMIRSKI-JR; VENSKE; 2009).

Segundo Ashrae (2001), “conforto térmico é o estado da mente que expressa satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda”, a insatisfação com o ambiente pode causar danos à produtividade humana.

As edificações sempre tiveram o importante papel de proteger o ser humano das intempéries e das variações climáticas, por isso, se a edificação for devidamente projetada para o clima local haverá economia de energia e bem estar para quem nela residir.

O sistema construtivo em paredes de concreto se resume a um elemento executado através de montagem de fôrmas que são posteriormente preenchidas com concreto. Sendo assim a estrutura é

¹Acadêmica do 10º Período de Engenharia Civil do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz. E-mail: anapiamolini@gmail.com

²Acadêmica do 10º Período de Engenharia Civil do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz. E-mail: engbruramos@gmail.com

³Engenheiro Civil e Mestre em Engenharia Civil do Curso Superior de Engenharia Civil do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz. E-mail: izanlacerda@gmail.com

composta por um único elemento, onde as instalações elétricas, hidráulicas e esquadrias podem ser embutidas no mesmo. Esse sistema chegou ao Brasil por meados da década de 70 e 80, porém no início, devido à baixa demanda, o método acabou sendo pouco utilizado. Hoje, devido aos programas habitacionais, o sistema construtivo voltou a ser muito procurado, pois proporciona maior produtividade, economia e qualidade (ABCP, 2008).

O Brasil possui uma diversidade climática que varia de climas frios e úmidos a quentes e seco-úmidos (GALVANI, S/D).

O clima do Brasil é dividido em: equatorial, que é predominante na região da amazônica, com temperatura variante de 24° C à 26° C; tropical, com predominância na região do planalto central, Nordeste e Sudeste, tem como característica principal o inverno frio e seco e o verão quente e úmido, sua temperatura média é de 20° C; tropical de altitude, predominante na região alta do Planalto Atlântico do Sudeste, norte do Paraná e sul do Mato Grosso do Sul, com temperatura variante de 18° C à 22° C; tropical atlântico, com predominância na região litorânea do Rio Grande do Norte e Paraná, com temperatura variante de 18° C à 26° C; semiárido, com predominância na região do sertão nordestino e no trecho baiano do vale do Rio São Francisco, sua temperatura média é de 27° C; subtropical, mais predominante na região de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul e os Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, com temperatura média é de 18° C (GALVANI, S/D).

O Brasil ainda é dividido em oito zonas bioclimáticas, que auxiliam na formulação de diretrizes construtivas, indicando as estratégias de condicionamento térmico passivo. A divisão do zoneamento é dada por meio da posição geográfica, das médias mensais das temperaturas máximas, das médias mensais das temperaturas mínimas e das médias mensais das umidades relativas do ar (NBR 15220, 2003).

As principais diretrizes para o zoneamento 3, que se refere ao local da edificação analisada, se encontram na NBR 15220 (2003).

A partir da obtenção dos dados estipulados pela NBR 15220 (2003), analisa-se ainda a carta bioclimática baseada nos estudos de Givoni, da década de 1990, que é adequada para países em desenvolvimento.

Através do disposto na NBR 15220 (2003) e NBR 15575 (2013), será respondido se o desempenho térmico de edificações residenciais feitas em paredes de concreto armado moldados *in loco* atende os requisitos estipulados pela norma.

Os objetivos da pesquisa são de levantar a variação de temperatura interna e externa de edificações residenciais executadas com paredes de concreto e comparar os resultados obtidos *in loco* com os resultados de cálculo.

Justifica-se este artigo devido à necessidade da verificação de conforto térmico de uma edificação residencial constituída em paredes de concreto, para analisar se ela atende as diretrizes estipuladas na NBR 15220 (2003) e NBR 15575 (2013), e se apresenta um resultado satisfatório.

Este estudo está limitado a medições de temperaturas internas dos quatro apartamentos, dos andares 1º, 4º, 5º e 11º, do bloco 1, também serão medidas as temperaturas externas das quatro faces do mesmo, para verificar a variação de temperatura interna e externa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PAREDE DE CONCRETO MOLDADA IN LOCO

É definida como um elemento estrutural autoportante, que é moldada *in loco*, e possui o comprimento maior que dez vezes sua espessura e capaz de suportar carga, no mesmo, como parede (NBR 16055, 2012).

Por meados da década de 80, com intuito de facilitar a produção e reduzir os custos de habitações no período da execução, deu-se início a busca por sistemas inovadores, levando em conta tais requisitos o sistema de paredes de concreto moldadas *in loco* acabou se destacando (SACHT; ROSSIGNOLO; BUENO; 2011).

O primeiro a reconhecer o potencial deste método e utilizá-lo em projetos de habitações feitas inteiramente de concreto foi Thomas Edison (1910) (BALTOKOSKI, 2015).

Inicialmente esse método construtivo não se aplicava no Brasil, devido às limitações financeiras do país. Entretanto o sistema ficou mundialmente conhecido nas décadas de 1970 e 1980, com as construções industrializadas em concreto celular no sistema Gethal e concreto convencional pelo sistema Outinord (MASSUDA e MISURELLI, 2009).

Com o passar dos anos o sistema construtivo em paredes de concreto começou a ser mais procurado no Brasil. Isso se deve aos programas habitacionais públicos que ampliaram o número de moradias populares (CARVALHO, 2012).

O método dispõe de fôrmas moldadas *in loco* preenchidas em concreto celular ou convencional, com as instalações hidráulicas e elétricas embutidas no mesmo e conta como a principal característica de que a vedação e a estrutura estão constituídas em um único elemento (CARVALHO, 2012).

De acordo com Justus (2009), o sistema construtivo de paredes de concreto pode reduzir o tempo de construção de uma casa, que levaria setenta dias com alvenaria comum, para vinte dias no sistema. Isso se deve ao fato dele proporcionar maior produtividade, qualidade e economia. O desperdício de material e de mão-de-obra com retrabalhos não ocorre neste sistema, levando em conta que o mesmo é constituído através da industrialização de materiais e equipamentos, mecanização, modulação e controle tecnológico.

De acordo com Massuda e Misurelli (2009), outra grande vantagem do sistema é que não se faz necessário à utilização de mão de obra qualificada para execução dos serviços de armação, instalações, montagem, concretagem e desforma. Isso se deve ao fato de ser utilizadas fôrmas reaproveitáveis, sendo assim reduz até mesmo o impacto ambiental da obra.

De acordo com a ABNT NBR 16055, (2012), o sistema de fôrmas é composto de estruturas provisórias, cujo objetivo é moldar o concreto fresco, que são compreendidos por painéis de fôrmas, escoramento, aprumadores e andaimes, incluindo seus apoios, bem como, as uniões entre os diversos elementos.

As fôrmas que irão moldar o concreto devem ser estanques e manter rigorosamente a geometria das peças que estão sendo moldadas, pois são instaladas logo após a execução das fundações para que assim formem as chamadas de paredes estruturais (CARVALHO, 2012).

Para armação das paredes de concreto utiliza-se tela soldada, que fica posicionada no eixo vertical da parede. Ainda são utilizados alguns reforços em bordas, vãos de portas e janelas. Para esses reforços utilizam-se telas ou barras de armadura convencional (CARVALHO, 2012).

Segundo Massuda (2009), deve-se seguir estes três requisitos básicos em relação à armadura: resistir a esforços de flexotorção nas paredes, controlar a retração do concreto, estruturar e fixar as tubulações de elétrica, hidráulica e gás. Tudo isso para o correto posicionamento das tubulações hidráulicas e elétricas, da armadura, para garantir a cobertura mínima de concreto e para posteriormente evitar futuras fissuras e eventuais exposições da armadura, são utilizados espaçadores na armação.

O concreto celular tem como sua principal vantagem possuir a função de obter menores valores de transmitância térmica com a mesma espessura de parede, isso se deve ao fato de ter menor condutividade térmica que o concreto convencional, devido às bolhas de ar incorporadas na mistura. Ainda se pode citar mais algumas vantagens, como a alta trabalhabilidade, boa fluidez, dispensa vibração, velocidade de execução e reutilização das fôrmas. Devido a tudo isso o sistema tem sido muito utilizado no Brasil em vedações verticais, em blocos de alvenaria e painéis monolíticos (SACHT 2008).

2.2 CLIMA BRASILEIRO

O Brasil está localizado entre as altitudes que são denominadas de trópicos. Esses trópicos que delimitam a maior região de incidência solar, que é a região tropical (BRASIL, 2002).

Devido as suas dimensões continentais, o Brasil possui muitos estados que são interceptados pelos trópicos de Câncer e de Capricórnio, ou que estão entre os dois trópicos e são atendidos pelo clima Tropical e suas variações. O país apresenta considerável tipologia climática devido a sua extensão geográfica, elementos atmosféricos e fatores geográficos inerentes à América do Sul e ao Brasil. Os cinco macrotipos climáticos do Brasil são: clima equatorial, clima tropical equatorial, clima tropical litorâneo, clima tropical úmido seco ou tropical do Brasil Central e clima subtropical úmido (RIBEIRO, 2013).

Segundo Koppen e Geiger (2013), a região da cidade de Cascavel está localizada sobre o clima classificado como Cfa - Clima Temperado com Verão Ameno, e possui uma temperatura média de 18,2° C e pluviosidade média de 1822 mm.

O clima subtropical úmido é controlado por massas tropicais e polares, caracterizado pela maior regularidade na distribuição anual da pluviometria, que varia entre 1.250 a 2.000 mm, associada a baixas temperaturas de inverno, que variam de 14° C a 22° C, podendo cair a 10° C em locais elevados. Especialmente em julho as médias variam de 10° C a 15° C, e são registradas temperaturas absolutas negativas. No verão as temperaturas variam de 26° C a 30° C e nos vales as temperaturas absolutas atinge em 40° C (MEDONÇA; OLIVEIRA, 2007).

2.3 ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO

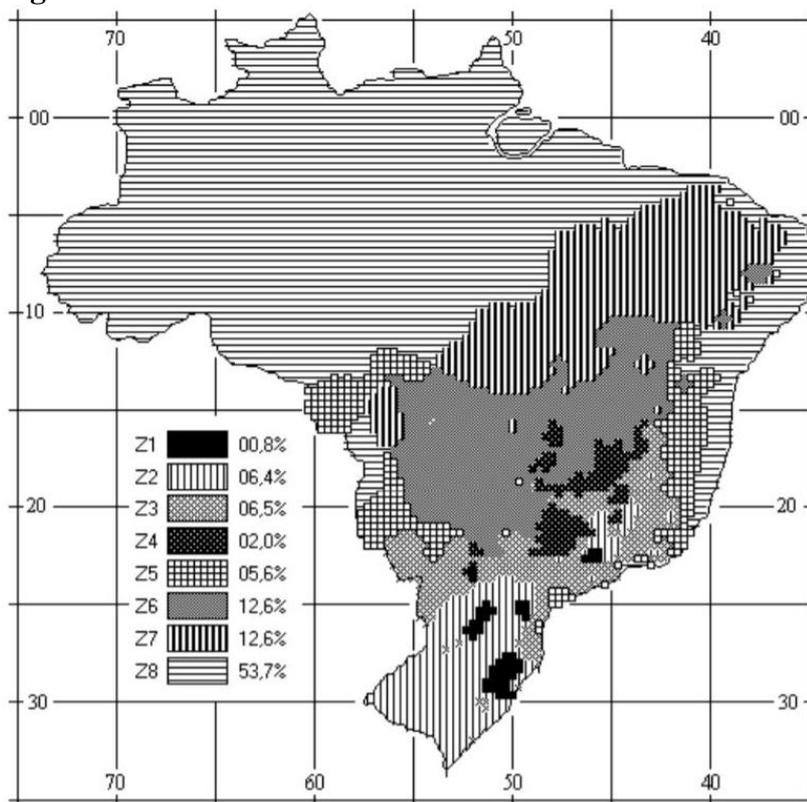
O Zoneamento Bioclimático brasileiro foi criado para padronizar o clima em relação à análise térmico dos ambientes (AKUTSU *et al*, 2005).

Segundo Roriz (1999 *apud* DUMKE, 2002, p. 68), o zoneamento bioclimático tem por finalidade adequar as edificações ao clima, melhorando seu desempenho térmico.

A norma NBR 15220 (2003), propõe a divisão do território brasileiro em oito zonas bioclimáticas relativamente homogêneas quanto ao clima. Ela ainda define estratégias e recomendações de técnicas construtivas para as habitações. Essas técnicas são requisitos mínimos de projeto que proporcionam condições aceitáveis de conforto térmico. As diretrizes construtivas dizem respeito a aspectos como: sombreamento das aberturas nas diferentes estações do ano, aberturas para ventilação em função da área do piso e estratégias de condicionamento térmico passivo.

A Figura 1 apresenta o mapa do Brasil dividido nas oito zonas bioclimáticas, e os números junto à legenda indicam os percentuais territoriais correspondentes a cada clima.

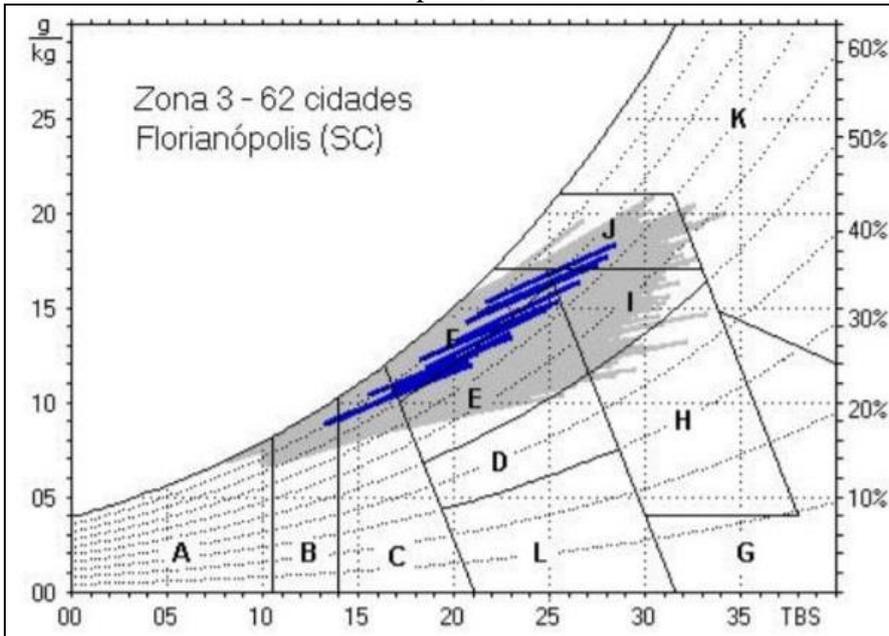
Figura 1 - Zoneamento bioclimático brasileiro.



Fonte: NBR 15220 (2003).

A Figura 2 apresenta a carta bioclimática da Cidade de Cascavel, que está inserida na zona bioclimática 3.

Figura 2 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Florianópolis, SC.



Fonte: NBR 15220 (2003).

A Figura 3 nos apresenta as estratégias de condicionamento térmico indicadas para cada zona bioclimáticas.

Figura 3 - Zonas Bioclimáticas e suas estratégias de condicionamento térmico.

Zona	Estratégia de condicionamento térmico
A	zona de aquecimento artificial (calefação)
B	zona de aquecimento solar passivo
C	zona de massa térmica para aquecimento
D	zona de conforto térmico (baixa umidade)
E	zona de conforto térmico
F	zona de umidificação
G + H	zona de resfriamento evaporativo
H + I	zona de massa térmica para resfriamento
I + J	zona de ventilação
K	zona de ar-condicionado
L	zona de umidificação do ar

Fonte: NBR 15220 (2003).

A presente pesquisa se desenvolve na Zona Bioclimática 3, correspondente a 6,5% do território nacional.

2.4 DESEMPENHO TÉRMICO

O ser humano é extremamente vulnerável às variáveis climáticas, podendo o clima afetar diretamente na saúde humana, e resultar em algumas doenças, e apresentar no ser humano estado de cansaço e/ou fadiga e desconforto. São vários os elementos do clima que podem afetar as funções fisiológicas do homem, entre eles estão, a temperatura, o vento, a radiação, a umidade e a pressão atmosférica (RODRIGUES, 2010).

O desempenho térmico de uma edificação residencial está ligado às condições de implantação, posição em relação ao sol da manhã e sol da tarde, altitude em que está localizada, zona bioclimática entre outros, e para que haja um conforto térmico desejável devem-se observar rigorosamente todas as condições (BALOKOSKI, 2015).

De acordo com Roriz (2013), para que haja um bom desempenho térmico, deve-se ainda verificar as características do material de execução como: resistência térmica, onde está determina a intensidade de troca de calor com o ambiente interno e o externo; capacidade térmica, onde está determina a quantidade de calor que o ambiente precisa receber para alterar sua temperatura.

O mínimo exigido referente ao desempenho térmico de residências com paredes de concreto armado são os seguintes: devem possuir pé direito mínimo de 2,5 m de piso a teto; ter espessura mínima das paredes de 10 cm; possuir telhado feito de telhas de fibrocimento, telhas de concreto ou telhas cerâmicas; ter a espessura mínima das lajes de 10 cm; presença de ático entre a laje horizontal e o telhado com altura mínima de 50 cm; ter as faces externas das paredes em cores com tonalidades médias ou claras para a zona bioclimática Z3 (NBR 15220, 2003).

Segundo Roriz (2013), o fator solar é o conjunto de algumas propriedades com relação à radiação solar, sendo esta propagada por ondas eletromagnéticas. As propriedades são: A refletância que depende da cor e do polimento da superfície específica e quanto da radiação solar componente irão refletir; a transmitância a radiação solar que só tem valor para superfícies transparentes ou translúcidas; a absortância a radiação solar, que como o nome diz é a capacidade de o componente absorver a radiação solar e transformar em calor.

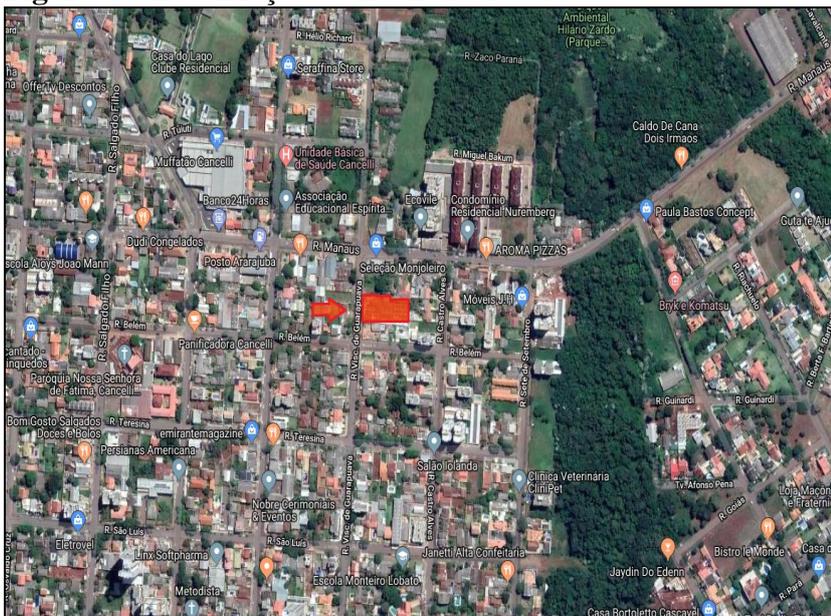
3 METODOLOGIA

3.1 TIPO DE ESTUDO E LOCAL DA PESQUISA

Trata-se da realização de medições de temperaturas internas e externas, com auxílio de termômetros e posterior realização de cálculos referente a conforto térmico de edificações residenciais feitas em paredes de concreto.

O estudo foi realizado no Ed. Bonsai Gold 3, que fica situado na Rua Visconde de Guarapuava, 3090, Bairro Cancelli, Cascavel-PR, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Localização do Ed. Bonsai Gold 3.



Fonte: GeoPortal, (2019).

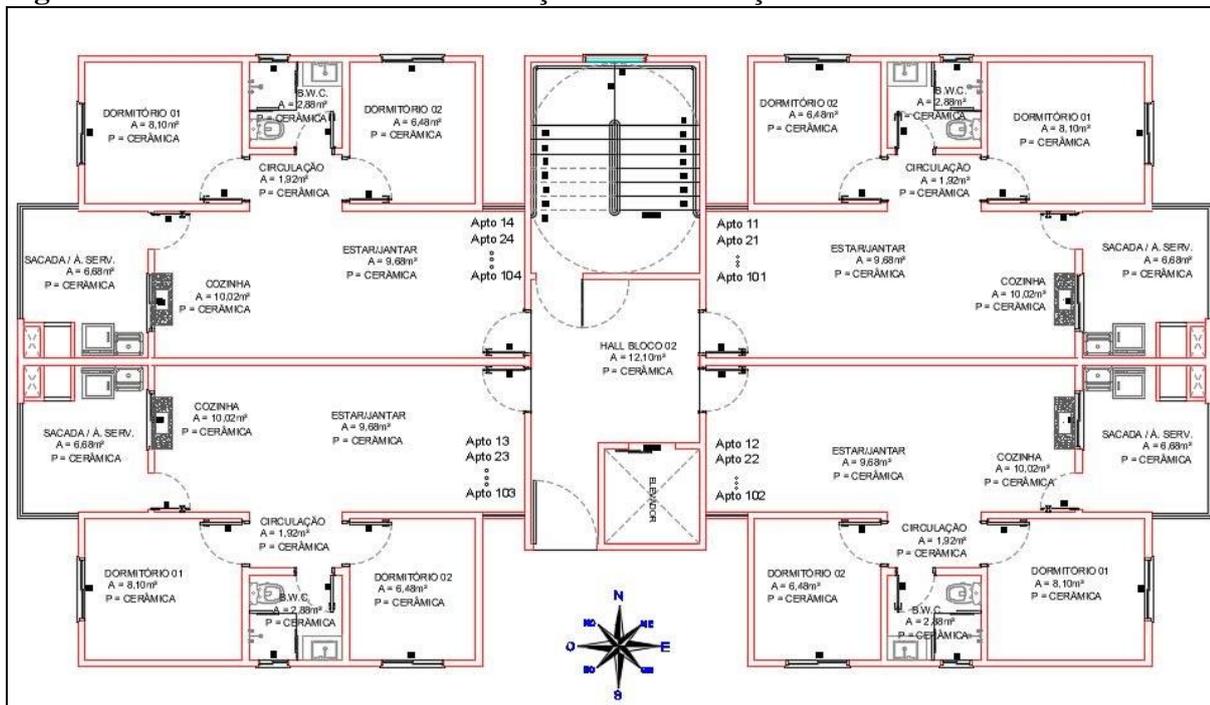
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

O presente estudo foi realizado no estado do Paraná, na região sul do Brasil, na cidade de Cascavel, que está situada na região oeste do estado. A cidade possui uma área de 2100.8 km², está a 782 metros de altitude e com as seguintes coordenadas geográficas: “Latitude de 24° 57’ 20” Sul, “Longitude de 53° 27’ 19” Oeste (CIDADE-BRASIL, 2018).

O Edifício Bonsai Gold 3 é constituído por dois blocos residenciais com uma distância de 6,00 metros um do outro, cada bloco possui quatro apartamentos tipo por andar, sendo onze andares no total. No último pavimento encontra-se o salão de festas, cozinha, brinquedoteca e dois banheiros P.N. E, e ainda conta com dois apartamentos tipo. Portanto cada bloco dispõe de 42 unidades de apartamentos. Os edifícios possuem entrada única para pedestres pelo eixo do mesmo e também dispõe de dois acessos para veículos.

Cada bloco conta com quatro apartamentos por andar. Os de final 1 e 2 ficam com sua fachada principal para o Leste (E) e os finais 3 e 4 ficam com sua fachada principal para o Oeste (W). Cada apartamento dispõe de dois dormitórios, banheiro social, circulação, sacada e sala de jantar com cozinha conjugada. Eles possuem uma área privativa de 48,00 m² cada. Os apartamentos de final 1 e 2 são separados dos de final 3 e 4 pela escadaria de incêndio, elevador e circulação, como pode ser observado na Figura 5.

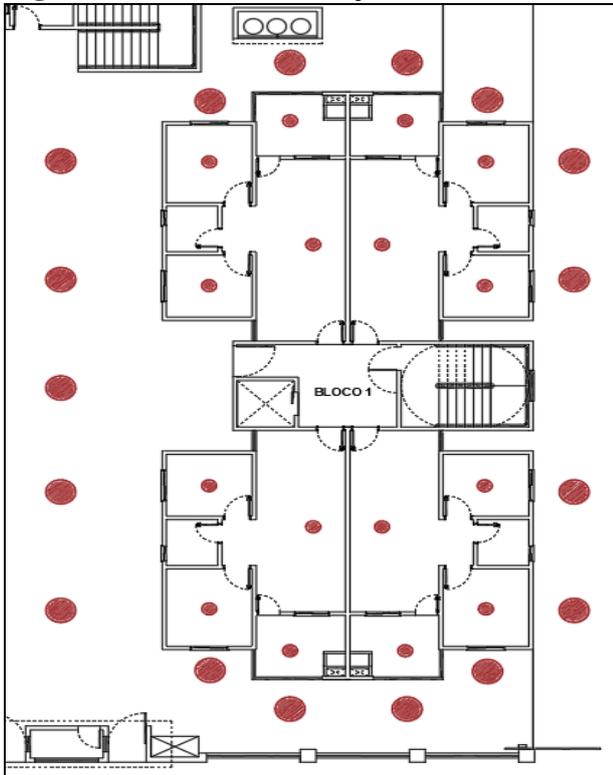
Figura 5 – Planta baixa do bloco em relação a sua orientação.



Fonte: Projeto Arquitetônico – Szymanski&Favero, (2017).

Através da Figura 6 observa-se o entorno da edificação. A fachada oeste encontra-se voltada para Rua Visconde de Guarapuava e as fachadas norte, sul e leste possuem edificações baixas no seu entorno.

Figura 7 – Pontos de medição.



O edifício chamado de Bloco 1 encontra-se em execução de chapisco e emboço, já o bloco 2 não possui nada executado.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

Todos os dados levantados a partir das medições *in loco* foram comparados com os dados obtidos através da NBR 15220 (2003) e NBR 15575 (2013).

3.5 CÁLCULOS DE CONFORTO TÉRMICO

O edifício em questão pertence à zona bioclimática 3, o limite de transmitância térmica para este zoneamento é de $U \leq 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ (NBR 15575-4, 2013).

O limite de capacidade térmica para o zoneamento 3 é de $CT > 130 \text{ Kj/m}^2\text{.k}$ (NBR 15575-4, 2013).

Inicialmente calcula-se a resistência térmica total (RT), através da Equação 1.

(1)

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

Onde:

R_{si} = Resistência superficial interna

R_t = Resistência térmica das camadas que compõe do fechamento

R_{se} = Resistência superficial externa

Sendo a direção do fluxo de calor horizontal para ambos, os valores de R_{si} e R_{se} são respectivamente $0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K) /W}$ e $0,4 \text{ (m}^2\cdot\text{K) /W}$.

Para determinar a resistência térmica da camada de fechamento, precisa-se resolver a Equação 2:

(2)

$$R = e / \lambda$$

Onde:

e = Espessura

λ = Condutividade térmica

Os valores de condutividade térmica de cada material encontram-se na tabela B.3 da NBR 15220 (2003).

Depois de encontrado o valor da resistência térmica total deve-se calcular a transmitância térmica ($U = (W/m^2\cdot k)$) do fechamento, com a utilização da Equação 3.

(3)

$$U = \frac{1}{RT}$$

Em seguida calcula-se a capacidade térmica ($CT = \text{Kj/m}^2\cdot\text{k}$) do fechamento, com o auxílio da Equação 4:

(4)

$$CT = e * c * \rho$$

Onde:

e = espessura (m)

c = calor específico (Kj/(Kg.K))

ρ = densidade do material (Kg/m³)

Para obter a densidade do fluxo de ar em uma residência, considerando ambientes com temperatura interior maior que a exterior (Período do inverno), utiliza-se a Equação 5.

(5)

$$q = U * \Delta t$$

Onde:

q = densidade do fluxo de calor (W/m²)

U = transmitância térmica (W/m²K)

Δt = diferença entre as temperaturas interior e exterior (K).

Já em épocas em que se tem a temperatura da superfície externa maior que a temperatura do ar (Período do verão), utiliza-se a Equação 6 para o fluxo de ar:

(6)

$$q = U * (t_{sol-ar} + t_{ext} - t_{int}) \text{ e } t_{sol-ar} = \alpha * I * R_{se}$$

Onde:

α = absorvidade da superfície externa do fechamento

I = radiação solar (W/m²)

R_{se} = resistência superficial externa (m²K/W)

Para determinação da radiação solar serão utilizadas as Tabelas 2, 3 e 4, que apresentam os dados de radiação solar incidente.

Tabela 2 - Dados de Radiação Solar Incidente (I_g) sobre Planos Verticais e Horizontais (W/m^2).
 Latitude: 25° Sul.

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

Fonte: Gonçalves e LNEC.

Tabela 3 - Dados de Radiação Solar Incidente (I_g) sobre Planos Verticais e Horizontais (W/m^2).
 Latitude: 25° Sul.

S	0	28	45	53	60	63	65	63	60	53	45	28	0	março 22 / setembro 22
SE	16	283	376	300	146	63	65	63	60	53	45	28	0	
E	23	437	665	659	528	314	65	63	60	53	45	28	0	
NE	16	351	591	669	636	524	362	169	60	53	45	28	0	
N	0	76	198	314	406	464	485	464	406	314	198	76	0	
NW	0	28	45	53	60	169	362	524	636	669	591	351	16	
W	0	28	45	53	60	63	65	314	528	659	665	437	23	
SW	0	28	45	53	60	63	65	63	146	300	376	283	16	
H	0	153	404	659	856	973	1016	973	856	659	404	153	0	

Fonte: Gonçalves e LNEC.

Tabela 4 - Dados de Radiação Solar Incidente (I_g) sobre Planos Verticais e Horizontais (W/m^2).
 Latitude: 25° Sul.

S	—	5	30	45	50	53	53	53	50	45	30	5	—	junho 21
SE	—	22	106	49	50	53	53	53	50	45	30	5	—	
E	—	54	389	492	410	263	53	53	50	45	30	5	—	
NE	—	58	461	673	699	644	518	360	190	45	30	5	—	
N	—	28	281	487	608	688	711	688	608	487	281	28	—	
NW	—	5	30	45	190	360	518	644	699	673	461	58	—	
W	—	5	30	45	50	53	53	263	410	492	389	54	—	
SW	—	5	30	45	50	53	53	53	50	49	106	22	—	
H	—	12	168	357	463	526	538	526	463	357	168	12	—	

Fonte: Gonçalves e LNEC.

Uma vez obtida o valor do fluxo de calor (q), pode-se determinar o fluxo de calor que atravessa certa área do material, com a Equação 7.

(7)

$$Q = q * A$$

Onde:

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

A = área do fechamento em questão (m^2)

Para fechamentos transparentes (Vidros) se faz necessário mais alguns cálculos, começando pelo fator solar, representado pela Equação 8.

(8)

$$F_s = \tau + (U * \alpha * R_{se})$$

Onde:

F_s = fator solar

τ = transmissividade do vidro

U = transmitância térmica do vidro (W/m^2K)

α = absortividade da superfície externa do fechamento

R_{se} = resistência superficial externa

Após a obtenção do fator solar (F_s) calcula-se então a densidade de fluxo de calor, por meio da Equação 9.

(9)

$$q = U * (t_{ext} - t_{int}) + F_s * I \quad \text{ou} \quad q = U * \Delta t + F_s * I$$

Onde:

F_s = fator solar

t_{ext} = temperatura do ambiente exterior

t_{int} = temperatura do ambiente interior

U = transmitância térmica do vidro (W/m^2K)

Para finalização dos cálculos, utilizam-se as Equações 10, 11 e 12 de fluxo total:

(10)

$$Q_{PAREDE} = q_{PAREDE} * A_{PAREDE}$$

(11)

$$Q_{ABERTURA} = q_{ABERTURA} * A_{ABERTURA}$$

(12)

$$Q_{TOTAL} = Q_{PAREDE} + Q_{ABERTURA}$$

Foram ainda verificado os valores de referência para o desempenho térmico, sendo divididos em mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.

Níveis de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
I	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^\circ \text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1^\circ \text{C})$
S	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^\circ \text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^\circ \text{C})$ e $T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^\circ \text{C})$

Ti,max é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;
Te,max é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;
Ti,min é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;
Te,min é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;
NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3

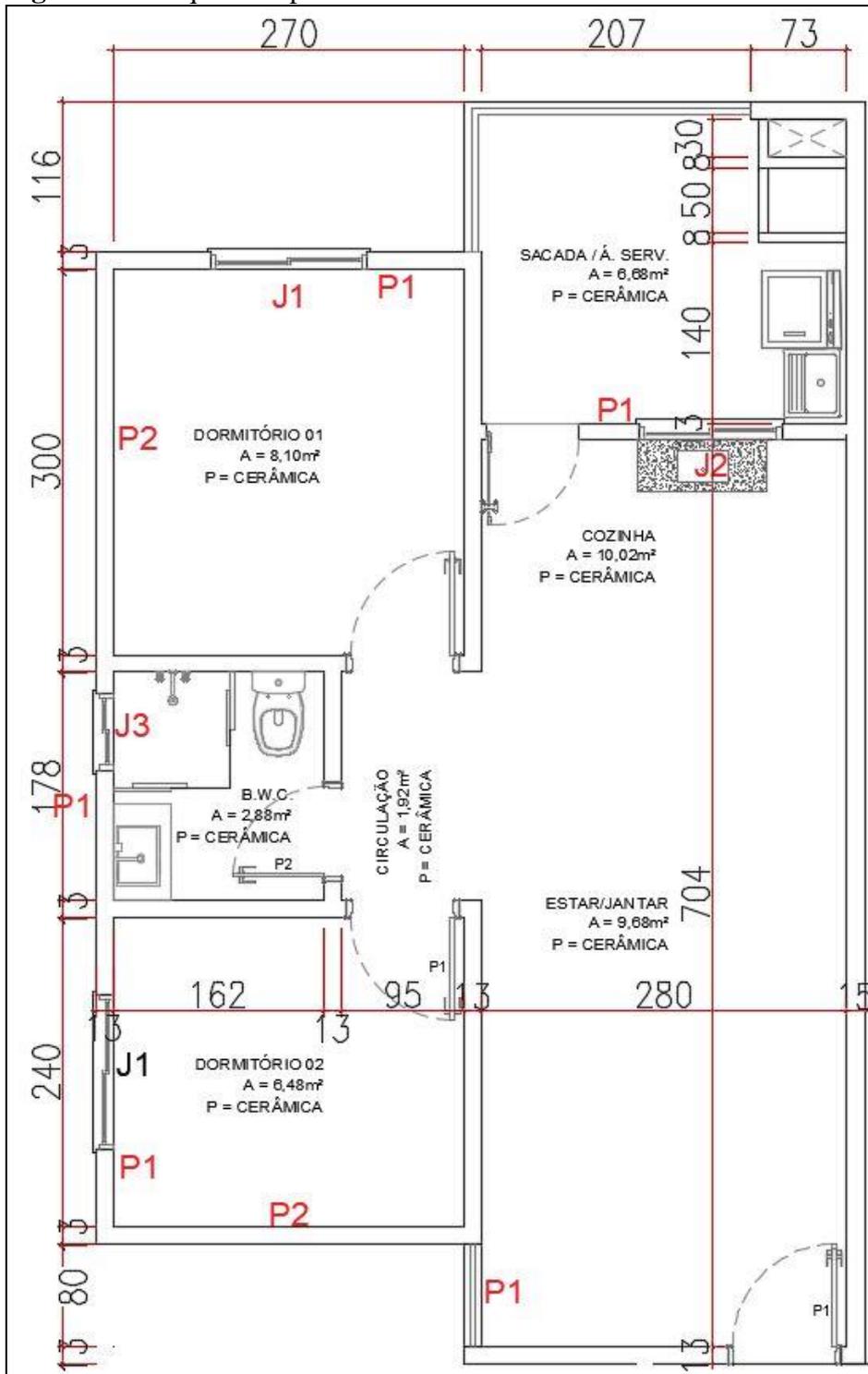
Fonte: NBR 15575-1 (2013).

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir da coleta de dados iniciaram-se os cálculos de conforto térmico do edifício em questão.

A Figura 8 nos apresenta o croqui dos apartamentos final 1.

Figura 8 - Croqui dos apartamentos final 1.



A partir da planta baixa foi desenvolvida a Tabela 6 que apresenta a orientação de cada parede, de cada janela e suas respectivas áreas. As áreas para as paredes e janelas não se alteram, somente a orientação.

Tabela 6 - Áreas e orientação das paredes e janelas.

Dormitório 01							
Parede	Área de parede	Janelas	Área de janela	Orientação			
Áreas são iguais em todos os apartamentos				Final 1	Final 2	Final 3	Final 4
P1	5,85	J1	1,44	Leste	Leste	Oeste	Oeste
P2	8,1	-	0	Norte	Sul	Sul	Norte
BWC							
Parede	Área de parede	Janelas	Área	Orientação			
Áreas são iguais em todos os apartamentos				Final 1	Final 2	Final 3	Final 4
P1	4,446	J3	0,36	Norte	Sul	Sul	Norte
Dormitório 02							
Parede	Área de parede	Janelas	Área	Orientação			
Áreas são iguais em todos os apartamentos				Final 1	Final 2	Final 3	Final 4
P1	5,04	J1	1,44	Norte	Sul	Sul	Norte
P2	6,021	-	0	Oeste	Oeste	Leste	Leste
Cozinha							
Parede	Área de parede	Janelas	Área	Orientação			
Áreas são iguais em todos os apartamentos				Final 1	Final 2	Final 3	Final 4
P1	6,24	J2	1,32	Leste	Leste	Oeste	Oeste
Sala							
Parede	Área de parede	Janelas	Área	Orientação			
Áreas são iguais em todos os apartamentos				Final 1	Final 2	Final 3	Final 4
P1	0,68	J4	1,48	Norte	Sul	Sul	Norte

A coleta de dados ocorreu nos dias 03, 10 e 25 de setembro de 2019, de acordo com o AccuWeather 2019, os valores mínimos e máximos de temperaturas para estas respectivas datas estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores mínimos e máximos de temperatura.

Data	Horário	Temperatura mínima	Temperatura máxima
03/09/2019	17 h	16 °C	25 °C
10/09/2019	17 h	24 °C	33 °C
25/09/2019	17 h	17 °C	24 °C

Através das medições *in loco* obteve-se os valores de temperaturas internas e externas conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Temperaturas coletadas.

Data	Ap.	Tin °C	Tex °C	Δt	Data	Tin °C	Tex °C	Δt	Data	Tin °C	Tex °C	Δt
03/09/2019	11	23,5	24	0,5	10/09/2019	31,9	33	1,1	25/09/2019	28,1	29	0,9
	12	22,5	23,5	1		32	33,5	1,5		28,5	30	1,5
	13	23,4	24,2	0,8		32,4	33,2	0,8		29,4	31,2	1,8
	14	23,4	24,1	0,7		32,5	33,4	0,9		29	30,2	1,2
	41	23,3	24	0,7		32,8	33,7	0,9		29,3	30,1	0,8
	42	22,3	23,5	1,2		32,9	34	1,1		29	29,9	0,9
	43	23,3	24	0,7		32,9	34	1,1		29,9	31,4	1,5
	44	23,3	24,2	0,9		32,9	34	1,1		29,9	31,2	1,3
	51	22,2	23,6	1,4		33	34,2	1,2		29,9	31,2	1,3
	52	22,2	24,1	1,9		33	34,2	1,2		29,9	31,2	1,3
	53	22,4	23,5	1,1		33,1	33,9	0,8		30,1	31	0,9
	54	22,4	23,5	1,1		33,1	34	0,9		30,1	31	0,9
	111	23,5	24,8	1,3		33	34,1	1,1		30,1	31,4	1,3
	112	23,5	24,8	1,3		33	34,1	1,1		30,1	31,4	1,3
113	23,2	24,8	1,6	33	34,1	1,1	30,1	31,4	1,3			
114	23,2	25	1,8	33	34,1	1,1	29,9	31	1,1			

Para determinação do fluxo de calor total das paredes e janelas foram desenvolvidas todas as equações pertinentes, conforme descrito no item 3.5 deste artigo.

Os resultados gerais para paredes, que não são influenciáveis pela área e orientação, estão presentes na Tabela 9.

Tabela 9 – Resultados de RT, U e CT para as paredes.

Rconcreto = e/λ			Rreboco = e/λ		
e concreto m	λ concreto W/(m.K)	Rconcreto (m ² .K)/W	e reboco m	λ reboco W/(m.K)	Rreboco (m ² .K)/W
0,1	1,75	0,057142857	0,0175	1,15	0,015217391
Rparede = Rreboco + Rconcreto + Rreboco (m².K)/W			Rt = Aparede/(Aparede/Rparede) (m².K)/W		
0,08757764			0,08757764		
RT=Rsi+Rt+Rse (m².K)/W			U=1/RT (W/m².K)		
0,61757764			1,619229609		
CT = e.c.ρ (Kj/m².K)					
CT = 0,1.1.2200 = 283					

Os resultados gerais para janelas, que não são influenciáveis pela área e orientação, estão presentes na Tabela 10.

Tabela 10 - Resultados de RT, U e CT para as janelas.

Rvidro = e/λ		Rvidro (m².K)/W
e vidro m = 0,02	λ vidro W/(m.K) = 1	0,02
Rt = Avidro/(Avidro/Rvidro)	RT=Rsi+Rt+Rse	U=1/RT (W/m².K)
0,02	0,55	1,8182

Por fim obteve-se o valor de fluxo total dos apartamentos, conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Resultado final do fluxo de calor total dos apartamentos.

Data	Apartamento	ΣQparede	ΣQjanela	Qtotal (W)	Data	ΣQparede	ΣQjanela	Qtotal (W)	Data	ΣQparede	ΣQjanela	Qtotal (W)
03/09/2019	11	593,96	299,69	893,6	10/09/2019	629,31	306,28	935,59	25/09/2019	617,52	304,08	921,61
	12	509,84	163,34	673,1		539,29	168,83	708,13		539,29	168,83	708,13
	13	819,60	1178,12	1997,7		819,60	1178,12	1997,73		878,51	1189,11	2067,62
	14	927,29	1318,87	2246,1		939,07	1321,06	2260,13		956,74	1324,36	2281,1
	41	605,74	301,88	907,6		617,52	304,08	921,61		611,63	302,98	914,62
	42	521,62	165,54	687,1		515,73	164,44	680,17		503,95	162,24	666,2
	43	813,71	1177,03	1990,7		837,27	1181,42	2018,7		860,83	1185,81	2046,65
	44	939,07	1321,06	2260,1		950,85	1323,26	2274,11		962,63	1325,45	2288,09
	51	646,98	309,57	956,5		635,2	307,37	942,57		641,09	308,47	949,56
	52	562,85	173,22	736		521,62	165,54	687,16		527,51	166,63	694,15
	53	837,27	1181,42	2018,7		819,6	1178,12	1997,73		825,49	1179,22	2004,72
	54	950,85	1323,26	2274,1		939,07	1321,06	2260,13		939,07	1321,06	2260,13
	111	641,09	308,47	949,5		629,31	306,28	935,59		641,09	308,47	949,56
	112	527,51	166,63	694,1		515,73	164,44	680,17		527,51	166,63	694,15
113	866,72	1186,91	2053,6	837,27	1181,42	2018,7	849,05	1183,62	2032,67			
114	992,08	1330,95	2323	950,85	1323,26	2274,11	950,85	1323,26	2274,11			

Os apartamentos residenciais estudados no Bairro Cancelli de Cascavel-PR foram comparados com os valores normativos apresentados no item 3.5 deste artigo e estão dentro dos limites permitidos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema construtivo de paredes de concreto armado moldado *in loco* é de grande utilização nos dias atuais, devido à agilidade de execução, economia de materiais devido à reutilização das formas e redução desperdícios com retrabalho e afins.

A verificação de conforto térmico para, método construtivo de paredes de concreto armado moldado *in loco* se fez de extrema importância devido à alta procura e utilização deste e em contrapartida os dados a respeito do desempenho térmico são escassos.

Através da verificação dos resultados obtidos nas coletas, pode-se concluir que o edifício analisado está adequado às condições mínimas de bem estar descritas pelas normas NBR 15220 e NBR 15575. Consequentemente esse é um ganho para os moradores, pois resulta em uma redução na demanda de energia e condicionamento térmico.

A partir desta pesquisa sugere-se a continuação do estudo para mais épocas do ano, para zonas bioclimáticas diferentes, bem como, verificar o conforto acústico do método, e se os proprietários de tais imóveis estão se sentindo confortáveis, para então, aplicar esse método a outros tipos de edificações e sistemas construtivos.

REFERÊNCIAS

- ABCP. Associação Brasileira Das Empresas De Serviços De Concretagem; Instituto Brasileiro De Telas Soldadas. **Parede de concreto**: coletânea de ativos 2007/2008. São Paulo, 2008
- ARÊAS, D. M. **Descrição do processo construtivo de parede de concreto para obra de baixo padrão**. Rio de Janeiro, RJ, 2013.
- ASHRAE - American Society of Heating and Air Conditioning Engineers. **Physiological principles for comfort and health. In: Handbook Fundamentals**. Atlanta, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15220. **Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2003.
- _____, NBR 15220. **Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2003.
- _____, NBR 15220. **Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2003.
- _____, NBR 15220. **Desempenho térmico de edificações Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2003.
- _____, NBR 15220. **Desempenho térmico de edificações Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2003.
- _____, NBR 15575-4. **Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2013.
- _____, NBR 16055. **Parede de concreto moldada no local para a construção de edifícios – Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2012.
- BALTOKOSKI, P. L. C. **Comparativo térmico e acústico entre os métodos construtivos, alvenaria convencional e parede de concreto moldada no local**. Pato Branco, 2015
- BATIZ, E. C.; GOEDERT, J.; MORSCH, J. J.; KASMIRSKI-JR, P.; VENSKE, R. **Avaliação do conforto térmico no aprendizado: estudo de caso sobre influência na atenção e memória**. Produção, 2009.
- CARVALHO, P. P. **Desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social com paredes de concreto armado na zona bioclimática 2 brasileira**. Santa Maria, 2012.

COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. **Recebimento e Aplicação do Concreto**, 2012. Disponível em

< <http://www.comunidadeconstrucao.com.br/sistemasconstrutivos/2/materiais/qualidade/26/materiais.html> > Acesso em 24 de março de 2019

GALVANI, E. Departamento de Geografia - USP. **Unidades Climáticas Brasileiras**. São Paulo, S/D.

GIOVANI, B. Confort, climate analysis and building guidekines. **Energy and Building**. Lansanne, 1992.

JUSTUS, P. **Construção de casa entra na fôrma. Estado de São Paulo**. São Paulo, 2009. Disponível em < <http://www.abadi.com.br> >. Acesso em 26 de fevereiro de 2019.

MACÊDO, J. S. **Um estudo sobre o sistema construtivo formado por paredes de concreto moldadas no local**. João Pessoa, 2016

MENDONÇA, F.; OLIVEIRA, D. I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MISURELLI, H.; MASSUDA, C. **Paredes de concreto. Revista Técnica**. Disponível em: < <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/146/artigo141977-1.asp/> >. Acesso em: 18 de março 2019.

MORQUECHO, F. B. G. **Análise de edifícios em paredes de concreto moldadas in loco**. Natal, 2016.

PINTO, F. A. C. **Sensoriamento remoto prof. Francisco de Assis de Carvalho Pinto laboratório de projeto de máquinas e visão artificial departamento de engenharia agrícola**. Disponível em: < <http://slideplayer.com.br/slide/355698/> >. Acesso em: 30 de março 2019.

PONZONI, J. **Parede de concreto moldadas in loco: verificação do atendimento às recomendações da norma nbr 16055/2012 nos procedimentos executivos em obra de um edifício residencial**. Porto Alegre, 2013.

RIBEIRO, R. L. S. **Ações devidas ao clima sobre os materiais de construção em regiões tropicais**. Recife, 2013.

RODRIGUES, T.; VIEGAS, J.; FEITOSA, A. **Conforto térmico como indicador de qualidade de vida: relação entre as casas de taipa e alvenaria, na comunidade quilombola jamary dos pretos, Turiaçu-MA**. Turiaçu-MA, 2010.

RORIZ, M. **Conforto Térmico em Edificações: Um Modelo Matemático e uma Aplicação**. Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - Universidade de São Paulo - USP - São Paulo - SP. 1996.

SANTOS, E. B. **Estudo comparativo de viabilidade entre alvenaria de blocos cerâmicos e paredes de concreto moldadas no local com fôrmas metálicas em habitações populares.** Trabalho de conclusão de curso (Curso superior de Engenharia Civil) Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campo Mourão, 2013.

SACHT, H. M. **Painéis de vedação de concreto moldados in loco: avaliação de desempenho térmico e desenvolvimento de concretos.** Dissertação de Mestrado. UFSCAR. São Carlos, 2008.

SACH, H.M.; ROSSIGNOLO, J.A.; BUENO, C. **Vedações verticais em concreto, moldadas in loco: avaliação do conforto térmico de habitações térreas no Estado de São Paulo.** Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, São Paulo, 2011.

WENDLER FILHO, A. A. **Sistema Construtivo em Paredes de concreto: um sistema com bom desempenho - mitos e verdades.** In: CONCRETE SHOW. São Paulo, 2009.