



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DO CURSO DE
ARQUITETURA E URBANISMO - DEARQ**



VANESSA DE FREITAS VILAÇA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DO LAR SÃO VICENTE
DE PAULO - OURO PRETO - MG**

TRABALHO FINAL DE GRADUAÇÃO

**Ouro Preto
2019**

VANESSA DE FREITAS VILAÇA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DO LAR SÃO VICENTE
DE PAULO - OURO PRETO - MG**

Trabalho Final de Graduação
apresentado ao Curso de Arquitetura
e Urbanismo da Universidade Federal
de Ouro Preto, como requisito parcial
para a obtenção do grau de
Bacharel(a) em Arquitetura e
Urbanismo.

Orientador: Prof. Henor Artur de Souza

Coorientadora: Camila Carvalho Ferreira

V695a Vilaça, Vanessa de Freitas.
Avaliação do desempenho térmico do Lar São Vicente de Paulo - Ouro Preto-
MG [manuscrito] / Vanessa de Freitas Vilaça. - 2019.

53f.: il.: color; graf; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Henor Artur de Souza.
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Camila Carvalho Ferreira.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de
Minas. Departamento de Arquitetura e Urbanismo.

1. Conforto térmico. 2. Conforto térmico - Simulação numérica. 3. Abrigos
para idosos - Lar São Vicente de Paula. I. Souza, Henor Artur de. II. Ferreira,
Camila Carvalho. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU: 72:711.4

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br



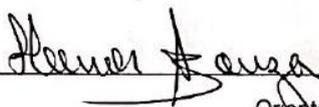
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
Departamento de Arquitetura e Urbanismo

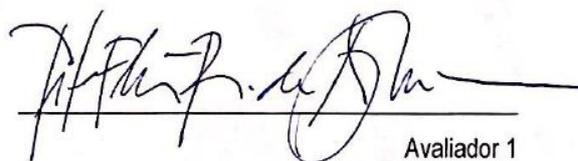


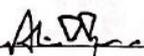
ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Em 11 de julho de 2019, reuniu-se a banca examinadora do trabalho apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso Arquitetura e Urbanismo da Escola de Minas da UFOP, intitulado: **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DO LAR SÃO VICENTE DE PAULO - OURO PRETO - MG**, do aluno(a) **VANESSA DE FREITAS VILAÇA**.

Compuseram a banca os professores(as) **HENOR ARTUR DE SOUZA, TITO FLÁVIO AGUIAR, ADRIANO PINTO GOMES**. Após a exposição oral, o(a) candidato(a) foi argüido(a) pelos componentes da banca que reuniram-se reservadamente, e decidiram, aprová-la, com a nota 9,7.


Orientador(a)


Avaliador 1


Avaliador 2

RESUMO

A arquitetura bioclimática permite adequar à construção ao meio ambiente no qual ela está inserida, utilizando-se de estratégias passivas a fim de proporcionar conforto térmico ao usuário e, conseqüentemente, melhorar a eficiência energética das edificações. Nesse contexto, analisar o clima onde está inserida a edificação é inevitável. Só ele possibilita o real entendimento do conforto ambiental, além de poder propiciar o bem estar aos ocupantes. O estudo do desempenho térmico de uma edificação viabiliza criar projetos que garantam o bem estar do usuário e com menor gastos energéticos para seu condicionamento, uma vez que se emprega estratégias bioclimáticas passivas. Para isso, pode ser utilizada a simulação numérica, pois por meio dela é possível avaliar de forma global e dinâmica as interações térmicas entre o ambiente externo e ambiente interno. Neste trabalho avalia-se o desempenho térmico do Lar São Vicente de Paulo, uma edificação social que abriga idosos e está localizado na cidade de Ouro Preto-MG, por meio do programa computacional *EnergyPlus*. Compara-se as temperaturas internas obtidas, no cômodos de maior permanência, com os parâmetros de conforto térmico ditados pela abordagem adaptativa, além do padrão de desempenho térmico adotado pela norma NBR 15.575. Como os resultados obtidos indicam desconforto térmico no período de inverno propõe-se estratégias passivas como o ganho solar direto por meio de janelas e portas com vidros semitransparentes e como a troca do piso por um material como menor inércia térmica, como por exemplo o laminado de madeira.

Palavras-chaves: Desempenho térmico, Conforto térmico, Simulação numérica, Abrigo de idosos.

ABSTRACT

The bioclimatic architecture allows to adapt the construction to the environment in which it is inserted, using passive strategies in order to provide thermal comfort to the user and, consequently, to improve the energy efficiency of the buildings. In this context, analyzing the climate where the building is inserted is inevitable. Only it allows the real understanding of the environmental comfort, besides being able to provide well-being to the occupants. The study of the thermal performance of a building makes it possible to create projects that guarantee the well being of the user and with less energy costs for their conditioning, once passive bioclimatic strategies are used. For this, the numerical simulation can be used, because through it is possible to evaluate in a global and dynamic way the thermal interactions between the external environment and internal environment. This work evaluates the thermal performance of São Vicente de Paulo Home, a social building that houses elderly people and is located in the city of Ouro Preto-MG, through the *EnergyPlus* software. It compares the internal temperatures obtained in the rooms with greater permanence, with the parameters of thermal comfort dictated by the adaptive approach, besides the standard of thermal performance adopted by norm NBR 15.575. As the results indicate thermal discomfort in the winter period, it is proposed passive strategies such as direct solar gain through windows and doors with semi-transparent glasses and as the exchange of the floor by a material as less thermal inertia, such as laminate of wood.

Keywords: Thermal performance, Thermal comfort, Numerical simulation, Elderly shelter

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por iluminar a minha vida e abençoar o meu caminho sempre. À Nossa Senhora Aparecida, minha Mãe protetora, pelas incontáveis graças recebidas e por sempre fortalecer a minha fé.

Aos meus pais, Marina e Geraldo, por todo amor, carinho e apoio recebido em todos os momentos. À minha irmã Tatiana por sempre acreditar em mim e ser para sempre a minha fortaleza.

Ao meu amor Ramon, por ser a pessoa com quem posso dividir minha felicidade e também minhas dificuldades, sem nunca me julgar, me ajudando a crescer e fazendo dos meus sonhos os seus também.

Ao meu professor e orientador Henor, por todo conhecimento compartilhado, orientações, atenção e estar sempre disposto a ajudar no que for preciso.

À todos do Laboratório Nupecon pela amizade e aprendizado mútuo, em especial ao Lucas, Bruno e Luma por toda ajuda e motivação diária.

À minha coorientadora Camila, pelas orientações, dedicação e por se fazer presente.

Agradeço também a Escola de Minas e a Universidade Federal de Ouro Preto pelo ensino gratuito e de qualidade, e a todos que me ajudaram direta ou indiretamente durante a graduação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Zoneamento bioclimático brasileiro	15
Figura 2. Carta bioclimática adaptada	15
Figura 3. Esquema mostrando ventilação cruzada e unilateral	19
Figura 4. Esquema mostrando diferentes tipos de brises arquitetônicos	20
Figura 5. Tela do IDF Editor do <i>EnergyPlus</i> versão 8.6	22
Figura 6. Esquema de uma rede de nós de pressão.....	23
Figura 7. Idosos no Lar São Vicente de Paulo - Ouro Preto, MG.....	24
Figura 8. Entrada principal do Lar São Vicente de Paulo.....	25
Figura 9. Acessibilidade do Lar São Vicente de Paulo.....	26
Figura 10. Paredes e telhado do Lar São Vicente de Paulo	26
Figura 11. Janelas basculantes do Lar São Vicente de Paulo	27
Figura 12. Vegetação ao redor da edificação	30
Figura 13. Paredes externas do Lar São Vicente de Paulo de cor branca.....	31
Figura 14. Planta baixa subsolo do Lar São Vicente de Paulo sem escala.....	32
Figura 15. Planta baixa térreo do Lar São Vicente de Paulo sem escala.....	33
Figura 16. Planta baixa 1º pavimento do Lar São Vicente de Paulo sem escala	34
Figura 17. Planta dos ambientes do subsolo que serão avaliados via simulação numérica - sem escala	35
Figura 18. Planta dos ambientes do térreo que serão avaliados via simulação numérica - sem escala.....	36
Figura 19. Planta dos ambientes do 1º pavimento que serão avaliados via simulação numérica - sem escala.....	37
Figura 20. Interface do programa SketchUp versão 2017 com a edificação modelada e utilizando-se o plugin Euclid.....	41
Figura 21. Identificação dos cômodos analisados na simulação.....	42
Figura 22. Gráfico para o dia típico de verão comparando as temperaturas externa e interna dos cômodos em °C ao longo do dia em horas.....	43
Figura 23. Gráfico para o dia típico de inverno comparando as temperaturas externa e interna dos cômodos em °C ao longo do dia em horas.....	44
Figura 24. Aquecimento solar passivo – Ganho direto.....	45
Figura 25. Esquema aquecimento solar passivo – Ganho direto.....	46
Figura 26. Perspectiva de parede de tijolos cerâmicos de seis furos e com argamassa em ambas as faces.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão ..	17
Tabela 2: Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno	17
Tabela 3: Latitude, longitude e altitude da cidade de Ouro Preto.....	28
Tabela 4: Dados climáticos de Ouro Preto para o dia típico de verão.....	28
Tabela 5: Dados climáticos de Ouro Preto para o dia típico de inverno.....	28
Tabela 6: Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a zona Bioclimática 3.....	29
Tabela 7: Tipos de fechamento externo para a zona Bioclimática 3.....	29
Tabela 8: Estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona Bioclimática 3.....	29
Tabela 9: Fechamento, espessura e sistema de construção ou materiais.....	38
Tabela 10: Propriedades termofísicas dos materiais da construção	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivo	12
1.2	Metodologia	12
1.3	Motivação	12
1.4	Estrutura do trabalho	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Desempenho térmico de edificações	14
2.2	Estratégias bioclimáticas passivas em arquitetura	17
2.2.1	Ventilação natural	17
2.2.2	Sombreamento	19
2.2.3	Massa térmica	20
2.3	O programa computacional <i>EnergyPlus</i>	21
2.3.1	Ventilação simplificada e ventilação módulo <i>AirflowNetwok</i>	22
3	MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1	Objeto de estudo	24
3.3	Etapas da simulação numérica	27
3.3.1	Caracterização climática da cidade	27
3.3.2	Caracterização do objeto de estudo e seu entorno	29
3.3.3	Caracterização da envoltória	38
3.3.4	Critérios de avaliação do desempenho térmico	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1	Resultados e análises	42
4.2	Estratégias para adequação ao conforto térmico	45
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
	APÊNDICE A	51

1 INTRODUÇÃO

Conforto térmico é a expressão que caracteriza a sensação de bem-estar experimentada por uma pessoa em um determinado ambiente. É o resultado da combinação de fatores como a temperatura, umidade relativa e velocidade do ar num dado ambiente. Sendo tais sensações subjetivas, condições ambientais de conforto podem ser entendidas como aquelas que propiciem bem-estar ao maior número possível de pessoas (RUAS, 1999).

Nesse contexto, a arquitetura bioclimática engloba conceitos que visam a adequação da construção ao meio ambiente no qual ela está inserida, sobretudo ao clima, propiciando melhor desempenho térmico à construção e com isso conforto térmico ao usuário. O termo visa minimizar impactos ambientais, aumentar a eficiência energética da edificação, além de criar ambientes favoráveis à vida do ser humano. O clima relaciona-se diretamente com o conforto para as pessoas, uma vez que as trocas térmicas acontecem do ambiente externo para o ambiente construído.

O estudo do Bioclimatismo compreende a concepção arquitetônica por meio de elementos favoráveis ao clima com o objetivo de satisfazer as exigências do bem estar higrotérmico com baixo consumo energético, segundo Izard e Guyot (1983), Bardou e Arzoumanian (1984) e Mascaró (1983 apud BOGO et al.,1994).

A eficiência energética é adquirida por uma edificação, seja ela nova ou existente, quando esta reduz seu consumo de energia. Esta redução se dá por meio da implantação de tecnologias de iluminação, condicionamento de ar e isolamento térmico, sem causar queda nos níveis de conforto (CAPELLO, 2006).

A principal forma de se criar habitações com eficiência energética é partindo-se do projeto arquitetônico. Com ele, obtém-se soluções econômicas e com menor impacto ambiental. Utilizar-se de técnicas bioclimáticas passivas, ou seja, aquelas em que não se utiliza energia elétrica, são alternativas que visam a redução de despesas, além do menor impacto ambiental da construção. Tais alternativas porém, só são possíveis se a disponibilidade da técnica, materiais e processo de construção estiverem compatíveis com o clima e característica da região (GOMES, 2007).

1.1 Objetivo

Verificar o desempenho térmico do Lar São Vicente de Paulo de Ouro Preto, MG, e a influência de estratégias passivas como: ventilação natural, sombreamento e massa térmica de fechamentos.

1.2 Metodologia

Por meio de simulação computacional, utilizando o *EnergyPlus*, estuda-se as respostas da edificação, em relação às interações térmicas com o clima externo, considerando as condições climáticas de Ouro Preto, MG, e confronta-se com os critérios e diretrizes mínimos de desempenho térmico estabelecidos pela norma NBR 15575 e com os limites de conforto considerando a abordagem adaptativa.

1.3 Motivação

Avaliar uma edificação quanto à sua eficiência energética permite a concepção de ambientes confortáveis ao usuário, levando-se em consideração o impacto ambiental e os gastos energéticos.

A escolha dos materiais mais adequados para o local tem forte influência no desempenho térmico de uma edificação, principalmente na envoltória, que é uma das principais responsáveis pelas condições dos ambientes internos. Além disso, o aproveitamento adequado da ventilação e iluminação naturais, bem como a definição correta de elementos de sombreamento podem resultar num ambiente construído com o desempenho térmico adequado e que proporcione conforto aos seus ocupantes. Fazendo-se com o que todo este estudo seja de grande relevância.

A escolha do Lar São Vicente de Paulo se justifica pelo seu carácter social. Com os resultados obtidos pode-se adequar a construção à uma melhor qualidade de vida para os idosos. Partindo-se da premissa de que o Lar é a habitação desses idosos, observa-se que há inúmeros quartos e salas, considerados cômodos de permanência prolongada. Nesse sentido, é preciso criar ambientes confortáveis, tornando-se necessário avaliar a edificação quanto ao desempenho térmico, além de propor soluções de projeto arquitetônico que atentam para melhorias no bem-estar do usuário.

1.4 Estrutura do trabalho

O trabalho em questão está constituído em cinco capítulos. No capítulo 1 apresenta-se o tema proposto, o objetivo a ser alcançado, uma metodologia sucinta e a motivação por trás da escolha deste tema.

No capítulo 2 é apresentado uma revisão da literatura acerca do desempenho térmico de edificações, devidas normas e critérios brasileiros de desempenho utilizados na pesquisa, além do Zoneamento bioclimático do país. Apresenta-se também as principais estratégias bioclimáticas em arquitetura: ventilação natural, sombreamento e massa térmica de fechamentos. Além disso, no capítulo aborda-se o programa computacional *EnergyPlus* a ser utilizado no estudo e os seus dois tipos de ventilação: simplificada e pelo módulo *AirflowNetwork*.

No capítulo 3 é apresentado o objeto de estudo e as etapas que envolvem a simulação numérica. Nestas etapas, faz-se a caracterização climática da cidade, do objeto de estudo e seu entorno e de sua envoltória, envolvendo os cálculos necessários. Discute-se também os critérios a serem utilizados para avaliar o desempenho térmico por meio do programa *EnergyPlus*.

Dando prosseguimento ao estudo proposto é realizada, então, a simulação computacional das interações térmicas e de massa entre o meio externo e o ambiente interno do Lar São Vicente de Paulo e avalia-se a distribuição interna da temperatura nos ambientes de permanência prolongada.

No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos da simulação computacional descrita no capítulo 2 e feitas análises gráficas para a comparação com as normativas de desempenho e atendimento às exigências de conforto térmico. Além disso, são apontadas as estratégias bioclimáticas passivas para adequação ao conforto térmico do Lar. Ademais, são apresentadas as considerações finais no capítulo 5.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O desempenho térmico de edificações é um fator importante na construção civil, pois uma edificação projetada para o clima no qual está inserida minimiza o consumo de energia para o seu condicionamento tanto em condições de verão e/ou de inverno. Dessa maneira, o estudo do desempenho térmico de edificações aumenta a vida útil da construção, sobretudo reduz custos energéticos e impactos ambientais.

2.1 Desempenho térmico de edificações

Analisar o desempenho térmico de um edifício, seja ele ventilado naturalmente ou mecanicamente, é verificar se as condições ambientais são satisfatórias quanto ao conforto térmico proporcionado aos ocupantes. Sendo que tal verificação é feita considerando-se toda a edificação, além de intencionar o racionamento do consumo energético (AKUTSU,1998). De maneira geral, o desempenho térmico depende de diversos fatores como o clima, materiais utilizados na edificação, dimensão dos cômodos, número de pavimentos, orientação das fachadas e aberturas, tipo de atividades etc.

No Brasil, a norma técnica NBR15.220 (ABNT, 2005) trata do desempenho térmico de edificações e é dividida em cinco partes. A terceira parte propõe um Zoneamento Bioclimático Brasileiro, separando o país em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima (Figura 1). Além disso, a norma estabelece um conjunto de recomendações e diretrizes de construção e detalhamento estratégico de condicionamento térmico passivo, com base em parâmetros e condições de contorno fixados destinadas às habitações unifamiliares de interesse social.

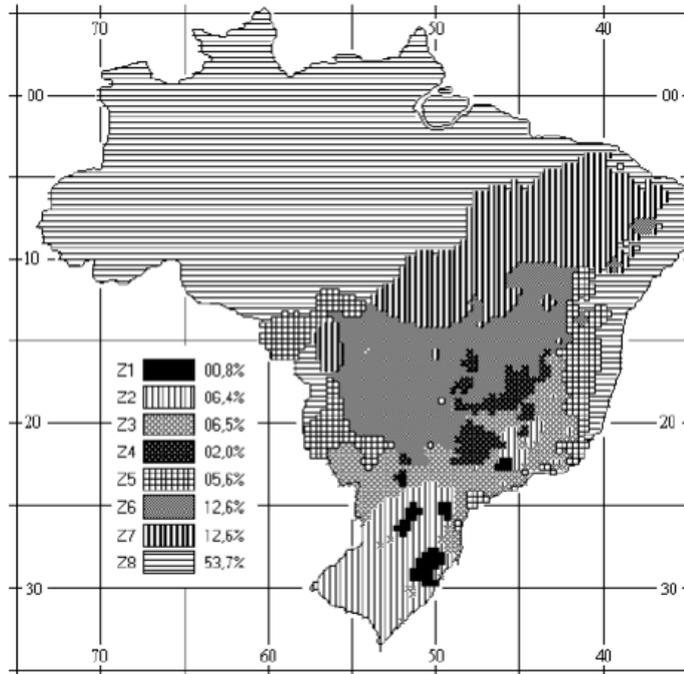
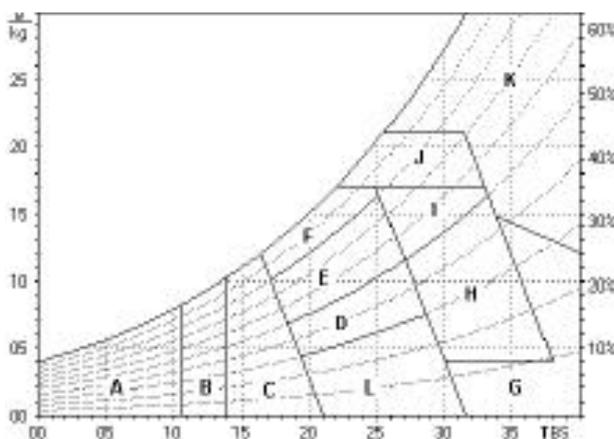


Figura 1: Zoneamento bioclimático brasileiro
Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005)

Como método para a classificação bioclimática, é adotado uma carta bioclimática adaptada a partir da sugerida por Givoni (1992) (Figura 2). Com o objetivo de otimizar o desempenho térmico das edificações, utilizou-se como parâmetros e condições de contorno: o tamanho das aberturas para ventilação, proteção das aberturas, fechamento externo (parede e cobertura) e estratégias de condicionamento térmico passivo. As diretrizes de construção são feitas em relação às aberturas, parede e cobertura (ABNT, 2005).



As zonas da carta correspondem às seguintes estratégias:

- A – Zona de aquecimento artificial (calefação)
- B – Zona de aquecimento solar da edificação
- C – Zona de massa térmica para aquecimento
- D – Zona de Conforto Térmico (baixa umidade)
- E – Zona de Conforto Térmico
- F – Zona de desumidificação (renovação do ar)
- G + H – Zona de resfriamento evaporativo
- H + I – Zona de massa térmica de refrigeração
- I + J – Zona de ventilação
- K – Zona de refrigeração artificial
- L – Zona de umidificação do ar

Figura 2: Carta bioclimática adaptada
Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005)

Outra norma técnica adotada relativa ao desempenho é a norma NBR 15.575 (ABNT, 2013). De conteúdo mais extenso esta norma cria diretrizes com foco no usuário da edificação, prescrevendo a respeito dos sistemas que compõem edificações habitacionais, não dependendo dos materiais ou sistemas de construção empregados. É dividida em seis partes, sendo que na “Parte 1: Requisitos gerais” encontra-se a seção onze que trata do desempenho térmico. Nela, é estabelecido dois procedimentos a fim de adequar a habitação às exigências de desempenho térmico, sendo um normativo e outro informativo. O procedimento normativo exige que os casos em que a transmitância térmica e a capacidade térmica resultarem em um desempenho térmico insatisfatório, é necessário que o projetista faça avaliação do desempenho térmico de toda edificação com base na simulação computacional (ABNT, 2013).

Embasando-se ainda na norma, a simulação computacional deve ser feita pelo programa *EnergyPlus*. Como requisito, é necessário simular a edificação para um dia típico de verão e um dia típico de inverno, definidos por (ABNT, 2013, p.7):

Dia típico de verão: é definido como um dia real, caracterizado pelas seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar incidente em superfície horizontal para o dia mais quente do ano segundo a média do período dos últimos 10 anos.

Dia típico de inverno: é definido como um dia real, caracterizado pelas seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar incidente em superfície horizontal para o dia mais frio do ano segundo a média do período dos últimos 10 anos.

O critério para o valor máximo de temperatura do dia típico de verão deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior, sendo válido para recintos de permanência prolongada, como salas e dormitórios, desconsiderando-se fontes internas de calor (Tabela 1). Já o critério para o valor mínimo de temperatura do dia típico de inverno deve ser sempre maior ou igual à temperatura mínima externa acrescida de 3°C, para recintos de permanência prolongada (Tabela 2) (ABNT, 2013).

Tabela 1: Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
Mínimo	$T_{i,max} \leq T_{e,Max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,Max}$
Intermediário	$T_{i,max} \leq (T_{e,Max} - 2^{\circ}C)$	$T_{i,max} \leq (T_{e,Max} - 1^{\circ}C)$
Superior	$T_{i,max} \leq (T_{e,Max} - 4^{\circ}C)$	$T_{i,max} \leq (T_{e,Max} - 2^{\circ}C)$ e $T_{i,max} \leq (T_{e,Max} - 1^{\circ}C)$

$T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;
 $T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;
 $T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;
 $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;
 NOTA: Zona bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013)

Tabela 2: Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
Mínimo	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^{\circ}C)$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
Intermediário	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^{\circ}C)$	Idem acima
Superior	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^{\circ}C)$	Idem acima

$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;
 $T_{e,min}$ 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 (ABNT, 2013)

2.2 Estratégias bioclimáticas passivas em arquitetura

Soluções bioclimáticas passivas são aquelas que não demandam despesas com energia para funcionarem se comparadas a soluções ativas. Segundo Olgay (1998) as construções devem ser concebidas de maneira harmônica entre o meio ambiente externo e o espaço alocado, considerando-se o microclima e recursos naturais. Sendo assim, é interessante o uso de condicionantes passivos para a concepção de projeto, como o aproveitamento adequado do sol, temperatura, ventilação e vegetação local.

2.2.1 Ventilação natural

A ventilação natural é frequentemente apontada como a estratégia bioclimática mais eficiente para fins de conforto térmico nos espaços urbanos e arquitetônicos (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2008). A retirada de calor pela fluência do ar fresco é fundamental, principalmente para regiões com climas equatoriais. Além disso,

também possui importância para a saúde das pessoas, uma vez que pode diluir poluentes, levando-os para fora em função da diferença de pressão (BOWER, 1995).

A eficácia da ventilação natural advém, além de outros fatores, do seu alcance social. Populações de baixa renda necessitam de projetos arquitetônicos bem elaborados em termos técnicos para a obtenção do conforto térmico, já que não possuem acesso à aparelhos de refrigeração, além de seus elevados gastos energéticos. Assim, a forma da edificação, incluindo a localização e dimensão de suas aberturas e fachadas, está diretamente relacionada à ventilação que se queira alcançar.

Há diversas pesquisas que relacionam o conforto térmico com movimentação de ar. Esta reduz a temperatura efetiva devido à evaporação do suor da pele e às trocas convectivas entre a corrente de ar e o corpo humano. A condição de conforto em ambientes ventilados naturalmente depende então da temperatura e da velocidade do ar (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2008).

As diferenças de pressões nas diversas superfícies de um edifício induzem o fluxo de ar dentro dele. Essa diferença de pressão pode ser gerada pelas forças devido ao vento ou diferenças de temperatura do ar no interior e exterior da edificação. A ventilação natural pode acontecer de maneira cruzada, quando há aberturas em lados opostos em um recinto ou de forma unilateral, quando há aberturas em apenas um lado (Figura 3).

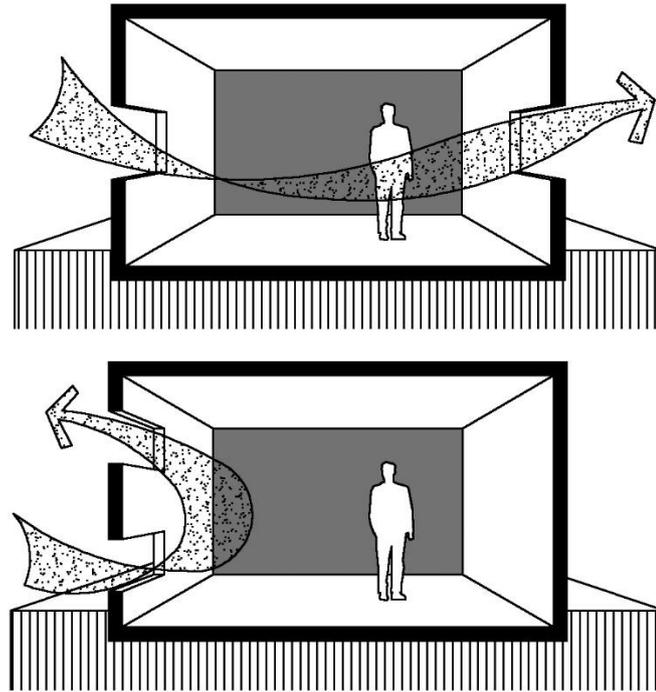


Figura 3: Esquema mostrando ventilação cruzada e unilateral
Fonte: SOUZA; AMPARO; GOMES, 2011

2.2.2 Sombreamento

Elementos arquitetônicos de sombreamento posicionados externamente à edificação possuem a função de protegê-la dos raios solares, bem como diminuir ganhos térmicos provindos da insolação direta. Eles podem ser horizontais, verticais ou combinados das duas formas, denominados grelha (BROWN; DEKAY, 2004).

Há diversos tipos de sombreadores, o mais comum e socialmente utilizado é o beiral. Normalmente horizontais inclinados, os beirais configuram por vezes uma extensão do telhado. Sua largura determina o tamanho de sua sombra. Uma vez bem projetados, os beirais podem barrar o Sol no verão e permitir sua entrada no inverno, aquecendo a edificação.

Os chamados *brises-soleils* ou simplesmente brises (Figura 4) são componentes arquitetônicos posicionados às fachadas das construções a fim de controlar a incidência de luz solar e reduzir o calor nos ambientes internos, aumentando sua eficiência energética. São também elementos decorativos que conferem um olhar diferenciado à edificação. Além disso, brises posicionados verticalmente ou

horizontalmente à fachada podem ser reguláveis, sendo sua angulação ajustada de acordo com a quantidade de luz desejada no interior da edificação.

Como os sombreadores encontram-se sob a luz direta do Sol, é necessário que se tome precauções especiais a respeito do dimensionamento, para que não provoquem ofuscamento ou absorvam calor à edificação. O tamanho adequado e o espaçamento dos elementos relacionam-se à orientação das janelas, além do dia e horário necessário à proteção, uma vez que a dimensão direciona-se à inclinação do ângulo de altura solar, que é normal ao plano das aberturas (BROWN; DEKAY, 2004).

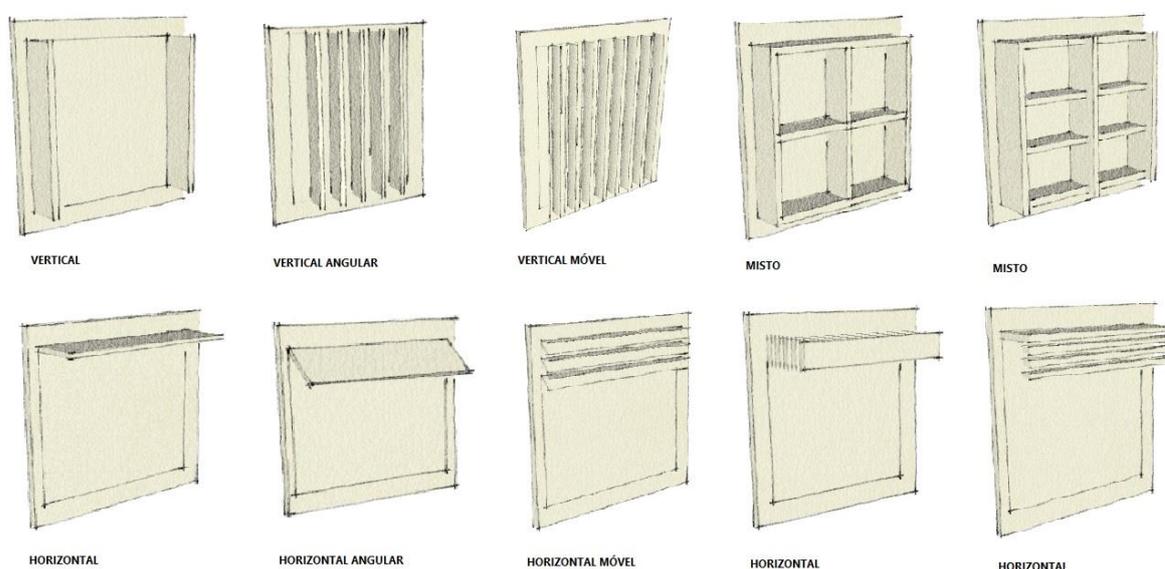


Figura 4: Esquema mostrando diferentes tipos de brises arquitetônicos
Fonte: CONSTRUÇÃO..., 2017

2.2.3 Massa térmica

Os materiais empregados na envoltória de uma edificação devem ser analisados em relação à sua área e espessura para que sejam suficientes no armazenamento de calor e frio adequados ao desempenho térmico. Essa capacidade de absorver calor ou frio combinado com a velocidade em que é liberado para o ambiente é denominado de massa térmica. Um elemento de alta massa térmica possui a capacidade de absorver, armazenar e liberar calor de forma lenta, enquanto que um elemento de baixa massa térmica possui a capacidade de absorver, armazenar e liberar calor de forma rápida.

Dimensionar a massa térmica envolve o cálculo da capacidade térmica (C) e da transmitância térmica (U) dos fechamentos, sendo necessário conhecer suas propriedades termofísicas: a condutividade térmica (λ); o calor específico (c); a massa específica (ρ); além da sua espessura (e).

2.3 O programa computacional *EnergyPlus*

O *EnergyPlus* é um *software* de simulação de edificações desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos. Ele utiliza um arquivo climático da região de localização e os dados da edificação, como a sua geometria, materiais utilizados e suas propriedades termofísicas, cargas elétricas instaladas, além de sistemas de condicionamento de ar quando necessário. O programa avalia o fluxo de ar entre as zonas térmicas e controla os processos de transmissão de calor. Assim é estimado seu consumo energético, considerando as trocas térmicas da envoltória com o seu exterior (GOMES, 2007).

O primeiro passo para fazer uma simulação no *EnergyPlus* é modelar a geometria da edificação e seus componentes de construção. Esta modelagem é feita por meio de coordenadas cartesianas (x, y e z). É necessário criar volumes exatos e também aberturas reais, como portas e janelas, para que a simulação aconteça de forma eficiente e realística. Em seguida, nomear todos os elementos desenhados e correlacioná-los. Depois, preencher ao menos os requisitos mínimos do programa e, por fim, inserir um arquivo climático da região contendo dados horários de temperatura, umidade relativa, ventos, radiação solar, altitude, entre outros.

Dessa forma, para cada simulação, o usuário insere uma série de variáveis em relação à sua edificação considerando as respostas que pretende gerar, além do arquivo climático. Com isso, o programa faz a simulação em relação a cada zona térmica do edifício. Como arquivos de saída, o programa apresenta, além de outros dados, planilhas do *Microsoft Excel* com os resultados obtidos a partir das informações inseridas.

Na figura 5 mostra-se a interface do editor IDF *EnergyPlus* (versão 8.6), ou onde o programa permite o usuário a inserção de dados.

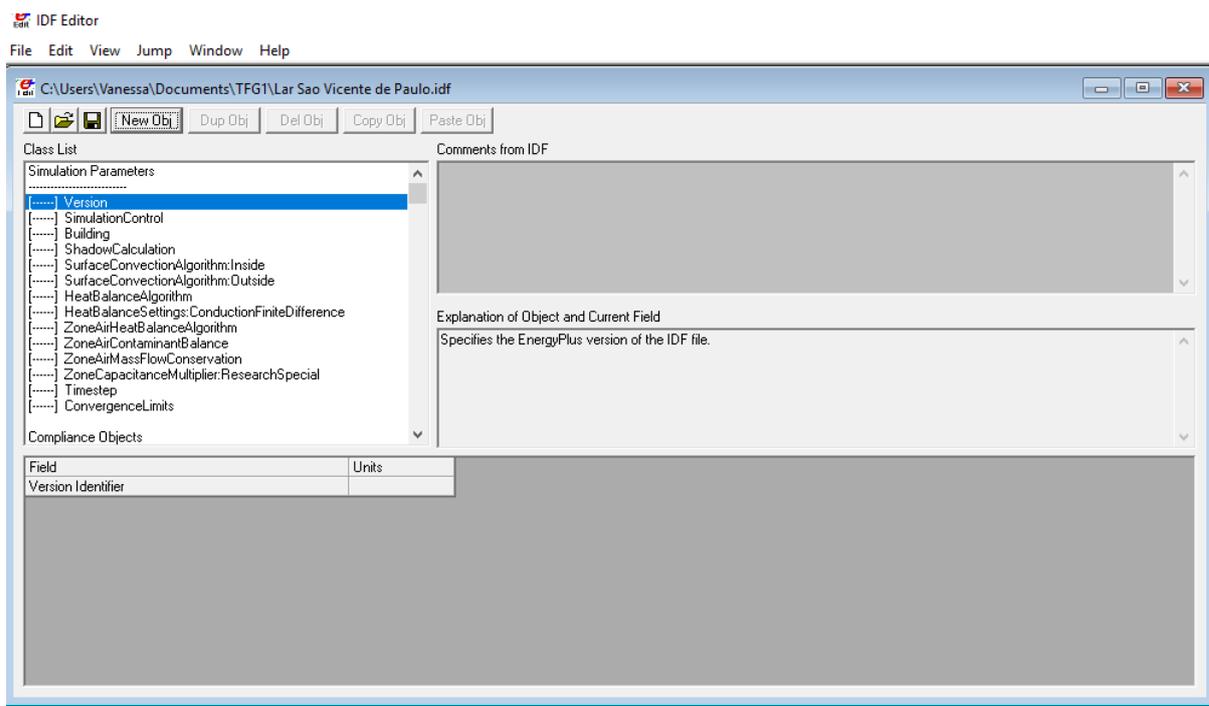


Figura 5: Tela do IDF Editor do *EnergyPlus* versão 8.6
Fonte: Acervo da autora, 2019

2.3.1 Ventilação simplificada e ventilação módulo *AirflowNetwok*

A estratégia de ventilação natural proporciona conforto térmico aos ocupantes e é eficaz para o clima quente e úmido, como é o caso da maioria das regiões brasileiras. A sensação de resfriamento ocorre conforme aumenta-se a velocidade dos fluxos de ar. No programa *EnergyPlus*, a ventilação pode ser avaliada tanto como natural ou como forçada. Nesta última, ela acontece devido a renovações de ar de forma mecânica. Já a ventilação natural é entendida como a movimentação de ar por forças naturais, principalmente pelo interior da edificação. Ela é dependente de diversos fatores, como: a diferença de temperatura entre o ar dentro e fora da edificação, velocidade e direção do vento, abertura da exaustão, entre outros (PEREIRA *et al.*, 2013).

A ventilação natural pode ser simulada no *EnergyPlus* de forma simplificada ou por meio do módulo *AirflowNetwok* – sistema de rede. Pela maneira simplificada, o usuário insere uma vazão nominal de ar e um padrão de uso, ou seja, é obrigatório definir o número de renovações de ar por hora (ren/h) para cada ambiente criado e uma rotina horária para tal vazão (GOMES, 2012). Dessa maneira, a ventilação é proposital para que se tenha uma perda de calor no ambiente interno, sendo que, quanto mais

renovações de ar houver dentro da edificação, maior será a retirada de calor do ambiente e assim mais baixa será sua temperatura.

A simulação com base no módulo *AirflowNetwork* realiza o cálculo de fluxos de ar entre as zonas e o exterior de acordo com as aberturas existentes, como as portas e janelas e com as características de vento local. Este modelo cria *links* (entradas) de fluxo de ar que estão interconectados por zonas térmicas ou os pelos chamados nós de pressão, que são os volumes de ar homogêneos e com pressões estacionárias (GOMES, 2012). Para o correto cálculo, é necessário que o usuário defina as características do entorno da edificação, orientação solar e, quais zonas a serem simuladas e seus padrões de controle da ventilação, além de condições de abertura e fluxo de ar (GOMES, 2012). Na figura 6 mostra-se um esquema representativo deste modelo.

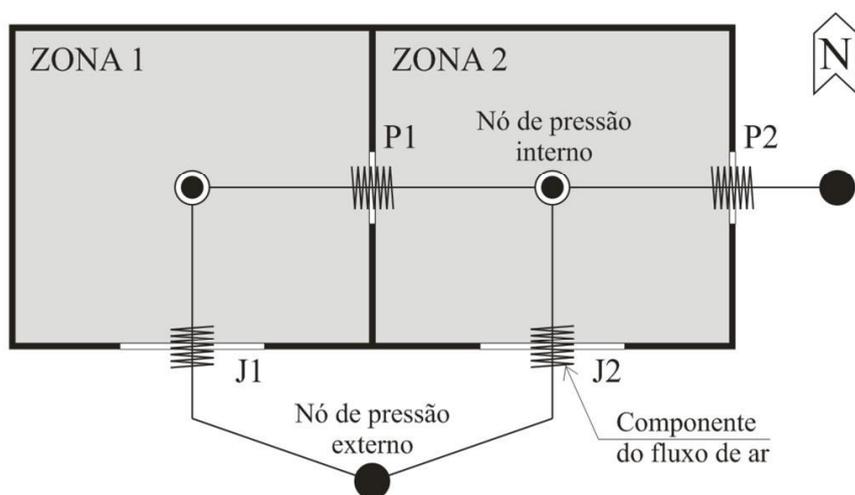


Figura 6: Esquema de uma rede de nós de pressão
Fonte: GOMES, 2012

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho, são apresentadas as informações sobre a edificação, objeto de estudo, sua localização e sua caracterização e os parâmetros de simulação para a avaliação do desempenho térmico por meio do programa computacional de simulação numérica *EnergyPlus* versão 8.6.

3.1 Objeto de estudo

O Lar São Vicente de Paulo (Figura 7), objeto de estudo deste trabalho, é uma instituição filantrópica de longa permanência para idosos (ILPI) localizado na cidade de Ouro Preto-MG. O lar abriga atualmente cerca de 60 idosos de ambos os sexos proporcionando-os abrigo e proteção, além de assistência social, material, espiritual e cuidados com a saúde. É reconhecido como uma entidade filantrópica, sendo pertencente à Sociedade São Vicente de Paulo (SSVP), organização civil de leigos voluntários dedicada ao trabalho cristão de caridade, e subsidiado principalmente pela comunidade ouro-pretana, Prefeitura de Ouro Preto e Fundação Gorceix. Sua fundação é datada de 1942, sendo localizada no mesmo endereço desde 1999.



Figura 7: Idosos no Lar São Vicente de Paulo – Ouro Preto, MG
Fonte: CÂMARA MUNICIPAL DE OURO PRETO, 2012

A edificação do Lar é composta por dois prédios construídos em diferentes níveis interconectados por corredores e rampas. A entrada principal (Figura 8) possui um muro de cor branca com portão de garagem e portão de entrada de pedestres que

não está sendo utilizado. Ao se caminhar em direção à construção, é possível perceber a acessibilidade garantida pelas rampas (Figura 9), fato este que se perpetua no interior dos prédios. Sua arquitetura é caracterizada pelo estilo colonial: cobertura em telhas cerâmicas coloniais, paredes edificadas em alvenaria e em cor branca (Figura 10), além de janelas basculantes com vidro ártico incolor (Figura 11).



Figura 8: Entrada principal do Lar São Vicente de Paulo
Fonte: Acervo da autora, 2019



Figura 9: Acessibilidade do Lar São Vicente de Paulo
Fonte: Acervo da autora, 2019



Figura 10: Paredes e telhado do Lar São Vicente de Paulo
Fonte: Acervo da autora, 2019



Figura 11: Janelas basculantes do Lar São Vicente de Paulo
Fonte: Acervo da autora, 2019

3.2 Etapas da simulação numérica

A simulação numérica, para avaliação do desempenho térmico do Lar São Vicente de Paulo é realizada via *EnergyPlus* versão 8.6 e obedece as seguintes etapas:

- (a) Caracterização climática da cidade;
- (b) Caracterização do objeto de estudo e seu entorno;
- (c) Caracterização da envoltória;
- (d) Critérios de avaliação do desempenho térmico;

3.2.1 Caracterização climática da cidade

A cidade de Ouro Preto localiza-se na mesorregião metropolitana de Belo Horizonte, dentro da microrregião de Ouro Preto, que compreende também Diogo de Vasconcelos, Itabirito e Mariana, segundo o IBGE (1990). Seu clima é tropical de

altitude, com pluviosidade média de 2.018mm/ano e chuvas concentradas no verão (PORTAL OURO PRETO, 2012).

Na tabela 3 mostra-se os dados referentes à latitude, longitude e altitude da cidade de Ouro Preto – MG, na tabela 4, os dados climáticos de Ouro Preto para o dia típico de verão e, na tabela, 5 os dados climáticos de Ouro Preto para o dia típico de inverno.

Tabela 3: Latitude, longitude e altitude da cidade de Ouro Preto

Cidade	Latitude	Longitude	Altitude
Ouro Preto	20° 29' Sul	43° 50' Oeste	1179 m

Tabela 4: Dados climáticos de Ouro Preto para o dia típico de verão

Cidade	Data	Diferença de temperatura diária de bulbo seco (°C)	Diferença de temperatura diária de bulbo úmido (°C)	Temperatura máxima de bulbo seco (°C)	Ponto de condensação da água (°C)	Velocidade do vento (m/s)
Ouro Preto	31/01	11,9 °C	16,7 °C	29,6 °C	12,3°C	6 m/s

Tabela 5: Dados climáticos de Ouro Preto para o dia típico de inverno

Cidade	Data	Diferença de temperatura diária de bulbo seco (°C)	Diferença de temperatura diária de bulbo úmido (°C)	Temperatura máxima de bulbo seco (°C)	Ponto de condensação da água (°C)	Velocidade do vento (m/s)
Ouro Preto	31/07	6,3 °C	16,7 °C	14,4 °C	12,3°C	6 m/s

De acordo com a norma NBR 15220 (ABNT, 2005), Ouro Preto encontra-se na Zona Bioclimática 3. O tipo de fechamento externo recomendado para esta zona e aberturas e sombreamento estão dispostos nas tabelas 6 e 7 respectivamente. Além disso, esta norma também descreve as estratégias bioclimáticas passivas de projeto utilizadas, que estão apresentadas na tabela 8.

Tabela 6: Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a zona Bioclimática 3

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

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005)

Tabela 7: Tipos de fechamento externo para a zona Bioclimática 3

Fechamento externo
Parede: Leve refletora
Cobertura: Leve isolada

Fonte: Adaptado de NBR 15220 (ABNT, 2005)

Tabela 8: Estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona Bioclimática 3

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	<ul style="list-style-type: none">• Ventilação cruzada
Inverno	<ul style="list-style-type: none">• Aquecimento solar da edificação• Fechamento interno pesado (inércia térmica)

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005)

3.2.2 Caracterização do objeto de estudo e seu entorno

O sistema de construção empregado no Lar São Vicente de Paulo é a alvenaria convencional. A sustentação vem dos pilares, vigas e lajes de concreto armado e as cargas transferem-se para o subsolo. A alvenaria tem então a função de fechamento e separação dos ambientes e é constituída por bloco cerâmico. O sistema de cobertura é feito por telha cerâmica, o que caracteriza a edificação por seu estilo colonial, como a maioria das construções ouro-pretanas.

A análise do entorno imediato mostra o elevado adensamento da região, edificada principalmente por residências, poucos pontos comerciais, ausência de praça, escola e bancos, o que torna o bairro carente em serviços e equipamentos urbanos.

A implantação do edifício no terreno acontece com a fachada frontal orientada para o leste, onde incide o sol da manhã, sendo os cômodos nesta fachada: refeitório, cozinha, despensa e varandas. Já a fachada voltada para oeste possui o sol da tarde, aquecendo mais os ambientes, são eles: os quartos, as salas, varandas e depósitos.

Ao redor da construção há vegetações de porte pequeno (Figura 12) e paredes externas de cor branca (Figura 13). Ambas estratégias que contribuem na amenização do ganho de carga térmica pelo edifício, uma vez que dificulta a absorção da radiação solar pela envoltória, que é a principal componente no ganho térmico interno (PRADO;

LUKIANCHUKI; CARAM, 2011). As plantas baixas de toda a edificação estão dispostas nas figuras 14, 15, e 16. As plantas baixas ampliadas com todos os ambientes que são simulados estão nas figuras 17, 18 e 19.



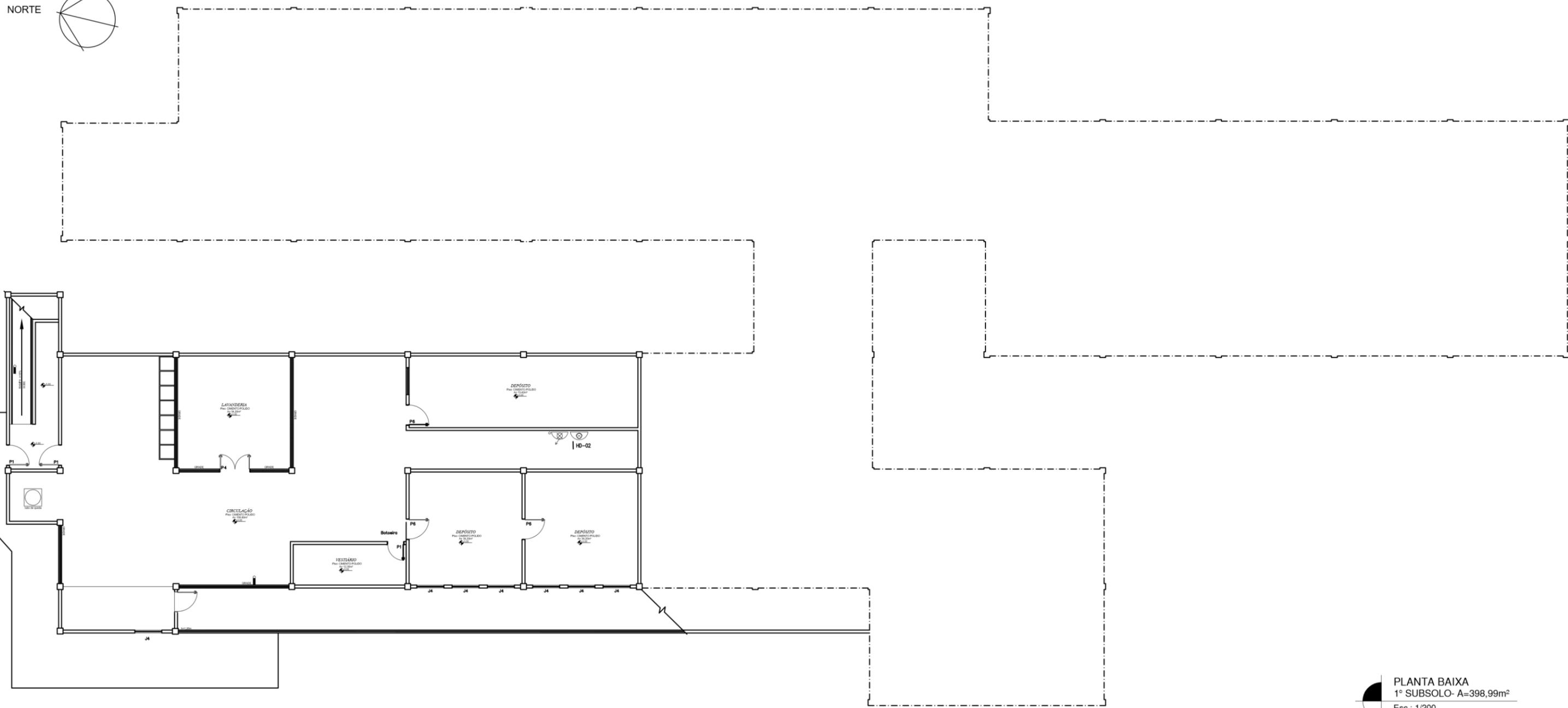
Figura 12: Vegetação ao redor da edificação
Fonte: Acervo da autora, 2018



Figura 13: Paredes externas do Lar São Vicente de Paulo de cor branca
Fonte: Acervo da autora, 2018

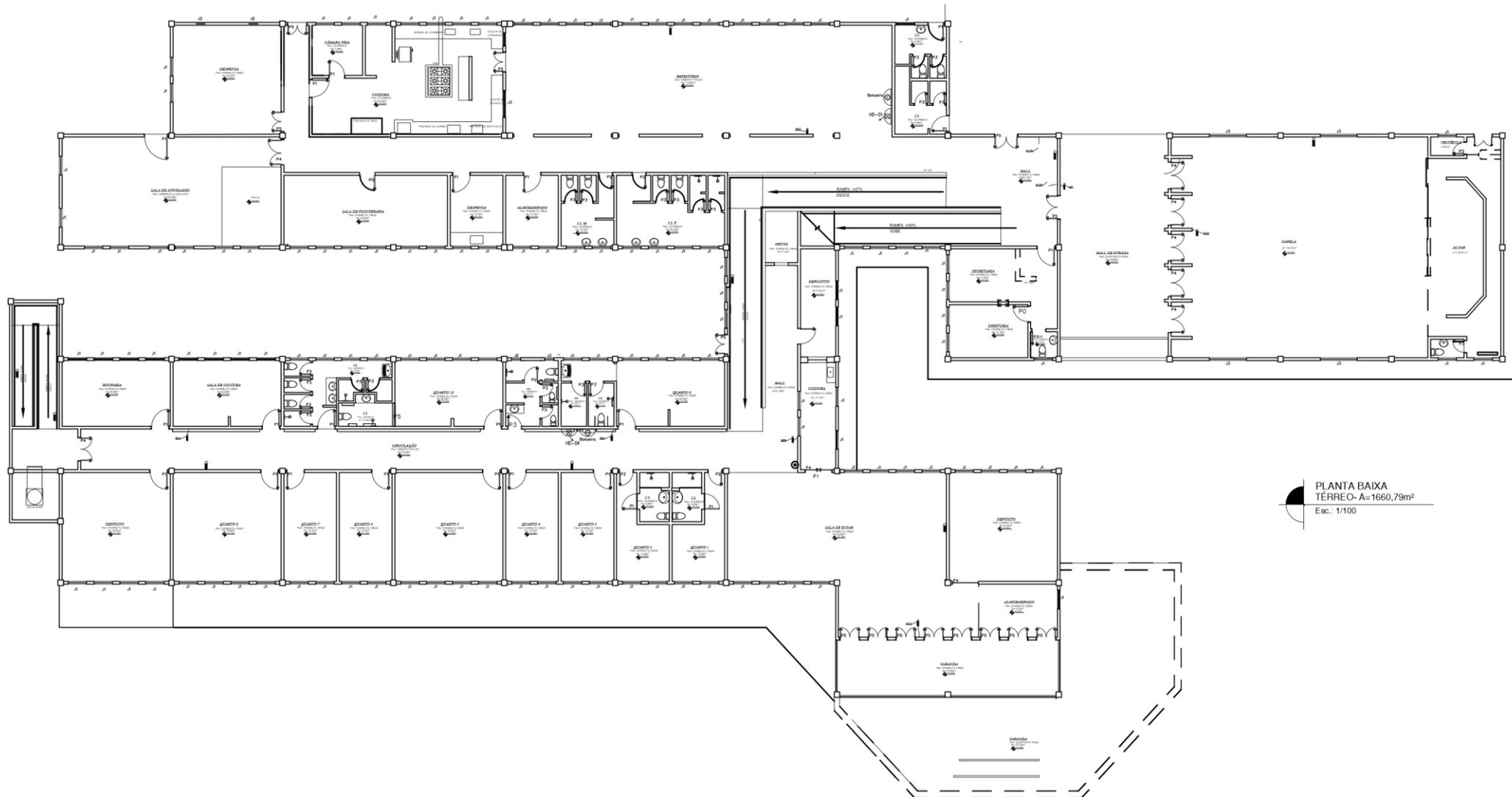
São simulados todos os recintos com as fachadas voltadas para o oeste, devido estas

serem de maior insolação, além de representarem cômodos de maior permanência, como quartos e salas. A ventilação natural é simulada pelo módulo *AirflowNetwork*, uma vez que este modelo, apesar de complexo, traz resultados mais próximos do real se comparados com o modelo simplificado. Além disso, a edificação está em uso, o que requer soluções de conforto práticas e realísticas.



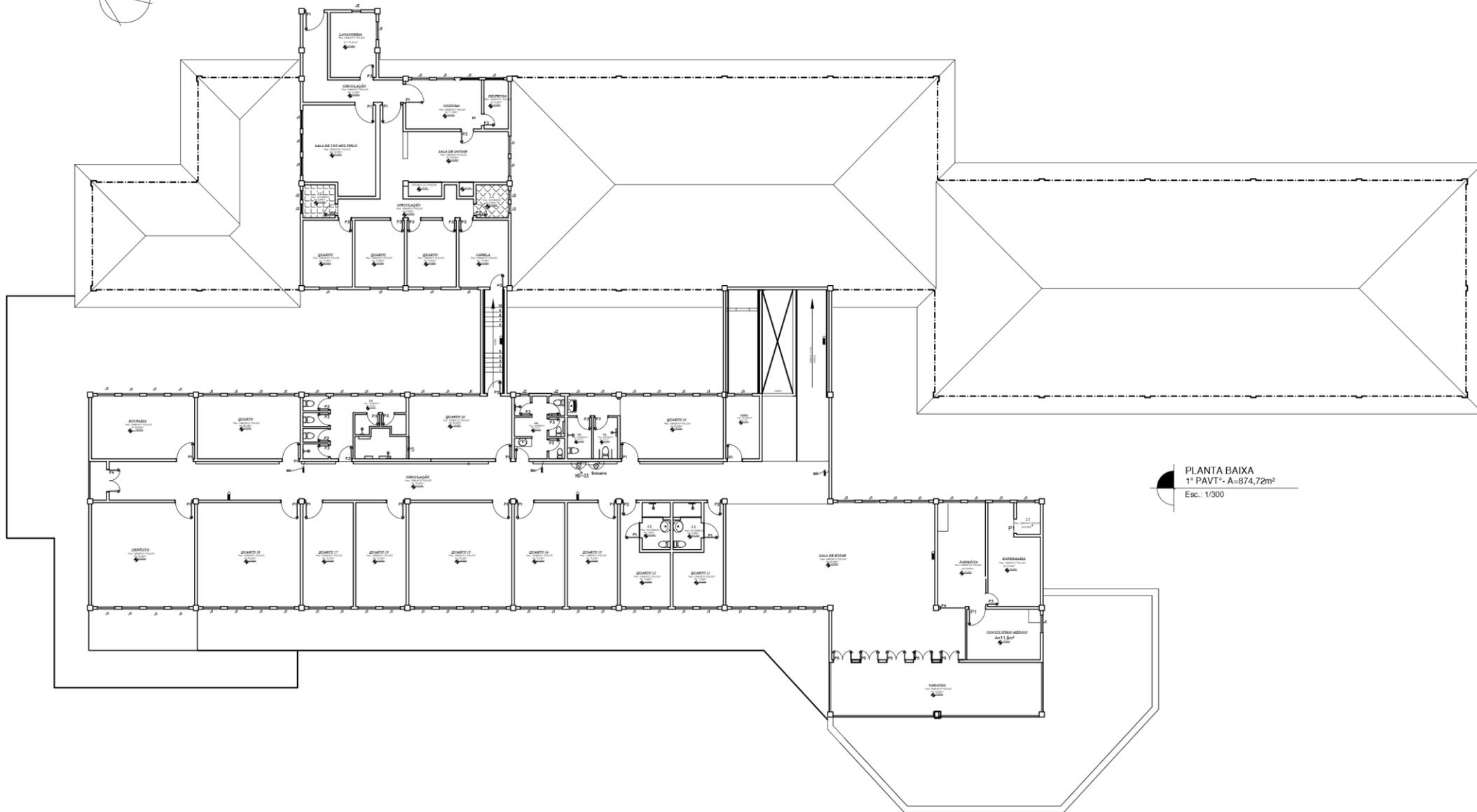
PLANTA BAIXA
1º SUBSOLO- A=398,99m²
Esc.: 1/200

Figura 14: Planta baixa subsolo do Lar São Vicente de Paulo sem escala



PLANTA BAIXA
TÉRREO- A=1660,79m²
Esc.: 1/100

Figura 15: Planta baixa térreo do Lar São Vicente de Paulo sem escala



PLANTA BAIXA
1º PAVT - A=674,72m²
Esc.: 1/300

Figura 16: Planta baixa 1º pavimento do Lar São Vicente de Paulo sem escala

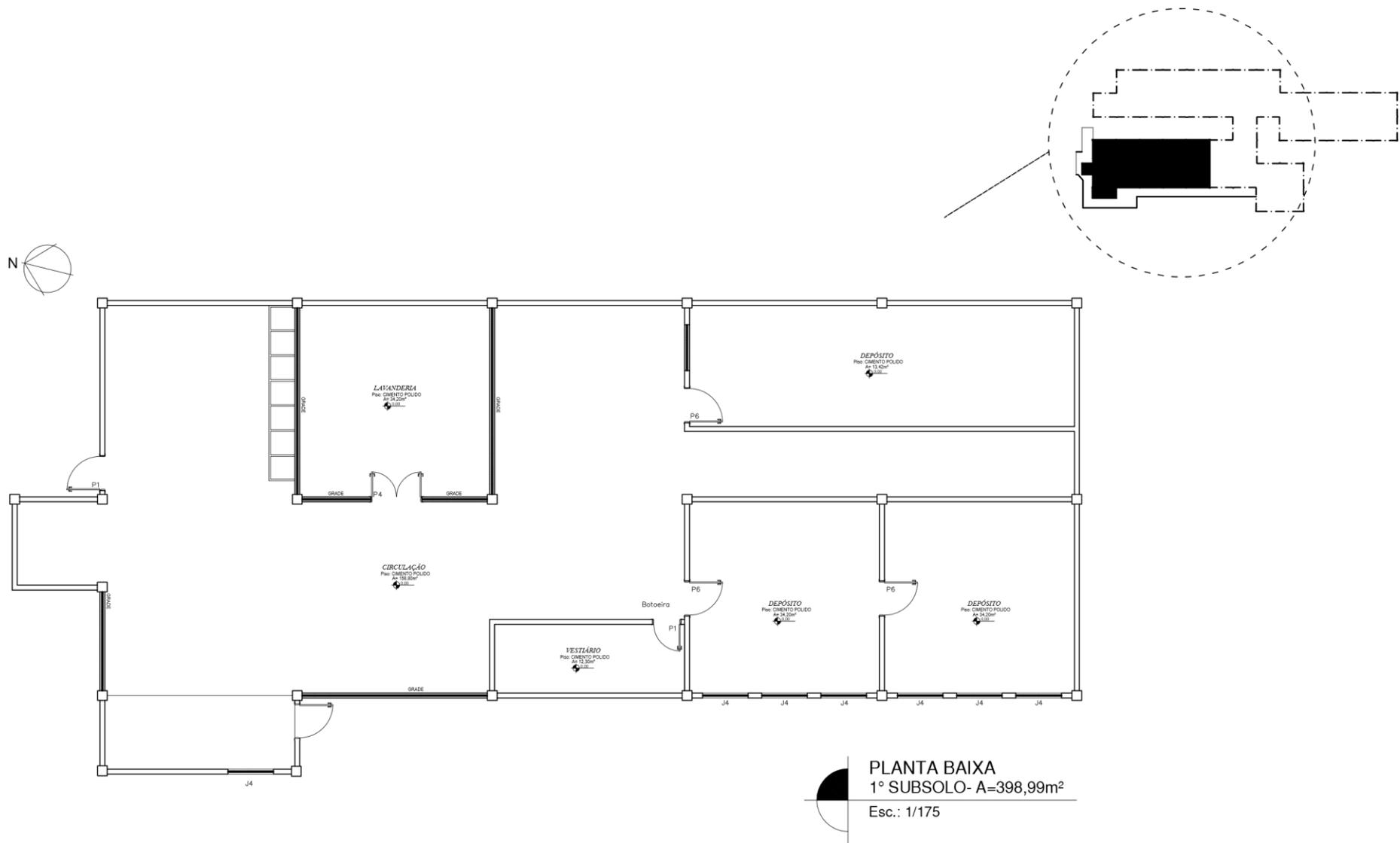
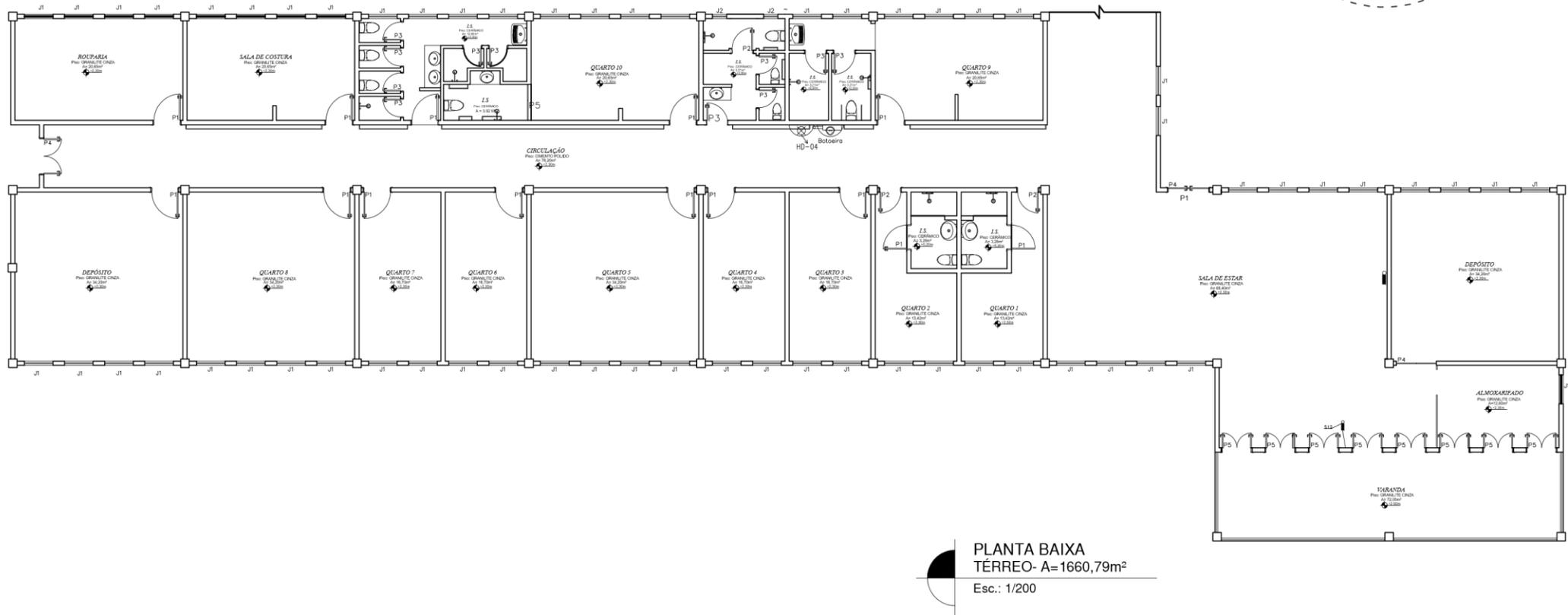
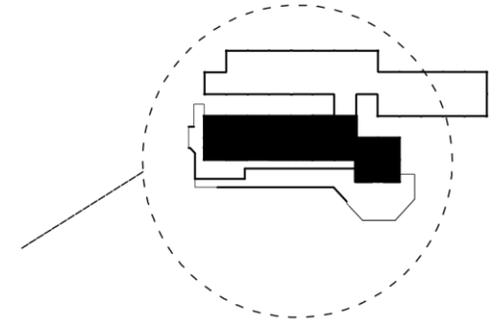
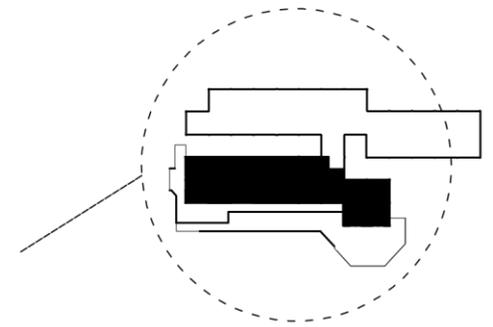
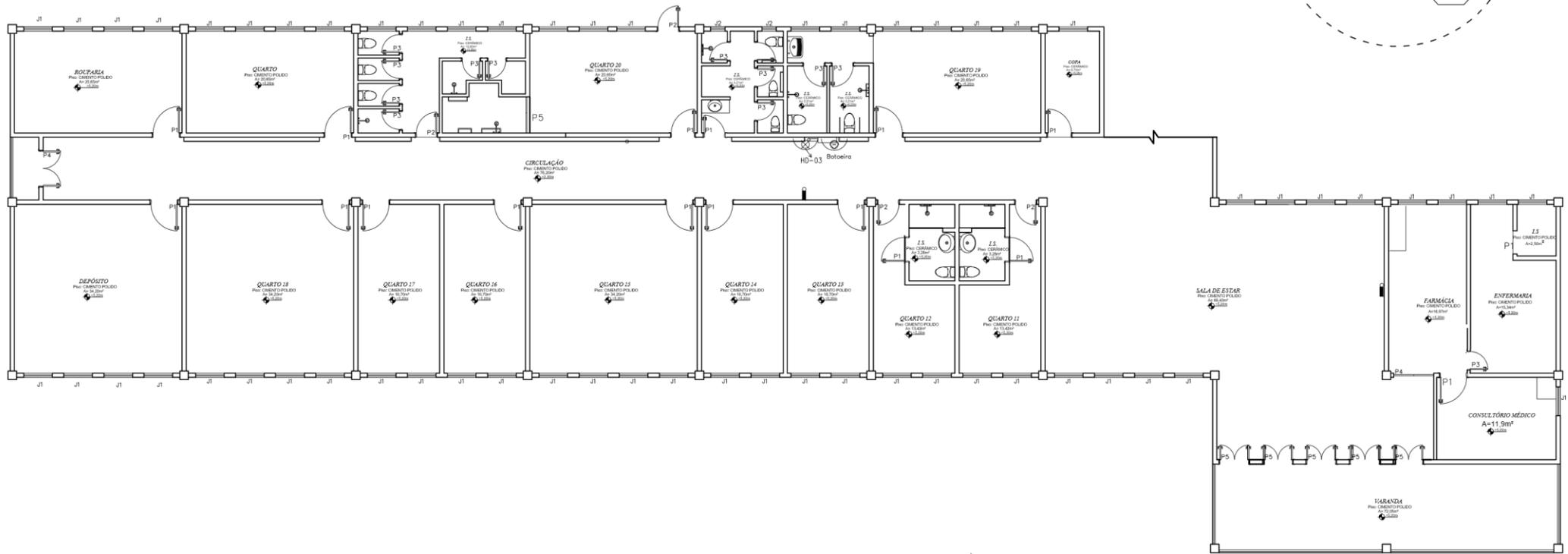


Figura 17: Planta dos ambientes do subsolo que são avaliados via simulação numérica – sem escala



PLANTA BAIXA
TÉRREO- A=1660,79m²
Esc.: 1/200

Figura 18: Planta dos ambientes do térreo que são avaliados via simulação numérica – sem escala



PLANTA BAIXA
1º PAVTº- A=874,72m²
Esc.: 1/200

Figura 19: Planta dos ambientes do 1º pavimento que são avaliados via simulação numérica – sem escala

3.2.3 Caracterização da envoltória

O fechamento da edificação, seu sistema de construção e espessura estão dispostos na tabela 9. As propriedades termofísicas dos materiais componentes estão mostradas na tabela 10.

Tabela 9: Fechamento, espessura e sistema de construção ou materiais

Fechamento	Espessura (m)	Sistema de construção/ Materiais
Parede externa	0,1 + 0,025	Bloco cerâmico + Argamassa
Parede interna	0,1 + 0,025	Bloco cerâmico + Argamassa
Cobertura	0,15 + 0,01	Laje de concreto + Telha cerâmica
Pisos	0,015	Granilite
Janelas	0,003	Vidro ártico incolor
Portas	0,035	Madeira

Tabela 10: Propriedades termofísicas dos materiais da construção

Materiais	Condutividade térmica λ (W/m.k)	Massa específica ρ (kg/m³)	Calor específico c (J/kg.K)
Bloco cerâmico	0,7	1700	920
Argamassa ABNT	1,15	1950	1000
Concreto	1,75	2400	1000
Telha cerâmica	1,05	2000	920
Granilite	1,2	2000	1000
Vidro	0,9	2500	840
Madeira	0,15	550	2300

Há diversos fatores que influenciam diretamente no desempenho térmico da edificação, como por exemplo a cor das paredes externas, bem como seus materiais. A absorvância solar está relacionada à capacidade de absorção da radiação solar de uma dada superfície em razão da taxa de radiação solar incidente na mesma. Dessa maneira, ela pode ser definida conforme a cor e características dessa superfície.

O Lar São Vicente de Paulo possui paredes brancas, o que a caracteriza como cor clara, sendo o valor da absorvância solar para cor clara 0,3 segundo a NBR15220 (ABNT, 2005). A transmitância térmica (U) é um indicador de grande relevância de desempenho térmico das edificações. Segundo Roriz (2008) ela é definida como “o

fluxo de calor que, na unidade de tempo e por unidade de área, passa através do componente, para uma diferença unitária entre as temperaturas do ar em contato com cada uma das faces desse mesmo componente”. Além disso, a capacidade térmica (C_T) é outro fator determinante para o desempenho térmico da edificação. Ela está relacionada à energia necessária para alterar em 1°C a temperatura de um ambiente. Dessa forma, os cálculos da transmitância térmica e da capacidade térmica (C_T) da parede (envoltória) estão apresentados no APÊNDICE A.

3.2.4 Critérios de avaliação do desempenho térmico

Há diferentes índices de conforto térmico criados por pesquisadores que servem como base para a avaliação do desempenho térmico. Tais índices combinam fatores ambientais e respostas fisiológicas do corpo humano a fim de estimar a sensação térmica das pessoas (FERREIRA, 2016).

As duas abordagens mais aceitas referentes aos índices de conforto térmico são: a abordagem analítica e a abordagem adaptativa. A abordagem analítica utiliza modelos analíticos ou não reais para embasar sua teoria. Ela equaciona as trocas térmicas entre o corpo humano e o ambiente envolvido em estado de homeostase e é usada para ambientes internos, sendo referência para diversas normas existentes.

Já a abordagem adaptativa é oriunda de pesquisas de campo em edifícios reais, onde os usuários já estão inseridos no mesmo e, por isso, são levados em consideração. A sensação de conforto térmico é obtida segundo a condição destes usuários em suas atividades cotidianas. Com esse modelo, as pessoas não são receptoras passivas do ambiente em que estão inseridas, mas interagem com ele adaptando-se ao clima (FERREIRA, 2016).

Para este trabalho, o critério utilizado para a avaliação do desempenho térmico é feito com base na hipótese adaptativa. Esta teoria se aplica melhor às edificações naturalmente ventiladas, como é o caso do Lar São Vicente de Paulo, e seus resultados se mostram satisfatórios e realísticos, já que, como sugere o nome, a abordagem adaptativa considera que o indivíduo se adequa às condições ambientais conforme a temperatura varia ao longo do dia, tornando o ambiente mais confortável e adaptável.

Com este conceito, foram realizados estudos estatísticos a fim de estimar a temperatura na qual a média dos participantes de mesmas características físicas (idade, sexo e peso) estavam em conforto, habitualmente chamada de “temperatura de conforto” ou “temperatura neutra” ou, ainda, a temperatura em que o maior número de pessoas estariam confortáveis (NICOL; HUMPHREYS; ROAF, 2012). Assim, depois de inúmeras pesquisas, é formulada uma equação com limites de 80% e 90% de aceitabilidade para o conforto térmico humano, segundo DeDear e Brager (2002), descrita como:

$$T_{\text{aceitável}} = 0,31T_0 + 17,8 \pm T_{\text{lim}} \quad (1)$$

onde $T_{\text{aceitável}}$ define os limites aceitáveis das zonas (°C); T_0 é a temperatura externa média para a pesquisa (°C); T_{lim} é o intervalo aceitável das temperaturas (para 80% ou 90% dos ocupantes estarem satisfeitos). Os limites dados são $T_{\text{lim}}(80) = 3,5^\circ\text{C}$ e $T_{\text{lim}}(90) = 2,5^\circ\text{C}$, respectivamente (FERREIRA, 2016, p. 66).

Para o Lar São Vicente de Paulo, o T_{lim} utilizado é para 80% dos ocupantes satisfeitos, uma vez que o T_{lim} para 90% dos ocupantes satisfeitos é utilizado para edificações especiais, como hospitais e escolas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O desenho completo da edificação é realizado utilizando-se o *plugin Euclid* para o *software* de criação em 3D *SketchUp* versão 2017 (Figura 20). Com este *plugin* é possível obter eficiência em ganho de tempo se comparado com o método de desenho por meio das coordenadas cartesianas criado pelo *EnergyPlus*.

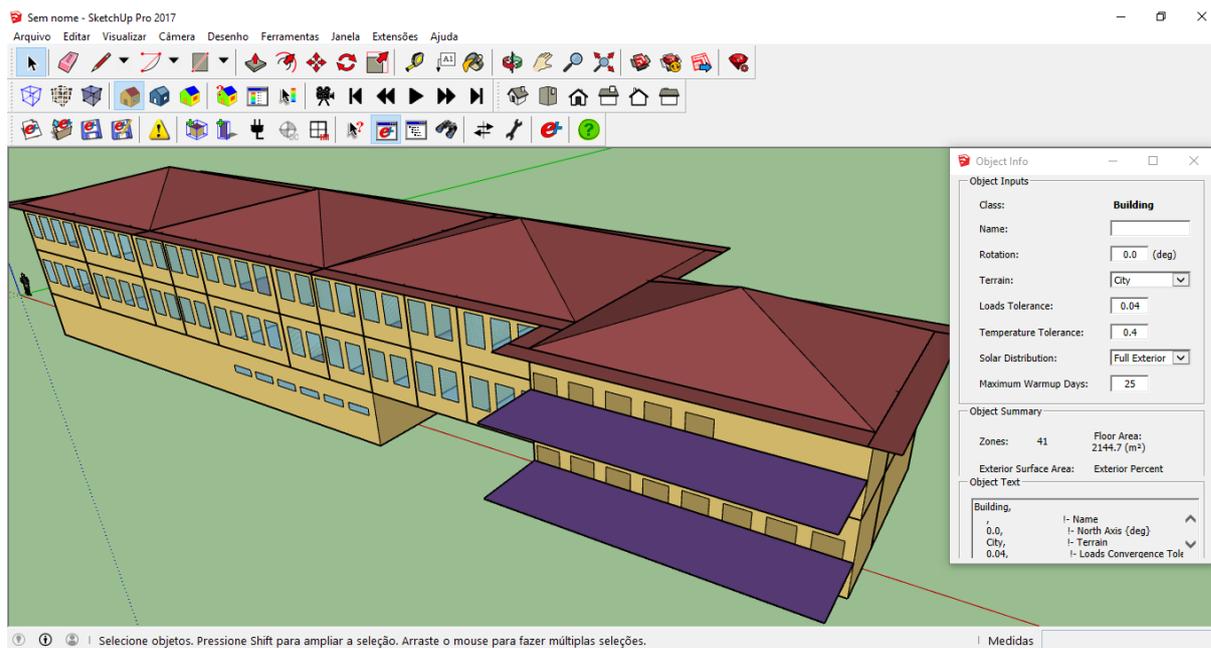


Figura 20: Interface do programa SketchUp versão 2017 com a edificação modelada e utilizando-se o plugin Euclid
Fonte: Acervo da autora (2019)

A partir da inserção de todos os dados já mencionados anteriormente para a simulação numérica acontecer, os resultados gerados são em relação a variação da temperatura interna de cada zona térmica ao longo do dia. O programa os exibe sob forma de planilhas com extensão CSV (*Comma Separated Values*) ou seja, valores separados por vírgula e a partir disso geram-se gráficos que permitem avaliar detalhadamente cada ambiente do edifício e comparar a temperatura externa com a temperatura interna dos ambientes e compará-la com o limite da temperatura de conforto já mencionado anteriormente.

4.1 Resultados e análises

Como já mencionado no subtítulo 2.1 deste trabalho, a avaliação do desempenho térmico de edificações por meio da simulação numérica necessita de atendimento às exigências de desempenho no verão e no inverno, conforme descrições da norma NBR 15575 (ABNT, 2013). Para o verão, o requisito mínimo é a edificação apresentar temperatura interna máxima menor ou igual a temperatura externa máxima. Já para o inverno, o requisito mínimo é que a temperatura interna mínima deve ser maior ou igual à temperatura externa mínima acrescida de 3°C, considerando os dias típicos de verão e inverno respectivamente. Além disso, há também os requisitos intermediários e superiores, ou seja, aqueles que satisfazem a um maior número de pessoas e suas premissas estão dispostas nas tabelas 1 e 2.

A fim de verificar se a edificação simulada atende à normativa, e, conseqüentemente, apontar possíveis soluções de impacto positivo para o conforto térmico, são simulados todos os recintos da edificação e comparados apenas o quarto 20, quarto 24, quarto 34 e sala, primeiro pavimento, por estes servirem como exemplo de localização e volumes distintos. Na Figura 21 apresenta-se a planta baixa da edificação sem escala com a identificação dos cômodos analisados nos gráficos.

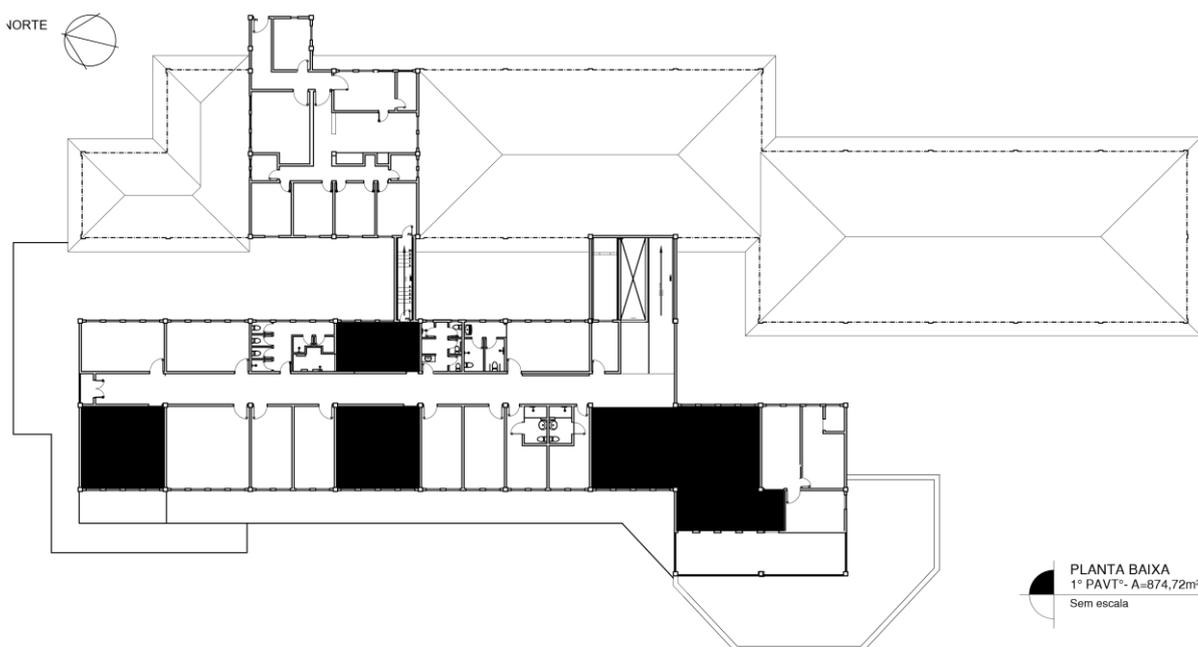


Figura 21: Identificação dos cômodos analisados na simulação
Fonte: Acervo da autora (2019)

Nas figuras 22 e 23 são apresentados os gráficos com valores em °C da temperatura do ar das zonas simuladas de hora em hora ao longo de um dia inteiro, para os dias típicos de verão e inverno da cidade de Ouro Preto, além da variação da temperatura externa. Há ainda, os limites de conforto térmico previamente estabelecidos pela equação (1) e constantes de temperatura para níveis de desempenho mínimo, inferior, intermediário e superior adotados pela norma NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

O gráfico para o dia típico de verão (Figura 22) mostra que as curvas de variação das temperaturas dos quartos e sala estão próximas, o que evidencia que a temperatura interna teve pouca discrepância. A temperatura na sala é a que mais se distanciou, provavelmente por seu volume ser maior e por conter portas como aberturas externas, ao invés de janelas.

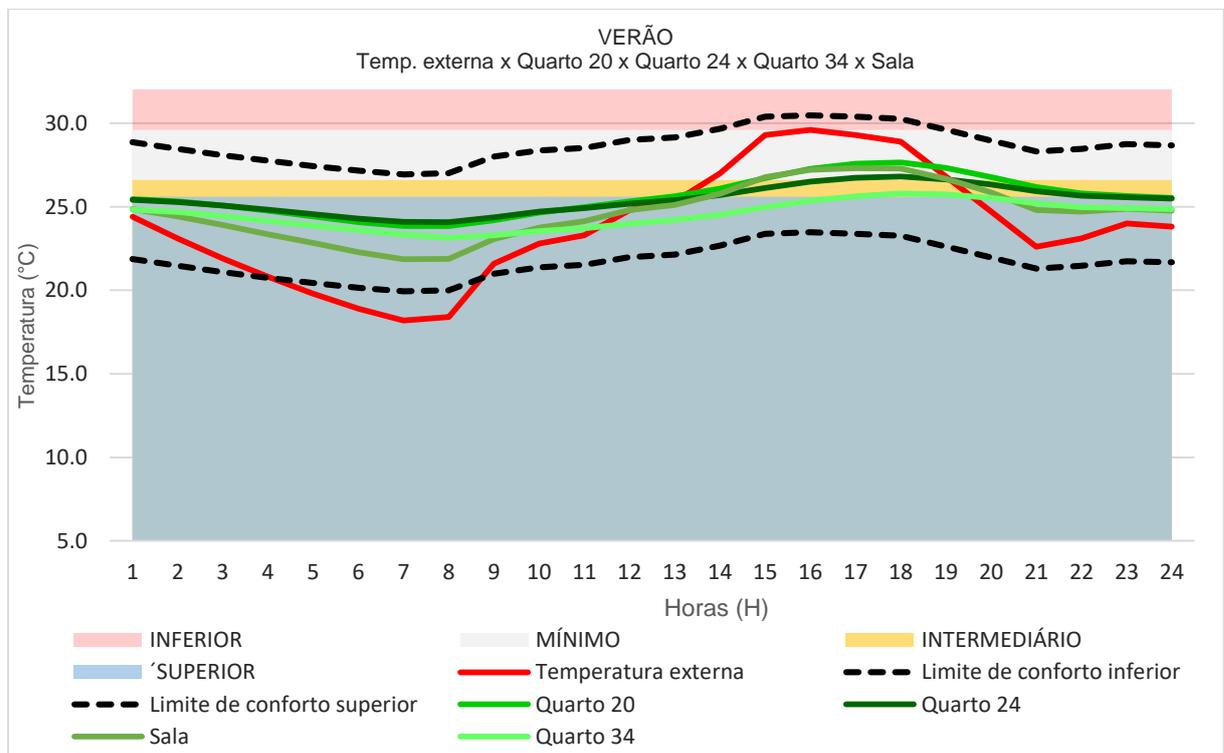


Figura 22: Gráfico para o dia típico de verão comparando as temperaturas externa e interna dos cômodos em °C ao longo do dia em horas

Observa-se ainda no gráfico mostrado na figura 22, as temperaturas das zonas analisadas para o dia típico de verão, ou seja, o dia com temperaturas mais elevadas, se mantiveram dentro do limite estabelecido pelo modelo de conforto adotado para análise. Comparando a temperatura externa com as temperaturas internas, percebe-

se um amortecimento do pico da temperatura e que sua ocorrência acontece posteriormente ao pico da temperatura externa (atraso térmico), indicando uma boa inércia térmica da edificação. Por conseguinte, pode-se afirmar que para o verão de Ouro Preto, o Lar São Vicente de Paulo apresenta temperaturas internas confortáveis para o maior número de usuários.

O gráfico apresentado na figura 23 apresenta informações para o dia típico de inverno. Neste caso, as temperaturas internas dos cômodos também se mantiveram próximas, evidenciadas pela proximidade das curvas. Entretanto, o gráfico torna claro que as temperaturas internas fazem a curva próxima à temperatura externa, no período vespertino, estando muito abaixo dos limites pré-estabelecidos de conforto térmico adaptativo, mais especificadamente, as curvas se encontram dentro dos limites inferior, mínimo e intermediário de desempenho térmico estabelecido pela norma NBR 15.575 (ABNT, 2013), mas fora abaixo do limite conforto, conforme equação (1). Sendo assim, é possível concluir que há desconforto térmico causado pelo frio durante o inverno para a maioria dos ocupantes do Lar São Vicente de Paulo em Ouro Preto.

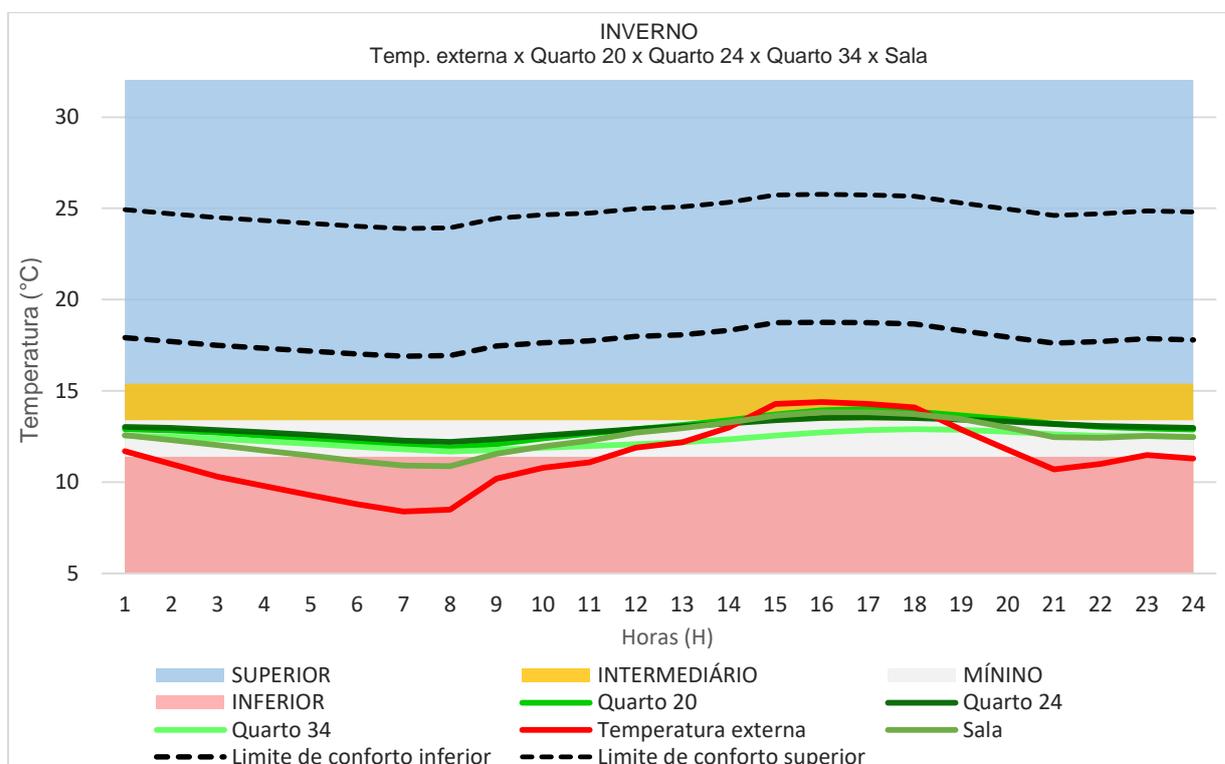


Figura 23: Gráfico para o dia típico de inverno comparando as temperaturas externa e interna dos cômodos em °C ao longo do dia em horas

4.2 Estratégias para adequação ao conforto térmico

Com o resultado da simulação inadequado para o atendimento às normas de desempenho térmico e também para o conforto térmico dos ocupantes do Lar São Vicente de Paulo para o inverno, propor melhorias para o aquecimento da edificação nesta estação torna-se necessário.

Uma das estratégias bioclimáticas passiva possível de ser utilizada é o aquecimento solar passivo por meio do ganho direto. Esta proposta consiste em se utilizar a radiação solar direta para o aquecimento da edificação. As janelas e portas envidraçadas são as protagonistas desta técnica: os raios solares infiltram nos cômodos por meio das transparências dos vidros.

Há diferentes formas de se obter o aquecimento solar passivo pelo ganho direto. Nas ilustrações apresentadas nas figuras 24 e 25 ilustra-se um esquema onde o ganho de calor acontece por meio de uma superfície transparente orientada ao Equador. Como a altura solar é mais baixa no inverno, o sol incide diretamente nesta superfície coletora, proporcionando ganho térmico direto ao ambiente. Já no verão, o anteparo bloqueia a radiação, conforme seu correto dimensionamento. Para ambos os casos, é possível utilizar cortinas internas para controle da incidência de luz direta no ambiente (CUNHA, 2006).

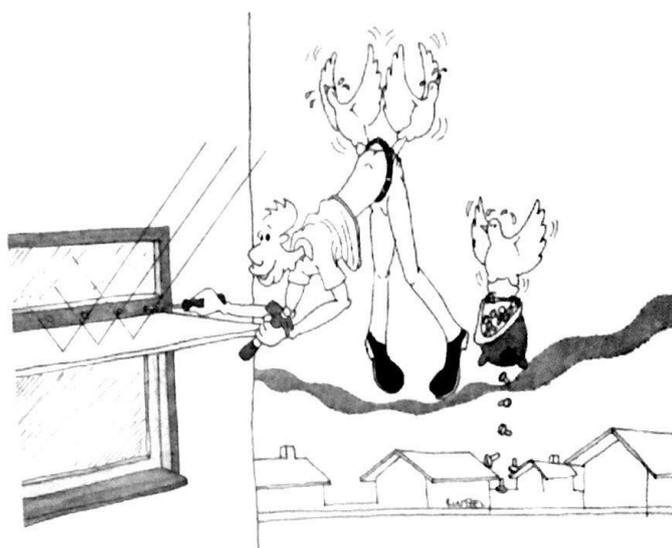


Figura 24: Aquecimento solar passivo – Ganho direto
Fonte: CUNHA, 2006

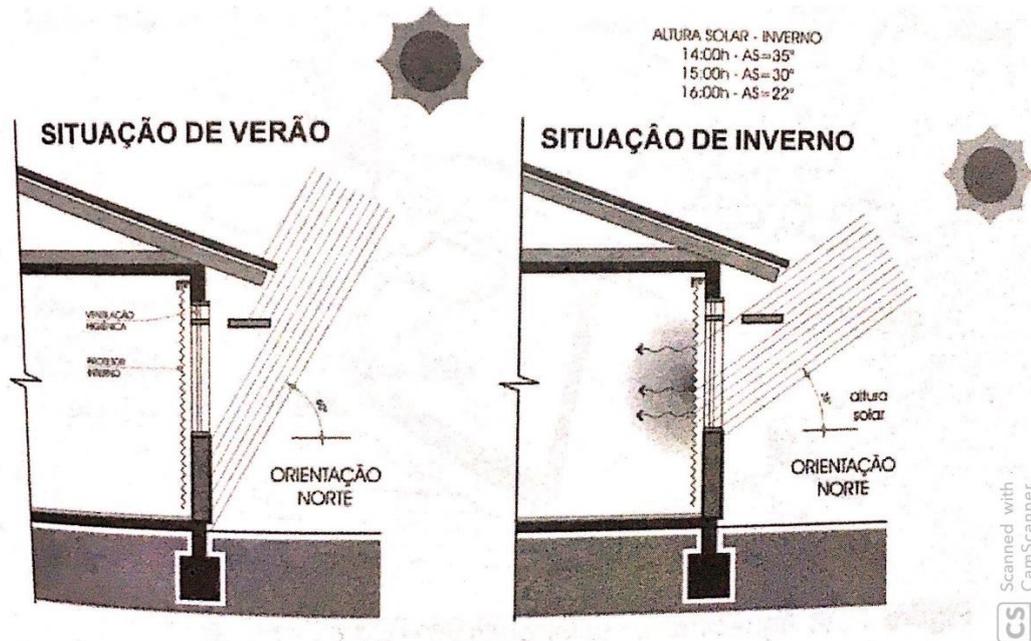


Figura 25: Esquema aquecimento solar passivo – Ganho direto
 Fonte: CUNHA, 2006

Outra estratégia bioclimática passiva que pode ser feita no Lar é a troca dos pisos internos. O piso granilite é caracterizado por ser um material de alta inércia térmica causando sensação de esfriamento e desconforto. Sendo assim, como exemplo, a troca pode ser feita pelo material madeira laminada nos quartos e salas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho está focado na temática do desempenho térmico das edificações e conforto térmico proporcionado ao usuário. O Lar São Vicente de Paulo, um edifício social, é o objeto de estudo em questão, avaliando-se o desempenho térmico e a adequação para o conforto de seus ocupantes. A inserção ao tema proposto é dada ao demonstrar a importância dos conceitos da arquitetura bioclimática para o projeto arquitetônico, confrontando com as normas técnicas que tratam do desempenho em edificações, além de identificar as estratégias passivas de projeto com base nestas.

A simulação numérica, um dos focos do trabalho, é de grande relevância para a avaliação do desempenho térmico e da eficiência energética das construções. É por meio das simulações, feitas para o projeto arquitetônico ou para a construção já edificada, que se consegue prever ou mesmo fazer uma avaliação pós ocupação a fim de diminuir os gastos energéticos, adequar o conforto térmico ao usuário ou mesmo avaliar se a edificação atende os requisitos propostos pela norma.

O estudo da avaliação do desempenho térmico do Lar São Vicente de Paulo – Ouro Preto por meio do programa *EnergyPlus* permite entender que a edificação não atende a todos os requisitos da norma e também não possui conforto térmico adequado para os idosos no período de inverno. É importante salientar que a norma garante desempenho térmico à edificação, mas não conforto térmico ao usuário, o que evidencia que a análise dos dois conceitos mencionados necessitam ser distintas, assim como é realizado no presente trabalho.

Sendo assim, para que haja atendimento às normas e conforto térmico ao usuário, é necessário a análise e simulação criteriosa da habitação, comparando os resultados com equações de conforto e desempenho previamente estudadas e normatizadas. Além disso, se a edificação já estiver em uso, é interessante e de total relevância a criação de questionários aos ocupantes a fim de adequar seu conforto térmico. É preciso entender uma série de fatores que interferem para propiciar conforto térmico ao maior número de pessoas, sendo cada indivíduo único e diferente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKUTSU, M. **Método para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil**. Orientador: Ualfrido Del Carlo. 1998. 156 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

ARTIGO CONFORTO: Comparativo térmico: parede de tijolos cerâmicos x blocos de concreto. 2017. Disponível em: <https://www.cliquearquitetura.com.br/aQQWV/artigo/comparativo-termico-parede-de-tijolos-ceramicos-x-blocos-de-concreto.html>. Acesso em: 20 jun. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005. 92 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edifícios habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013. 381 p.

BARDOU P.; ARZOUMANIAN V. **Sol Y Arquitectura**. 3 ed. Barcelona: Gilli, 1984. 171 p.

BITTENCOURT L.; CÂNDIDO C. **Introdução à ventilação natural**. 3 ed. Maceió: EdUFAL, 2008. 173 p.

BOGO A.; PIETROBON C. E.; BARBOSA J. M.; GOULART S.; PITTA T.; LAMBERTS R. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico**. Núcleo de Pesquisa em Construção do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, 1994.

BOWER, J. **Understanding Ventilation: How to design, select, and install residential ventilation systems**. The Healthly House Institute, 1995. 428p.

BROWN G. Z.; DEKAY M. **Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2004. 415 p.

CAMARA MUNICIPAL DE OURO PRETO: Dia municipal do idoso é comemorado pela Câmara de Ouro Preto. 2012. Disponível em: http://www.cmop.mg.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1810:dia-municipal-do-idoso-e-comemorado-pela-camara-de-ouro-preto&catid=65:outros. Acesso em: 15 nov. 2018.

CAPELLO J. Construções eficientes. **Revista Técnica**. São Paulo: Pini. nº 111. 2006

CONSTRUÇÃO sustentável: a importância do brise na arquitetura bioclimática. 2017. Disponível em: <https://sustentarqui.com.br/brise-arquitetura-bioclimatica/>. Acesso em: 20 nov. 2018.

CUNHA E. G (Org.). **Elementos de arquitetura de climatização natural**. 2 ed. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2006. 188 p.

DEDEAR, R.; BRAGER, G. S. Thermal Comfort in Naturally Ventilated Buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55. **Energy and Buildings**, v. 34, 2002. p.549-564.

FERREIRA C. C. **Análise de sensibilidade por meio de experimento fatorial de parâmetros de desempenho térmico de envoltórias de edificações residenciais: contribuição à revisão das normas brasileiras.** Orientador: Henor Artur de Souza. 2016. 437 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. 2016.

GIVONI, B. Comfort climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1. 1992.

GOMES A. P. **Avaliação do desempenho térmico de edificações unifamiliares em light steel framing.** Orientador: Henor Artur de Souza. 2007. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2007.

GOMES A. P. **Método de avaliação do desempenho térmico de edifícios comerciais e residenciais em Light Steel Framing.** Orientador: Henor Artur de Souza. 2012. 147 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. 2012.

IBGE. Divisão Regional do Brasil em mesorregiões e microrregiões geográficas. Diretoria de Geociências. Departamento de Geografia. v. 1. Rio de Janeiro: 1990. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv2269_1.pdf. Acesso em: 16 nov. 2018.

IZARD J. L.; GUYOT A. **Arquitetura bioclimática.** Barcelona: Gustavo Gilli, 1983. 191 p.

MASCARÓ L. E. R. **Luz, Clima e Arquitetura.** 3 ed. São Paulo: Nobel, 1983. 189 p. apud BOGO A.; PIETROBON C. E.; BARBOSA J. M.; GOULART S.; PITTA T.; LAMBERTS R. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico.** Núcleo de Pesquisa em Construção do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, 1994.

NICOL, F.; HUMPHREYS, M.; ROAF, S. **Adaptative Thermal Comfort: principles and practice.** [S.l.]: Routledge, 2012.

OLGYAY, V. **Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas.** Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

PEREIRA H. A. C.; MELO A. P.; VERSAGE R.; SORGATO M.; LAMBERTS R. **Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa EnergyPlus – versão 8.0.** Florianópolis: LabEEE, 2013. 56 p.

PORTAL OURO PRETO. Dados gerais: clima. 2012. Disponível em: <http://www.ouopreto.com.br/dados-gerais>. Acesso em: 14 nov. 2018

PRADO M. F. A.; LUKIANTCHUKI M. A.; CARAM R. M. Estratégias passivas de conforto térmico: o caso do hospital escola de São Carlos-SP. In: ENCONTRO NACIONAL E LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 9, 7, Búzios - RJ, 2011. **Anais... XIENCAC e VIELACAC.** Disponível

em: <http://www.infohab.org.br/encac/files/2011/topico3artigo1.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2018.

RORIZ M. **Apostila da disciplina conforto e desempenho térmico de edificações**. Programa de Pós-Graduação em Construção Civil do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos. São Carlos: 2008. 63 p. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/geese/seqe/wp-content/uploads/2010/11/Apostila.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2019.

RUAS A. C. **Conforto térmico nos ambientes de trabalho**. 1 ed. São Paulo: Fundacentro, 1999. 94 p.

SOCIEDADE DE SÃO VICENTE DE PAULO. **A sociedade de São Vicente de Paulo**. Home. Disponível em: <http://www.ssvpbrasil.org.br/a-ssvp/>. Acesso em: 18 nov. 2018.

SOUZA, H. A. de; AMPARO, L. R.; GOMES, A. P. Influência da Inércia Térmica do Solo e da Ventilação Natural no Desempenho Térmico: um estudo de caso de um projeto residencial em light steel framing. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 113-128, out./dez. 2011.

APÊNDICE A

Cálculo do transmitância térmica e capacidade térmica das paredes.

Transmitância térmica (U):

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (1.0)$$

Onde:

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} \quad (2.0)$$

R_T é a resistência térmica total

R_{si} e R_{se} são as resistências superficiais externa e interna, respectivamente, obtidas na tabela A.1 da NBR 15220 (ABNT, 2005)

A figura 20 ilustra a parede do Lar, a qual é calculada sua transmitância térmica

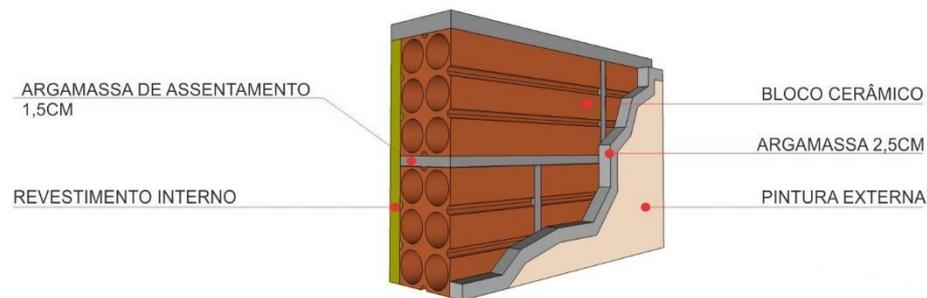


Figura 26: Perspectiva de parede de tijolos cerâmicos de seis furos e com argamassa em ambas as faces

Fonte: ARTIGO CONFORTO..., 2017

Dados:

Dimensões do tijolo: 32cm x 16cm x 10cm

Para a câmara de ar, $R_{ar} = 0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ (espessura da câmara de ar = 3,0 cm, fluxo horizontal)

ρ bloco cerâmico = 1700 kg/m³

λ bloco cerâmico = 0,7 W/(m.K)

c bloco cerâmico = 0,92 kJ/(kg.K)

ρ argamassa = 1950 kg/m³

λ argamassa = 1,15 W/(m.K)

c argamassa = 1,00 kJ/(kg.K)

Sendo assim:

A) Resistência térmica da parede:

Seção A (argamassa + argamassa + argamassa)

$$A_a = 0,01\text{m} \times 0,32\text{m} + 0,01\text{m} \times 0,17\text{m} = 0,0049 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,1}{1,15} + \frac{0,025}{1,15} = 0,1304 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

Seção B (argamassa + bloco cerâmico + argamassa)

$$A_b = 0,01\text{m} \times 0,32\text{m} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + \frac{e_{\text{bloco cerâmico}}}{\lambda_{\text{bloco cerâmico}}} + \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} =$$

$$\frac{0,025}{1,15} + \frac{0,1}{0,7} + \frac{0,025}{1,15} = 0,1500 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

Seção C (argamassa + bloco cerâmico + câmara de ar + bloco cerâmico + câmara de ar + bloco cerâmico + argamassa)

$$A_c = 0,04\text{m} \times 0,32\text{m} = 0,0128 \text{ m}^2$$

$$R_c = \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + \frac{e_{\text{bloco cerâmico}}}{\lambda_{\text{bloco cerâmico}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{bloco cerâmico}}}{\lambda_{\text{bloco cerâmico}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{bloco cerâmico}}}{\lambda_{\text{bloco cerâmico}}} +$$

$$\frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}}$$

$$R_c = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,015}{0,7} + 0,16 + \frac{0,01}{0,7} + 0,16 + \frac{0,015}{0,7} + \frac{0,025}{1,15} = 0,4206 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = \frac{A_a + 4A_b + 3A_c}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{4A_b}{R_b} + \frac{3A_c}{R_c}} = \frac{0,0049 + 4(0,0032) + 3(0,0128)}{\frac{0,0049}{0,1304} + \frac{4(0,0032)}{0,1500} + \frac{3(0,0128)}{0,4206}} = \frac{0,0561}{0,2141} = 0,2620 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

B) Resistência térmica total:

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} \quad \mathbf{(2.0)}$$

$$R_T = 0,13 + 0,2620 + 0,04 = 0,432 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

C) Transmitância térmica (U):

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (1.0)$$

$$U = \frac{1}{0,432}$$

$$U = 2,31 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$$

Capacidade térmica (C_T):

$$C_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{C_{Tn}}} \quad (3.0)$$

Onde:

$C_{Ta}, C_{Tb}, \dots, C_{Tn}$ são as capacidades térmicas do componente para cada seção (a, b, ..., n);

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

D) Capacidade térmica (C_T) da parede:

Seção A (argamassa + argamassa + argamassa):

$$A_a = 0,01\text{m} \times 0,32\text{m} + 0,01\text{m} \times 0,17\text{m} = 0,0049 \text{ m}^2$$

$$C_{Ta} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{argamassa}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{argamassa}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{argamassa}}$$

$$C_{Ta} = (0,025 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ KJ}/(\text{Kg}.\text{K}) \cdot 1950 \text{ kg}/\text{m}^3) + (0,1 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ KJ}/(\text{Kg}.\text{K}) \cdot 1950 \text{ kg}/\text{m}^3) + (0,025 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ KJ}/(\text{Kg}.\text{K}) \cdot 1950 \text{ kg}/\text{m}^3)$$

$$C_{Ta} = 48,75 + 195 + 48,75 = 292,5 \text{ KJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

Seção B (argamassa + bloco cerâmico + argamassa):

$$A_b = 0,01\text{m} \times 0,32\text{m} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$C_{Tb} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{argamassa}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{bloco cerâmico}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{argamassa}}$$

$$C_{Tb} = (0,025 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ KJ}/(\text{Kg}.\text{K}) \cdot 1950 \text{ kg}/\text{m}^3) + (0,1 \text{ m} \cdot 0,92 \text{ KJ}/(\text{Kg}.\text{K}) \cdot 1700 \text{ kg}/\text{m}^3) + (0,025 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ KJ}/(\text{Kg}.\text{K}) \cdot 1950 \text{ kg}/\text{m}^3)$$

$$C_{Tb} = 48,75 + 156,4 + 48,75 = 253,9 \text{ KJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

Seção C (argamassa + bloco cerâmico + câmara de ar + bloco cerâmico + câmara de ar + bloco cerâmico + argamassa)

$$A_c = 0,04\text{m} \times 0,32\text{m} = 0,0128 \text{ m}^2$$

$$C_{Tc} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{argamassa}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{bloco cerâmico}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{câmara de ar}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{bloco cerâmico}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{câmara de ar}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{bloco cerâmico}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{argamassa}}$$

$$C_{Tc} = (0,025 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ KJ}/(\text{Kg} \cdot \text{K}) \cdot 1950 \text{ kg}/\text{m}^3) + (0,015 \text{ m} \cdot 0,92 \text{ KJ}/(\text{Kg} \cdot \text{K}) \cdot 1700 \text{ kg}/\text{m}^3) + 0 + (0,01 \text{ m} \cdot 0,92 \text{ KJ}/(\text{Kg} \cdot \text{K}) \cdot 1700 \text{ kg}/\text{m}^3) + 0 + (0,015 \text{ m} \cdot 0,92 \text{ KJ}/(\text{Kg} \cdot \text{K}) \cdot 1700 \text{ kg}/\text{m}^3) + (0,025 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ KJ}/(\text{Kg} \cdot \text{K}) \cdot 1950 \text{ kg}/\text{m}^3)$$

$$C_{Tc} = 48,75 + 23,46 + 0 + 15,64 + 23,46 + 48,75 = 160,06 \text{ KJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Portanto, a capacidade térmica (C_T) da parede será:

$$C_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{C_{Tn}}} \quad (3.0)$$

$$C_T = \frac{A_a + 4A_b + 3A_c}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{4A_b}{C_{Tb}} + \frac{3A_c}{C_{Tc}}} = \frac{0,0049 + 4(0,0032) + 3(0,0128)}{\frac{0,0049}{292,5} + \frac{4(0,0032)}{253,9} + \frac{3(0,0128)}{160,06}}$$

$$C_T = 182,6945 \text{ KJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$