

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo



Dissertação

**Análise custo-benefício entre os sistemas construtivos em alvenaria cerâmica
e light steel frame frente as exigências de desempenho térmico e energético
em edificações unifamiliares na ZB2**

Ana Luiza Coelho

Pelotas, 2021

Ana Luiza Coelho

Análise custo-benefício entre os sistemas construtivos em alvenaria cerâmica e light steel frame frente as exigências de desempenho térmico e energético em edificações unifamiliares na ZB2

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Antonio César Silveira Baptista da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Fábio Kellermann Schramm

Pelotas, 2021

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

C672a Coelho, Ana Luiza

Análise custo-benefício entre os sistemas construtivos em alvenaria cerâmica e light steel frame frente as exigências de desempenho térmico e energético em edificações unifamiliares na ZB2 / Ana Luiza Coelho ; Antonio César Silveira Baptista da Silva, orientador ; Fábio Kellermann Schramm, Ana Luiza Coelho, coorientadores. — Pelotas, 2021.

151 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, 2021.

1. Light steel framing. 2. Desempenho térmico. 3. Eficiência energética. 4. Simulação computacional. 5. Análise custo-benefício. I. Silva, Antonio César Silveira Baptista da, orient. II. Schramm, Fábio Kellermann, coorient. III. Coelho, Ana Luiza, coorient. IV. Título.

CDD : 720

Dedico à minha família, pois sem eles não seria possível mediante tanto amor e valia, em especial, minha mãe. E ao meu namorado Renan por muitas madrugadas acompanhando meu trabalho incessante com sua presença e amparo. Gratidão aos meus amigos que entendem o quanto é preciso abrimos mão temporariamente de momentos juntos para que possamos nos desenvolver profissionalmente. Em particular, às minhas grandes amigas Danni e Cátia. E agradeço por fim, à Deus por ter colocado as pessoas certas no meu caminho.

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer à Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade, junto à CAPES por proporcionarem o desenvolvimento desta pesquisa. Sinto imensa gratidão ao meu orientador Dr. Antônio César Silveira e ao meu coorientador Dr. Fábio Schramm por todos os esclarecimentos, puxões de orelhas, ensinamentos e suporte para que eu pudesse crescer como acadêmica e pesquisadora. Esse trabalho não só me trouxe ganhos intelectuais, mas me mostrou que neste processo encontramos pessoas especiais, cito elas com enorme carinho e sem elas não teriam tanta força em seguir essa trajetória, são elas, Rodrigo, Estefânia e Dara que me apoiaram, na qual trocamos experiências em meio às dúvidas, lágrimas e esforços às novas habilidades que precisei desenvolver.

“Necessidades diferentes criam paradigmas diferentes.”
— Lair Ribeiro

Resumo

COELHO, Ana Luiza. **Análise custo-benefício entre os sistemas construtivos em alvenaria cerâmica e light steel frame frente a requisitos de desempenho termoenergético em edificações unifamiliares na ZB2.** 2021. 148f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.

Diante das estratégias construtivas observadas no cenário da construção civil brasileira, o presente trabalho objetiva verificar se as exigências de desempenho térmico de edificações favorecem a inserção no mercado de novas tecnologias construtivas, como o LSF, tomando em conta a análise custo/benefício em diferentes faixas econômicas, com base na análise custo-benefício, a partir das diretrizes e requisitos de desempenho termoenergético da NBR 15.575 e RTQ-R para as edificações residenciais unifamiliares na zona bioclimática 2. O método desta pesquisa propõe utilizar os projetos-padrão da NBR 12.721 como estudo de caso para verificar de que forma os sistemas construtivos atendem aos requisitos de desempenho térmico e energético através do método de simulação, ajustando-as caso não atendam ao mínimo necessário. Com a envoltória definida, foi possível quantificar os custos diretos e avaliar o seu desempenho térmico e energético pelos indicadores de custos da construção civil nacional. Posteriormente, foi calculada a energia conservada de modo a determinar o tempo de retorno do investimento pelos métodos simples e descontado para realização a análise custo-benefício. Os resultados mostram que as estratégias de intervenção realizadas nas composições construtivas dos dois sistemas abordados no estudo permitiram com que todos os modelos testados atingissem os níveis de desempenho A segundo o RTQ-R, embora um custo de até 33% tenha sido acrescido ao valor inicial dos empreendimentos com as composições construtivas mais simples. Os resultados do tempo de retorno do investimento apontam a viabilidade de adequação dos dois sistemas construtivos para o nível A do RTQ-R em períodos condicentes com a vida útil dos edifícios.

Palavras-chave: Light steel framing. Desempenho térmico. Eficiência energética. Simulação computacional. Análise custo-benefício.

Abstract

COELHO, Ana Luiza. **Cost-benefit analysis between ceramics masonry and light steel frame system against the thermoenergetic performance requirements in single-family buildings in brazilian bioclimatic zone 2.** 2021. 148f. Dissertation (Master degree in Architecture and Urbanism) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.

Given the constructive strategies observed in the Brazilian civil construction scenario, the present work aims to analyze the thermal performance requirements of buildings favor the insertion in the market of new construction technologies, such as LSF, taking into account the cost/benefit analysis in different reduction ranges, based on the cost-benefit analysis, based on the guidelines and requirements of NBR 15.575 and RTQ-R thermo-energetic performance for single-family residential buildings in Brazilian bioclimatic zone 2. The method of this research proposes to use the standard projects of NBR 12.721 as a case study to verify which form the construction systems, from the envelope configurations determined by the SiNAT Directive and NBR 12.721, they meet the requirements of thermal and energy performance through the simulation method, adjusting them if they do not meet the minimum necessary. With the envelope defined, it was possible to quantify the direct costs and evaluate its thermal and energy performance them by the national civil construction cost indicators. Subsequently, the conserved energy was calculated in order to determine the investment by methods simple and discounted return time for carrying out the cost-benefit analysis. The results show that the intervention strategies allowed performed in the constructive compositions of the two systems covered in the study all tested models to reach performance levels A according to RTQ-R, although a cost of up to 33% has added to the initial value of the project with the simplest construction compositions. The results of the return-on-investment time point to the feasibility of adapting the two construction systems to level A of the RTQ-R in periods consistent with the useful life of the buildings.

Keywords: Light steel framing. Thermal performance. Energy efficiency. Computer simulation. Cost-benefit analysis.

Lista de Figuras

Figura 1	Ligação entre as estratégias competitivas e os critérios competitivos da produção.....	31
Figura 2	Concepção do SVVE com revestimento de fachadas em cimentícia	37
Figura 3	Concepção do SVVI com revestimento de fachadas em cimentícia.....	37
Figura 4	Níveis da avaliação de certificação do RTQ-R.....	43
Figura 5	Delineamento geral da pesquisa.....	55
Figura 6	Modelo P01: Dormitório 1 com parede cega à leste e janela para sul.....	58
Figura 7	Modelo P02: Dormitório 1 com parede cega à leste e janela para sul.....	58
Figura 8	Modelo P03: Dormitório 4 com parede cega à leste e janela para sul.....	59
Figura 9	Modelo P01A: Dormitório 2 com parede cega à norte e janela para oeste.....	59
Figura 10	Modelo P02A: Dormitório 2 com parede cega à norte e janela para oeste.....	60
Figura 11	Modelo P03A: Dormitório 4 com parede cega à norte e janela para oeste.....	61
Figura 12	Variáveis estatísticas para os dois modelos construtivos na situação de verão.....	90

Figura 13	Variáveis estatísticas para os dois modelos construtivos na situação de inverno.....	91
Figura 14	Relação entre o custo e o consumo de energia para os modelos P01.....	130
Figura 15	Relação entre o custo e o consumo de energia para os modelos P02.....	132
Figura 16	Relação entre o custo e o consumo de energia para os modelos P03.....	133
Figura 17	Relação entre o custo e o consumo de energia para os modelos P01, P02 e P03.....	135

Lista de Tabelas

Tabela 1	Uso do sistema LSF no setor residencial.....	33
Tabela 2	Composição da envoltória para projeto básico.....	38
Tabela 3	Limites mínimos de transmitância térmica para o atendimento da NBR 15.575 pelo método simplificado.....	39
Tabela 4	Limites mínimos de capacidade térmica para o atendimento da NBR 15.575 pelo método simplificado.....	40
Tabela 5	Critérios de avaliação do desempenho térmico para condições de verão.....	40
Tabela 6	Critérios de avaliação do desempenho térmico para condições de inverno.....	41
Tabela 7	Avaliações realizadas por simulação computacional considerando a NBR 15.575 como instrumento de avaliação.....	68
Tabela 8	Dados estatísticos dos modelos em alvenaria convencional para o verão.....	89
Tabela 9	Dados estatísticos dos modelos em LSF para o verão.....	90
Tabela 10	Dados estatísticos dos modelos em alvenaria convencional para o inverno.....	90
Tabela 11	Dados estatísticos dos modelos em LSF para o inverno.....	90

Tabela 12	Teste T de Student para as situações de inverno e verão dos modelos analisados.....	92
Tabela 13	Relação do consumo de energia anual por metro quadrado para os modelos P01 e P01A.....	96
Tabela 14	Relação do consumo de energia anual por metro quadrado para os modelos P02 e P02A.....	101
Tabela 15	Relação do consumo de energia anual por metro quadrado para os modelos P03 e P03A.....	106
Tabela 16	Relação do consumo de energia anual por metro quadrado para todos os modelos.....	106
Tabela 17	Custo das intervenções para o Modelo P02 em LSF.....	122
Tabela 18	Custo das intervenções para o Modelo P03 em LSF.....	122
Tabela 19	Análise de <i>payback</i> para o Modelo P01 nível A em alv. cerâmica.....	123
Tabela 20	Análise de <i>payback</i> para o Modelo P01 com menor consumo de energia em alv. cerâmica.....	124
Tabela 21	Análise de <i>payback</i> para o Modelo P02 nível A em alv. cerâmica.....	124
Tabela 22	Análise de <i>payback</i> para o Modelo P02 com menor consumo de energia em alv. cerâmica.....	125
Tabela 23	Análise de <i>payback</i> para o Modelo P03 nível A em alv. cerâmica.....	125
Tabela 24	Análise de <i>payback</i> para o Modelo P03 com menor consumo de energia em alv. cerâmica.....	125

Tabela 25	Análise de <i>payback</i> para o Modelo P01 nível A em LSF.....	126
Tabela 26	Análise de <i>payback</i> para o Modelo P01 com menor consumo de energia em LSF.....	126
Tabela 27	Análise de <i>payback</i> para o Modelo P02 nível A em LSF.....	127
Tabela 28	Análise de <i>payback</i> para o Modelo P02 com menor consumo de energia em LSF.....	127
Tabela 29	Análise de <i>payback</i> para o Modelo P03 nível A em LSF.....	127
Tabela 30	Análise de <i>payback</i> para o Modelo P03 com menor consumo de energia em LSF.....	128
Tabela 31	Relação de competitividade entre dois sistemas nível A do RTQ-R com consumos próximos.....	136

Lista de Quadros

Quadro 1	Taxas metabólicas para cada atividade.....	44
Quadro 2	Padrão de uso da iluminação.....	44
Quadro 3	Densidade de potência instalada de iluminação.....	44
Quadro 4	Cargas internas de equipamentos.....	45
Quadro 5	Características principais dos projetos-padrão residenciais unifamiliares.....	47
Quadro 6	Custo unitário básico CUB – RS.....	47
Quadro 7	Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar.....	48
Quadro 8	Características da envoltória do sistema convencional (padrão baixo)	49
Quadro 9	Características da envoltória do sistema convencional (padrão normal/médio)	49
Quadro 10	Características da envoltória do sistema convencional (padrão alto)	50
Quadro 11	Formação de preço.....	52
Quadro 12	Características das edificações para o sistema convencional.....	62
Quadro 13	Características das edificações para o sistema <i>light steel framing</i>	62
Quadro 14	Propriedades térmicas dos materiais.....	63

Quadro 15	Dados geográficos de Camaquã, Rio Grande do Sul – Zona Bioclimática 2.....	64
Quadro 16	Dados dos dias típicos de inverno e verão para a Zona Bioclimática 2.....	64
Quadro 17	Agendas de radiação solar direta e difusa para os dias típicos de inverno e verão na Zona Bioclimática 2.....	64
Quadro 18	Classificação da eficiência da edificação para a Zona Bioclimática 2.....	66
Quadro 19	Intervenção na cobertura para os modelos em alvenaria.....	69
Quadro 20	Intervenção nas paredes externas para os modelos em alvenaria.....	69
Quadro 21	Intervenções no piso para os modelos em alvenaria.....	70
Quadro 22	Intervenções nas paredes externas para os modelos em LSF.....	70
Quadro 23	Intervenção na cobertura para os modelos em LSF.....	70
Quadro 24	Classificação dos modelos em cores com base na NBR 15.575....	71
Quadro 25	Classificação dos modelos com base no RTQ-R.....	71
Quadro 26	Relação dos serviços orçados com base na NBR 12.721 para os modelos em alvenaria.....	72
Quadro 27	Relação dos serviços orçados com base na NBR 12.721 para os modelos em LSF.....	72
Quadro 28	Resultados da análise da condição de inverno do modelo P01 em alvenaria cerâmica.....	75
Quadro 29	Resultados da análise da condição de inverno do modelo P01 em LSF.....	76

Quadro 30	Resultados da análise da condição de inverno do modelo P01A em alvenaria cerâmica.....	77
Quadro 31	Resultados da análise da condição de inverno do modelo P01A em LSF.....	78
Quadro 32	Resultados da análise da condição de inverno do modelo P02 em alvenaria cerâmica.....	81
Quadro 33	Resultados da análise da condição de inverno do modelo P02 em LSF.....	81
Quadro 34	Resultados da análise da condição de inverno do modelo P02A em alvenaria cerâmica.....	82
Quadro 35	Resultados da análise da condição de inverno do modelo P02A em LSF.....	83
Quadro 36	Resultados da análise da condição de inverno do modelo P03 em alvenaria cerâmica.....	85
Quadro 37	Resultados da análise da condição de inverno do modelo P03 em LSF.....	86
Quadro 38	Resultados da análise da condição de inverno do modelo P03A em alvenaria cerâmica.....	86
Quadro 39	Resultados da análise da condição de inverno do modelo P03A em LSF.....	87
Quadro 40	Resultados de acordo com o RTQ-R para o modelo P01 em alvenaria cerâmica.....	93
Quadro 41	Resultados de acordo com o RTQ-R para o modelo P01 em LSF.....	93
Quadro 42	Resultados de acordo com o RTQ-R para o modelo P01A em alvenaria convencional.....	94

Quadro 43	Resultados de acordo com o RTQ-R para o modelo P01A em LSF.....	95
Quadro 44	Resultados de acordo com o RTQ-R para o modelo P02 em alvenaria cerâmica.....	97
Quadro 45	Resultados de acordo com o RTQ-R para o modelo P02 em LSF.....	97
Quadro 46	Resultados de acordo com o RTQ-R para o modelo P02A em alvenaria convencional.....	98
Quadro 47	Resultados de acordo com o RTQ-R para o modelo P02A em LSF.....	99
Quadro 48	Resultados de acordo com o RTQ-R para o modelo P03 em alvenaria cerâmica.....	101
Quadro 49	Resultados de acordo com o RTQ-R para o modelo P03 em LSF.....	102
Quadro 50	Resultados de acordo com o RTQ-R para o modelo P03A em alvenaria cerâmica.....	103
Quadro 51	Resultados de acordo com o RTQ-R para o modelo P03A em LSF.....	104
Quadro 52	Resultados das intervenções no modelo P01 em alvenaria cerâmica.....	108
Quadro 53	Resultados das intervenções na orientação do modelo P01 em alvenaria cerâmica.....	109
Quadro 54	Resultados das intervenções no modelo P02 em alvenaria cerâmica.....	110
Quadro 55	Resultados das intervenções na orientação do modelo P02 em alvenaria cerâmica.....	111

Quadro 56	Resultados das intervenções para o modelo P03 em alvenaria cerâmica.....	112
Quadro 57	Resultados das intervenções na orientação do modelo P03 em alvenaria cerâmica.....	113
Quadro 58	Resultados das intervenções do modelo P01 em LSF.....	115
Quadro 59	Resultados das intervenções do modelo P02 em LSF.....	116
Quadro 60	Resultados das intervenções do modelo P03 em LSF.....	118
Quadro 61	Custos das intervenções somadas para o Modelo P01 em alv. cerâmica.....	119
Quadro 62	Custos das intervenções somadas para o Modelo P02 em alv. cerâmica.....	120
Quadro 63	Custos das intervenções somadas para o Modelo P03 em alv. cerâmica.....	120
Quadro 64	Custos das intervenções somadas para o Modelo P01 em LSF.....	122
Quadro 65	Custos das intervenções somadas para o Modelo P02 em LSF.....	122
Quadro 66	Custos das intervenções somadas para o Modelo P03 em LSF.....	123

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CUB	Custo Unitário Básico
CA	Consumo com aquecimento
CD	Coeficiente de descarga
COP	Coeficiente de performance
CQ	Coeficiente de frestas
CT	Capacidade Térmica
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EP	EnergyPlus
FS	Fator Solar
GHR	Graus-hora de resfriamento
LSF	Light Steel Framing
NBR	Norma Brasileira
P01	Modelo padrão baixo da NBR 12.721 (Inverno)
P01A	Modelo padrão baixo da NBR 12.721 (Verão)
P02	Modelo padrão médio da NBR 12.721 (Inverno)
P02A	Modelo padrão médio da NBR 12.721 (Verão)
P03	Modelo padrão alto da NBR 12.721 (Inverno)
P03A	Modelo padrão alto da NBR 12.721 (Verão)
OSB	Oriented Strand Board
RTQ-C	Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-R	Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais
SINAPI	Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil
SiNAT	Sistema Nacional de Avaliação Técnica
SVVE	Sistema vertical de vedação externo
SSVI	Sistema vertical de vedação interno
Ti, máx.	Temperatura interna máxima
Te, máx.	Temperatura externa máxima

U	Transmitância Térmica
ZB	Zona Bioclimática

Sumário

1 Introdução	23
1.1 Objetivos.....	27
1.2 Estrutura do Trabalho	27
2 Revisão de Literatura.....	29
2.1 Modernização do setor da construção	29
2.2 Sistema construtivo <i>Light Steel Framing</i>.....	32
2.3 SiNAT – Sistema Nacional de Avaliação Técnica	34
2.4 Desempenho térmico e energético	38
2.4.1 Norma Brasileira 15.575	39
2.4.1.1 Procedimento simplificado (normativo).....	39
2.4.1.2 Procedimento por simulação (normativo)	40
2.4.2 Regulamento técnico da qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)	43
2.5 Custo na construção civil	46
2.5.1 CUB – Custo Unitário Básico.....	46
2.5.1.1 Projetos-padrão	47
2.5.1.2 Envoltória e especificações de acabamento	49
2.5.1.3 Composição dos custos	51
2.5.2 SINAPI	51
2.6 Avaliação Custo-Benefício	53
3. Método	55
3.1 Delineamento geral da pesquisa.....	55
3.2 Definição dos objetos de estudo	56
3.2.1 Definição dos projetos para realização da análise.....	57
3.2.1.1 Situação de inverno	58
3.2.1.2 Situação de verão	60
3.2.2 Caracterização dos casos de estudo.....	62
3.2.3 Condições de contorno climático	64
3.3 Configuração com base nos requisitos de desempenho.....	65
3.3.1 Configuração das simulações pela NBR 15.575.....	66
3.3.1.1 Critérios de avaliação	66
3.3.1.2 Condições de contorno para as análises com a NBR 15.575	66
3.3.2 Configuração das simulações pelo RTQ-R	67
3.4 Processo de Simulação dos cenários de avaliação	68
3.4.1 Experimentações realizadas para avaliações pela NBR 15.575.....	68
3.4.2 Experimentações realizadas para avaliações pelo RTQ-R.....	69

3.4.2.1 Estratégias de intervenção.....	69
3.5 Avaliação dos resultados de saída das simulações	72
3.6 Orçamentação e análise custo-benefício.....	72
4. Resultados	76
4.1 Análise dos resultados pela norma de desempenho NBR 15.575.....	76
4.1.1 Avaliação dos modelos P01A	77
4.1.2 Discussão sobre o comportamento dos modelos P01 e P01A pela norma de desempenho 15.575.....	80
4.1.3 Avaliação dos modelos P02.....	81
4.1.4 Avaliação dos modelos P02A	83
4.1.5 Discussão sobre o comportamento dos modelos P02 e P02A pela norma de desempenho 15.575.....	84
4.1.6 Avaliação dos modelos P03	85
4.1.7 Avaliação dos modelos P03A	87
4.1.8 Discussão sobre o comportamento dos modelos P03 e P03A pela norma de desempenho 15.575.....	89
4.2 Análise estatística dos resultados obtidos para simulações com a norma NBR 15.575...	90
4.2.1 Avaliação dos modelos P01.....	93
4.2.2 Avaliação dos modelos P01A	95
4.2.3 Discussão sobre o comportamento dos modelos P01 e P01A pelo RTQ-R	96
4.2.4 Avaliação dos modelos P02	97
4.2.5 Avaliação dos modelos P02A	99
4.2.6 Discussão sobre o comportamento dos modelos P02 e P02A pelo RTQ-R	101
4.2.7 Avaliação dos modelos P03	102
4.2.8 Avaliação dos modelos P03A	104
4.2.9 Discussão sobre o comportamento dos modelos P03 e P03A pelo RTQ-R	106
4.2.10 Considerações sobre o consumo geral de energia dos três projetos analisados	107
4.3 Estratégias de intervenção	108
4.3.1 Resultados das estratégias de intervenção para os modelos em alvenaria cerâmica.....	108
4.3.1.1 Estratégias de intervenção para o modelo P01 - Alv. Cerâmica	108
4.3.1.2 Estratégias de intervenção para o modelo P02 - Alv. Cerâmica.....	111
4.3.1.3 Estratégias de intervenção para o modelo P03 - Alv. Cerâmica	113
4.3.2 Resultados das estratégias de intervenção para os modelos em <i>Light Steel Framing</i>	115
4.3.2.1 Estratégias de intervenção para o modelo P01 - LSF	115
4.3.2.2 Estratégias de intervenção para o modelo P02 – LSF.....	116
4.3.2.3 Estratégias de intervenção para o modelo P03 – LSF.....	118
4.4 Resultados dos custos das intervenções, <i>payback</i> e análise custo-benefício	119
4.4.1 Análise dos custos das intervenções	119
4.4.1.1 Custos das intervenções em alvenaria cerâmica	119

4.4.1.2 Custos das intervenções em <i>light steel framing</i>	122
4.4.2 Análise de <i>Payback</i>	124
4.4.2.1 <i>Payback</i> descontado do Modelo P01 – Convencional	124
4.4.2.2 <i>Payback</i> do Modelo P02 - Convencional	125
4.4.2.3 <i>Payback</i> do Modelo P03 - Convencional	126
4.4.2.4 <i>Payback</i> do Modelo P01 – LSF.....	127
4.4.2.5 <i>Payback</i> do Modelo P02 - LSF	128
4.4.2.6 <i>Payback</i> do Modelo P03 - LSF	128
4.4.3 Análise custo-benefício.....	129
4.4.3.1 Custo-benefício para o modelo P01	129
4.4.3.2 Custo-benefício para o modelo P02	131
4.4.3.3 Custo-benefício para o modelo P03	133
4.4.3.4 Discussão geral sobre a análise custo-benefício	135
5. Conclusões	138
Referências	141
Apêndices	148

1 Introdução

A construção civil no Brasil faz parte do conjunto de segmentos base na composição da indústria nacional, tendo um caráter pró-cíclico, ou seja, as oscilações percebidas na economia impactam diretamente no mercado da construção (GONÇALVES; BODE, 2015). A situação econômica do Brasil, por sua vez, passa por um momento de crise desde 2014, tendo havido até 2017 uma retração de 2,3% do PIB brasileiro, além da redução da atividade na construção civil de 5,5% no primeiro semestre de 2017, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE, 2018).

De acordo com a Pesquisa Anual da Indústria da Construção, entre 2016 e 2017, a indústria da construção perdeu 93,6 mil profissionais e fechou 564 empresas, consequentemente, instituindo uma queda no investimento do setor da construção civil. Como exemplo, foram citadas retrações nos desembolsos em infraestrutura do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), bem como a queda na produção de unidades financiadas. No período de 2008 a 2017, a retração impactou diretamente no segmento de infraestrutura, com uma redução de 47,4% para 32,2% referente às incorporações e obras. Em contraponto, a construção edilícia mostrou um crescimento de 37,2 para 45,8% e serviços especializados de 20,2% para 35% (PAIC, 2018). A evidência da melhora vem apenas em 2019, onde o setor da construção civil apresentou resultado positivo em todos os setores, indicando a saída da recessão (MONTEIRO, 2020).

De 2017 a 2019 o país apresentou uma lenta e constante recuperação econômica em função de bens e serviços (CBIC, 2020), melhora que também foi percebida na construção civil (NUNES et al., 2020). Contudo, esse lento cenário de restabelecimento da condição econômica foi interrompido em 2020 em função da crise sanitária internacional causada pela pandemia do novo coronavírus (Covid-19), gerando um cenário de incertezas, aumento de preços e ausência de matéria-prima em diversos setores da sociedade (LEMOS; ALENCAR, 2020).

Acompanhando o instável cenário econômico, o histórico déficit habitacional no Brasil é um problema social que requer soluções rápidas e eficientes, requisitando da maior parte dos órgãos públicos e empresas privadas, envolvidos na indústria da construção civil, um direcionamento de seus projetos de edificações considerando as especificidades desta demanda (CBIC, 2020).

Outra questão de fundamental importância são as condições de desempenho térmico e energético destas edificações. Embora internacionalmente este debate esteja consolidado no sentido de direcionamentos e metas para edificações com necessidades energéticas nulas (ou quase nulas) e sem emissão de CO₂, sobretudo em países desenvolvidos (KANDA; KIVIMAA, 2020), no Brasil as normativas que estabelecem as condições mínimas de desempenho seguem em constante reformulação e debate acadêmico (CARVALHO et al., 2020).

Em caráter normativo a ABNT NBR 15.575, sob o título de “Desempenho de Edificações Habitacionais”, foi publicada em 2013 buscando garantir a qualidade e segurança das edificações. Entendida como o comportamento em uso de um produto, neste caso, a edificação, a normatização busca atender às exigências do usuário, juntamente com seus materiais constituintes e processo de produção (ABNT, 2013). A norma determina requisitos e critérios que projetos e o produto edifício devem cumprir para atender às condições mínimas de desempenho. No entanto, seus métodos provocam questionamentos e demonstram limitações, como por exemplo, os limites de aprovação do desempenho pelo método de simulação, onde para as situações de inverno, as regiões frias do país, como é o caso da Zona Bioclimática 2 (ZB2), possuem limites de atendimento mínimo com temperaturas internas em ambientes de permanência prolongada abaixo de 10°C (SOARES, 2014). A revisão de 2021 da mesma normativa realiza a correção de aspectos de limitação do ponto de vista térmico. Leitzke et al. (2018) destacam ainda que as estações do ano bem definidas implicam em uma alta amplitude térmica anual observada na ZB2, apresentando baixas temperaturas no inverno e altas temperaturas no verão.

Quanto aos regulamentos, estes não sendo obrigatórios, servem como parâmetros para auxiliar na avaliação de desempenho das edificações, como no caso do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais (RTQ-R) (INMETRO, 2012), que, de acordo com Soares (2014), ao adotar a possibilidade de uso de cargas internas no método por simulação, considerando os ganhos por ocupação, iluminação e equipamentos, mostra

resultados mais fiéis ao comportamento real dos edifícios se comparado às configurações sem estas condições nas avaliações com a ABNT NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Frota e Schiffer (2001) afirmam que, mesmo que em algumas localidades não seja possível obter conforto durante todo o tempo, é preciso através da arquitetura, fazendo uso dos recursos naturais disponíveis, buscar soluções de projeto que maximizem o desempenho térmico natural, mesmo em condições climáticas contrastantes ao longo do ano percebidas em determinados locais. Neste sentido, a escolha de um sistema construtivo que contribua com a maximização das estratégias passivas de desempenho, bem como com a minimização de resíduos, desperdícios e custos, torna-se imprescindível para execução de uma arquitetura sustentável (LACERDA, 2014).

O setor da construção detém sistemas construtivos que utilizam o conceito da industrialização como forma de desenvolver um produto edificado com efetiva minimização na geração de resíduos, visto que utilizam componentes pré-fabricados (WANG; CHONG, 2015). Como exemplo, o sistema Light Steel Framing (LSF), que se constitui em um modelo padronizado de elementos construtivos produzidos industrialmente, passando por um processo de fabricação com controle de qualidade da etapa técnica ao acabamento (CRASTO, 2005).

Cardoso (2016) afirma que a tecnologia construtiva de fachadas em chapas delgadas com estrutura em LSF é viável para reduzir prazos, além de aumentar a qualidade e desempenho das obras, se comparada à alvenaria de vedação. No entanto, Brüseke (BRÜSEKE, 2002) destaca que as práticas tecnológicas têm repercussão sociável direta, ou seja, a precaução e a desconfiança no desenvolvimento tecnológico fazem parte do pensamento social contemporâneo, sendo necessário, portanto, apresentar para sociedade civil os aspectos que permeiam estes sistemas construtivos não convencionais.

Para que a construção industrializada possa ser uma solução real no cenário brasileiro, Sales (2001), Castro (2005), Milan et al. (2011), Gomes et al. (2013) e Silva et al. (2019), apresentaram, ao longo das últimas décadas que inovações tecnológicas da construção, como o sistema *Light Steel Framing*, são compatíveis com os condicionantes climáticos do Brasil, assim como viáveis economicamente.

A viabilidade financeira de um empreendimento é compreendida a partir de uma análise prévia, considerando a elaboração dos projetos, dos investimentos

necessários para a construção e do retorno financeiro previsto ao final da execução do trabalho (GONZÁLES; FORMOSO, 2001). Em especial no caso de construções em LSF, Nicoletti et al. (2019) apontam que reduções nos prazos de execução e nos custos de implantação são observados em projetos residenciais em LSF quando comparados com construções em alvenaria autoportante, contudo, dados médios dos custos gerais de obra ainda são incipientes na literatura no que tange o mercado brasileiro.

Para que um produto seja viável economicamente é preciso considerar a avaliação de seus custos. O Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), criado pela Caixa Econômica Federal (CEF) e implementado pelo Banco Nacional da Habitação, propõe, além da determinação dos custos da construção, a disponibilização dos insumos e serviços correspondentes à construção para todos os estados (BARZELLAY; LONGO, 2011). Para além, com o objetivo de apresentar indicadores dos custos da construção existe o Custo Unitário Básico (CUB). Azevedo (2011) realça o uso deste indicador para a formulação da estimativa de custo tanto na fase inicial do empreendimento, quanto para a viabilidade e planejamento.

A presença de indicadores técnicos e econômicos do sistema construtivo LSF em um cenário de incertezas sobre a sua viabilidade prática caracterizam a possibilidade de uma Análise Custo-Benefício (ACB), sendo ela a ação que compara os benefícios e os custos de diferentes alternativas, representando-os financeiramente de modo que seja possível realizar uma tomada de decisão pautada na alternativa que maximiza a razão entre os benefícios e os custos (DRUMMOND et al., 1997; FERREIRA, 2005).

A ACB neste cenário se torna possível à medida que os requisitos do controle de qualidade das edificações a partir do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT), qualificam os sistemas não convencionais que podem ascender como alternativas nas novas construções habitacionais, oferecendo garantia e segurança.

Destes sistemas, o LSF tem sido o mais utilizado para a execução de fachadas em edifícios em substituição ao processo tradicional (SANTIAGO; ARAÚJO, 2008; CARDOSO, 2016; OLIVIERI et al., 2017). Lawson e Ogden (2008), citam que o sistema LSF vem sendo utilizado em construções residenciais há mais de 70 anos ao redor do mundo. No Brasil, mesmo com as barreiras culturais (GOMES et al., 2013), o uso desta estratégia construtiva cresce nos últimos anos em diversas aplicações,

como por exemplo em habitações unifamiliares, escolas, hospitais e edificações de até quatro pavimentos, como frisam Santiago, Freitas e Crasto (2008), ainda que com as suas vantagens e desvantagens térmicas e econômicas brevemente detalhadas na literatura para o contexto climático e econômico brasileiro (NICOLETTI et al. 2019).

Por conseguinte, compreendendo a complexidade das relações entre os aspectos discutidos nesta introdução, a questão de pesquisa que este trabalho de dissertação busca responder é: “Qual a relação custo-benefício no uso do sistema construtivo LSF em edificações residenciais na ZB2 quando comparado com o sistema em alvenaria convencional de blocos cerâmicos, considerando as questões de desempenho térmico, energético e custo?”.

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é verificar se as exigências de desempenho térmico de edificações favorecem a inserção no mercado de novas tecnologias construtivas, como o LSF, tomando em conta a análise custo/benefício em diferentes faixas econômicas.

Como objetivos específicos do trabalho, busca-se:

- Definir modelos a partir de projetos residenciais representativos de diferentes faixas econômicas.
- Verificar se a faixa econômica definida para cada tipo de projeto de edificações residenciais analisadas influencia na relação custo-benefício dos sistemas LSF e convencional.
- Analisar os modelos sob o ponto de vista térmico e econômico.
- Identificar para os modelos analisados as similaridades e diferenças entre os aspectos térmicos e econômicos dos dois sistemas construtivos.
- Observar a presença ou ausência de compensação financeira em tempo de retorno do investimento nos modelos e sistemas testados.
- Pontuar o impacto das intervenções construtivas testadas nos modelos na ótica da ACB.

1.2 Estrutura do Trabalho

Mediante a necessidade de identificar de que forma o sistema LSF se porta frente a soluções construtivas em alvenaria cerâmica, foi proposta uma revisão de literatura dividida em cinco partes, as quais estruturam a discussão proposta. O

primeiro capítulo abrange assuntos relacionados à modernização do setor da construção civil para identificar quais são as premissas e tendências construtivas da atualidade, tais como o desenvolvimento da industrialização na produção edilícia. O segundo, por sua vez, objetiva caracterizar o sistema *Light Steel Framing* (LSF), apresentando um breve histórico de seu surgimento e, também, as diretrizes que regulamentam a execução segura do sistema construtivo, além de dados que apresentam o cenário de atuação do tema.

O terceiro capítulo expõe os requisitos necessários para atingir o desempenho termoenergético necessário, tanto pela ABNT NBR 15.575 quanto pelo RTQ-R, buscando identificar o seu desempenho de modo a qualificá-lo de acordo com as diretrizes mínimas exigidas para sua execução. Além disso, apresenta de que maneira é possível atingir os diferentes níveis possíveis nessas diretrizes.

Além de avaliar o desempenho entre os sistemas convencionais e LSF, o custo da construção civil ganha o capítulo quatro, que identifica quais os indexadores de custos edilícios e seus referenciais para o desenvolvimento de uma composição orçamentária de um empreendimento. Finalmente, buscou-se a contextualização do objetivo geral desta pesquisa, determinando o método de avaliação dos resultados de desempenho perante os custos que serão apresentados. Com isso, o quinto capítulo trata da avaliação de custo-benefício entre os dois sistemas para determinar a condição da tecnologia construtiva, relacionando os aspectos que distinguem as soluções construtivas testadas levando em consideração os resultados para cada sistema.

2 Revisão de Literatura

2.1 Modernização do setor da construção

Até o advento da Revolução Industrial, a construção de edificações era fundamentada em processos de produção artesanais, pois o artesanato era a principal forma de trabalho humano, sendo as características básicas deste tipo de produção a mão de obra qualificada, a qualidade variável e o baixo volume de produção. Com isto, os processos eram desprovidos de um sistema ou filosofia de gestão que auxiliasse na melhoria dos processos e do produto final (RIBEIRO; MICHALKA JR, 2003). Levando em conta estas considerações, podemos dizer que essencialmente a industrialização das construções tem a finalidade de aplicar a lógica da produção seriada nas edificações, por meio do aumento da produtividade e queda de desperdícios (FABRÍCIO, 2008).

Linner e Bock (2012) afirmam que elementos da produção seriada, por intermédio da pré-fabricação, moldam a industrialização no setor da construção civil. De acordo com Spadeto (2011), a construção industrializada minimiza o consumo e perda de materiais, bem como aperfeiçoa a mão de obra e retrabalhos. Mascaró e Mascaró (2005) considera que a habitação racional, estruturada por elementos seriados pela indústria, incorpora uma economia de gastos em sua execução. Mesmo assim, admite que possam ser mais caras que as tradicionais num cenário paradoxal em que a desorganização da indústria mantém essa realidade. Com sua popularização, porém, a tendência é que o mercado das habitações racionais se torne mais acessível.

Duarte (1999) afirma que, além do processo construtivo em alvenaria ter raízes milenares, é grande sua durabilidade bem como a condição de aceitação, tornando a implementação de novos sistemas mais lenta e custosa, frente a sua falta de popularidade. Maruoka (2003), por sua vez, critica a capacidade da indústria da construção civil de evoluir no ambiente contemporâneo devido, sobretudo, a suas características de atraso tecnológico. De acordo com Fiess et al. (2004) este tipo de

produção no Brasil está condicionado, basicamente, pelo fator de oferecer baixos custos.

O conceito racional e o de desenvolvimento tecnológico alinham-se com o método de construção em aço, devido à versatilidade e durabilidade do sistema mediante seu processo de produção (NASFA, 2000). Mesmo que esgotada sua vida útil, o aço é reciclável e de tecnologia limpa, assim reduzindo os impactos ambientais. Para atingirmos o nível sustentável de um empreendimento, é preciso observar o ciclo de vida de uma edificação, o qual envolve decisões projetuais de condições e custos de operação, materiais, impacto ao entorno, conforto térmico, acústico e visual (VIVAN; PALIARI, 2012).

Spadeto (2011) menciona diversos benefícios da industrialização e pré-fabricação, os quais incluem a racionalização e melhoria do produto. São eles:

- menor prazo de execução;
- produção independente de condições climáticas;
- uso de mão de obra especializada;
- matéria-prima selecionada;
- maior controle de qualidade na execução;
- maior qualidade e precisão geométrica;
- menor consumo de materiais e percentual de perdas;
- maior potencial de desconstrução;
- maior controle do custo.

A gestão da qualidade é uma alternativa para as empresas, enquanto mecanismo de controle dos processos e de sua otimização contínua, aumentando, assim, a competitividade dessas corporações (GALDÁMEZ; CARPINETTI; GEROLAMO, 2009; OLIVEIRA, 2018). Em razão disso, observa-se que algumas empresas têm passado por transformações em busca de uma melhor competitividade, baseada em produtividade, qualidade e flexibilidade.

Segundo Teixeira e Simplicio (2018), para a competência inerente de uma empresa manter-se em um ambiente completo e competitivo, é preciso que ela apresente planos, políticas e objetivos focados em liderança por preço e enfoque na diferenciação. Essa diferenciação está associada à qualidade, à flexibilidade, ao desempenho de entrega e à inovatividade com o melhor custo (Figura 1).



Figura 1 – Ligação entre as estratégias competitivas e os critérios competitivos da produção.

Fonte: Alves Filho, 1995, pág. 76.

Contudo, existe uma inquietação com relação à capacidade da indústria da construção civil sobreviver à evolução no ambiente tecnológico, diante de uma mão de obra desqualificada e que ainda apresenta desperdícios em seus recursos (MARUOKA, 2003).

Josefi et al. (2020) apontam que o aumento na demanda por profissionais capacitados no setor da construção nas últimas décadas não foi acompanhado por uma formação adequada para todos os colaboradores da construção.

Já Villar et al. (2014) destacam que a desqualificação da mão-de-obra da construção civil é um dos principais fatores para um cenário de rotatividade demasiada de profissionais, acidentes de trabalho e, principalmente, problemas na qualidade final do produto edificado. Josefi et al. (2020) apresentam ainda que uma estratégia de contorno possível seria a realização de treinamentos periódicos ofertados pelas empresas da construção, que não ocorrem em função do custo de infraestrutura para aplicação, identificação e contratação dos profissionais responsáveis pela aplicação do treinamento, além do receio de que os treinamentos sirvam como instrumento profissional para concorrência em função da rotatividade elevada destes profissionais.

Silva (2018) e Spadeto (2011) enfatizam também a responsabilidade dos profissionais projetistas em um cenário de industrialização da construção, visto que além dos habituais projetos relacionados com a prática construtiva, um projeto de canteiro, por exemplo, deve ser realizado previamente visando proporcionar montagens adequadas dos componentes, utilização do espaço físico disponível e delegação dos equipamentos necessários para cada atividade, desta forma são evitadas interpretações dúbias sobre a atividade executiva, além de reduzir o retrabalho, o desperdício dos materiais e a geração de resíduos.

Neste sentido, podemos afirmar algumas vantagens apontadas pelo Centro Brasileiro da Construção em aço (CBCA):

- baixa agressividade ao meio ambiente: o aço, além de ser um material homogêneo e, portanto, não libera substâncias agressivas ao meio ambiente, é abundante também na natureza, composto de minério de ferro;
- coprodutos: seus resíduos podem ser redirecionados na utilização e composição de outros subprodutos;
- rapidez de execução: permite maior velocidade devido ao fato de o produto não ser produzido em canteiro, o que resulta também, em menor intervenção e incômodos à vizinhança;
- menores impactos: devido a sua leveza, reduzimos as fundações e escavações, de modo a obtermos, conseqüentemente, menor logística de material em sua remoção e descarte;
- durabilidade: mediante aplicação correta de proteção contra corrosão, temos produto de alta durabilidade;
- flexibilidade: oferece liberdade ao empreendimento e futuras modificações;
- reciclabilidade do aço.

Ainda sobre esta questão, segundo Alves (2015), embora o Brasil seja um grande produtor de aço, é possível notar que os sistemas construtivos convencionais são os mais utilizados na construção, apontado pelo autor como um sistema que usa basicamente concreto armado e alvenaria de blocos de vedação ou apenas alvenaria estrutural. Notavelmente, isto se deve a nomeada cultura do concreto. Entretanto, o autor afirma que com o déficit habitacional, atrasos na entrega de imóveis e crescentes discussões sobre as questões ambientais, o LSF tem gerado interesse no mercado.

2.2 Sistema construtivo *Light Steel Frame*

O LSF é um sistema construtivo que utiliza perfis metálicos conformados a frio para a composição dos elementos estruturais e não-estruturais, telhados, vigas, entrepisos e seus subsistemas (SANTIAGO; ARAÚJO, 2008). Pode ser denominado a partir de diversas nomenclaturas, sendo as mais comuns: *Light steel frame*, sistemas leves ou apenas *steel framing*. As construções deste tipo de sistema são a seco e com a proposta sustentável, devido ao seu tipo de estrutura e à possibilidade de reciclagem dos materiais e racionalização nas perdas de material.

Estes tipos de perfis são mais leves e possuem alta resistência à corrosão. Conforme o estudo de Popo-Ola, Biddle e Lawson (2000) e o *American Iron And Steel Institute* (AISI, 1996), o processo de galvanização no qual as chapas de aço utilizadas para a fabricação dos perfis do LSF são submetidas, garante uma alta proteção contra a corrosão.

Por iniciativa do CBCA (Centro Brasileiro da Construção em Aço) e da ICZ (Instituto de Metais não ferrosos), pesquisas foram realizadas para diagnosticar o cenário do *Light Steel Framing* e *Drywall* no mercado brasileiro da construção civil, do ano de 2013 a 2017. Isso possibilitou a divulgação de informações para compreensão da atuação e da capacidade produtiva da construção a seco.

Segundo CBCA (2019), o *Steel Framing*, entre os anos de 2013 a 2015, obteve crescimento no mercado, com o faturamento em R\$ 496 milhões e a produção de 144.480 toneladas, sendo seu principal uso no setor industrial, onde contou com 69% das obras. No ano de 2017, houve uma redução de 48% da produção em comparação com o ano de 2015, possivelmente em razão da crise financeira ocorrida no país, a qual atingiu diretamente o setor da construção civil. Contudo, no setor residencial ocorreu um aumento do uso de LSF em 2016 de 13% para 44% se comparado com o ano anterior, havendo um novo aumento deste número no ano seguinte (2017) com crescimento de 57% das construções no ano, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Uso do sistema LSF no setor residencial.

Ano	2015	2016	2017
Percentual de obras do tipo residencial construídas	13%	44%	57%

Fonte: CBCA, 2019.

O LSF utiliza componentes que possuem um rígido controle de qualidade e se adequam às normas internacionais de desempenho, o que garante a qualidade e a durabilidade para o sistema. Existem normas internacionais que regulamentam este sistema, entre elas:

- O Eurocódigo 3 – Projeto de estruturas de aço – estabelece regras suplementares para os perfis e chapas perfiladas formados a frio.
- A norma CEN EN 1993 1-3 – Normativa europeia para projetos de estruturas metálicas.
- A AISI S100/16 - *North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*.

- A ASTM A1003 / A1003M - define as propriedades mecânicas dos aços para perfis estruturais.

O desenvolvimento do sistema é averiguado pela pesquisa supracitada ocorrida no ano de 2017, a qual aponta a aplicação do sistema no setor residencial, com 44% nas obras de alto padrão. Observou-se, também que, o número de empresas, nesse período, se manteve ou aumentou. E em sua maioria, estão sediadas nos estados das regiões sudeste e sul do país.

Cabe observar também a identificação dada pela pesquisa de que uma das principais causas da dificuldade no crescimento de empresas e difusão do sistema é o baixo conhecimento do mercado sobre o próprio sistema. O processo de inserção no mercado de novas tecnologias enfrenta resistência por falta de informações, o que pode ser diminuído mediante o esclarecimento das características técnicas e da aplicabilidade do produto submetidas a Avaliação Técnica (CBCA, 2019).

2.3 SiNAT – Sistema Nacional de Avaliação Técnica

As avaliações técnicas, para Bastos (2004), são necessárias e pertinentes a longo prazo, no investimento de pesquisas e adaptações para o desenvolvimento da tecnologia no setor. Uma técnica desenvolvida fora do país demanda análise de utilização no mercado nacional, proporcionando acessibilidade econômica e compatibilidade climática. Com isso, torna-se imprescindível a adaptação ao clima brasileiro (SANTIAGO; ARAÚJO, 2008).

A inovação tecnológica incorpora serviços especializados, tais como estudos relacionados à metrologia, normatização, avaliação da conformidade, gestão da informação e regulamentação técnica. No momento atual, com o objetivo de qualificar e estabelecer critérios mínimos para o desenvolvimento da tecnologia construtiva, foram criados Documentos de Avaliação Técnica (DATecs) formatados pelas diretrizes do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (SiNAT/PBQP-H).

O propósito da avaliação é conferir a inserção de produtos inovadores no setor, preenchendo brechas ou ausências de algumas normas técnicas mediante a avaliação das famílias de produtos. Além disso, também é seu propósito conceder Documentos de Avaliação Técnica (DATecs) relativos à diretriz aplicada a um produto ou empresa específicas (AMANCIO et al., 2015).

O principal estímulo de uma empresa ao buscar os DATecs, afirma Loturco (2008), é a confiabilidade quanto ao desempenho do produto por meio de ensaios, tais como desempenho estrutural, estanqueidade à água, segurança ao fogo, desempenho térmico, desempenho acústico e durabilidade. Apesar de os DATecs não possuírem força de norma, servem como referência a uma nova norma e são fundamentais para o financiamento público federal nos programas habitacionais brasileiros.

Em 2007, dentro do PBQP-H (Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat) foram criadas as diretrizes SiNAT (Sistema Nacional de Aprovações Técnicas). Subsidiadas pelo Ministério das Cidades, elas tiveram por finalidade a adequação da norma NBR 15.575: Edifícios Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013) à prioridade no método de avaliação para qualificar os métodos construtivos junto à população atendida pelos programas habitacionais. Além disso, visou estabelecer critérios e métodos para avaliação de desempenho, requisitos de durabilidade, habitabilidade, sustentabilidade, adequação ao uso e aceitação pelo usuário.

A Diretriz SiNAT é o documento que contém os requisitos para avaliação técnica de um determinado produto inovador e serve de referência para a elaboração da avaliação técnica. Sendo assim, é uma diretiva que contém a inovação tecnológica na construção civil para suprir lacunas na normalização técnica brasileira (AMANCIO et al., 2015).

Em 2016, o Ministério das Cidades, junto ao Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), lançou a Diretriz SINAT nº003 - Revisão 2, Diretriz para Avaliação Técnica de Sistemas Construtivos Estruturados em Perfis Leves de Aço Zincado Conformados a Frio, com Fechamentos em Chapas Delgadas (Sistemas Leves Tipo *LIGHT STEEL FRAMING*) e a Diretriz SINAT nº 009 - Revisão 1, Diretriz para Avaliação Técnica de produtos – Sistema de vedação vertical externa, sem função estrutural multicamadas, formado por perfis leves de aço zincado e fechamentos em chapas delgadas com revestimentos de argamassa (Fachada leve em *steel frame*). Essas diretrizes, atualizadas e ainda vigentes, encontram-se sob responsabilidade do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT). A diretriz inicia com a descrição dos elementos que compõem o sistema LSF.

- Quadros estruturais, compostos por um conjunto de perfis compostos por guias, montantes, diagonais e cartola que têm função estrutural de paredes,

entrepisos e cobertura. São constituídos por aço zincado conformado a frio (ABNT, NBR 15.253) e revestido de zinco por imersão a quente.

- Componentes de contraventamento, a utilização de OSB (*Oriented Strand Board*) até edificações de 2 pavimentos pode servir como elemento de contraventamento. Em caso de maior número de pavimentos, é necessário o uso de perfis ou tirantes metálicos.
- Sistema de fixação constituído de parafusos e chumbadores, a fixação dos quadros na base de fundação é executada por meio de chumbadores, enquanto a junção de peças metálicas é feita através de parafusos zincados (auto-brocantes com ou sem asa), para que não haja reação entre materiais. No caso de fixação de aços diferentes - por exemplo: pesado e leve -, a liga entre eles deve ser especificada em projeto e protegida com produto anticorrosivo.
- Componentes de fechamento, geralmente composto por chapas delgadas, sejam elas placas cimentícias (ABNT, NBR 15498), perfis de PVC (*Siding* Vinílico), chapas de gesso acartonado (ABNT, NBR 14715) ou chapas de OSB (ABNT, NBR 9531) com tratamento fungicida.
- Isolantes térmicos, incombustíveis, as placas podem ser de lã de rocha ou vidro, obedecendo às propriedades de condutividade térmica inferior a 0,06 W/m°C e resistência térmica menor que 0,5 m²K/W.
- Materiais absorventes acústicos, placas de lã de rocha ou vidro e fibras cerâmicas que mantenham a segurança.
- Barreiras impermeáveis, material líquido ou membrana impermeável à água e permeável ao vapor d'água.
- Produtos para impermeabilização, mantas ou membranas pré-moldadas ou conformadas in loco.
- Juntas entre as chapas de vedação, tratamento especificado de acordo com cada tipo de material, podendo ser visível ou dissimulado.
- Revestimento ou acabamento, pintura, texturas compatíveis com a flexibilidade do sistema de juntas.
- Subcoberturas, impermeável e reflexiva.

Conforme as diretrizes nº 003 e nº 009, todos os componentes apontados do sistema podem ou não estar constituídos nas paredes, cobertura e entrepisos. A

diretriz recomenda que quaisquer outros elementos não mencionados, atendam a normas técnicas pertinentes, com critérios que comprovem seu desempenho.

A diretriz mostra, ainda, a composição da envoltória do sistema de concepção do sistema vertical de vedação externo (SVVE), de acordo com a Figura 2, e do sistema de concepção do sistema vertical de vedação interno (SVVI), na Figura 3.

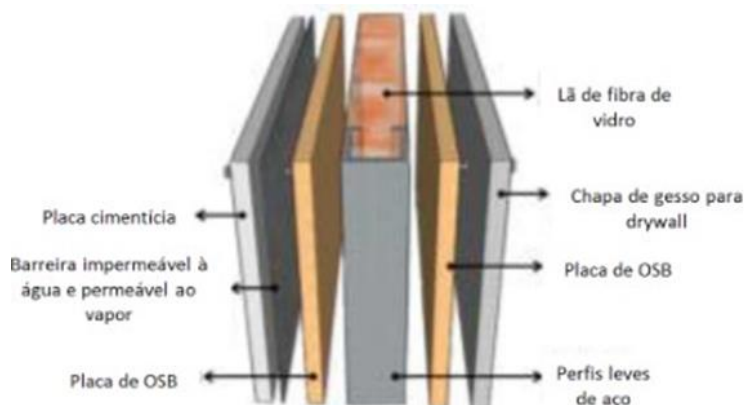


Figura 2 – Concepção do SVVE com revestimento de fachadas em cimentícia
Fonte: Diretriz SiNAT, 2016.

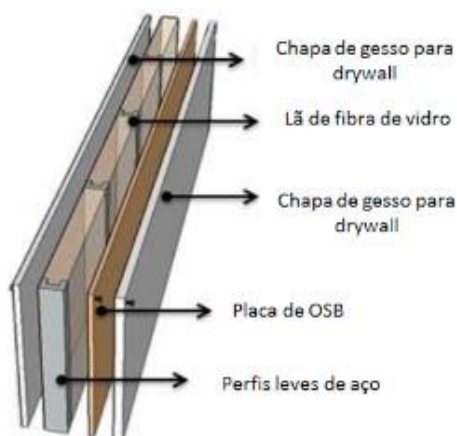


Figura 3 – Concepção do SVVI com revestimento em paredes internas
Fonte: Diretriz SiNAT, 2016.

Além disso, a diretriz especifica que, além da composição dos elementos dos sistemas, há restrições com relação a sua aplicabilidade em ambientes de elevada agressividade podendo ser aplicado às unidades habitacionais unifamiliares ou multifamiliares do tipo térreas, sobrados, tanto isoladas, como geminadas, com até 5 pavimentos.

As configurações referenciadas na diretriz SiNAT foram agrupadas para, posteriormente, serem utilizadas como base de dados para avaliar a envoltória referente ao comportamento do sistema LSF. A Tabela 2 apresenta os elementos de composição da envoltória. A diretriz não os classifica em padrões de acabamentos,

mas sim, determina quais as configurações mínimas para a edificação ser reconhecida.

Tabela 2 – Composição da envoltória para projeto básico.

Fechamento	Composição
Parede interna	Chapa de gesso: 15 mm; Perfil metálico 100 mm; Lã de vidro: 100 mm; Placa de OSB 9,5 mm; Chapa de gesso: 15 mm.
Parede externa	Placa cimentícia: 10 mm; Barreira permeável; Placa de OSB 11,1 mm; Perfil metálico 100 mm; Lã de vidro: 100 mm; Placa de OSB 9,5 mm; Chapa de gesso: 15 mm.
Cobertura	Chapa de gesso: 15 mm; Lã de vidro: 50 mm; Telha de fibrocimento 6 mm.

Fonte: Adaptado da Diretriz SiNAT, 2016.

É importante ressaltar que é recomendado a aplicação das placas de OSB de 11,1 mm pelo lado externo da edificação e internamente as placas de OSB de 9,5 mm, conforme especificação do fabricante *LP Building Products* (LPBP, 2019) e com base na NBR 15.575 (ABNT, 2013). Ainda, o fabricante BRASILIT indica, com base na NBR 15.575 (ABNT, 2013), para vedações externas, chapas de cimentícia com espessura mínima de 10 mm (BRASILIT/SAINT-GOBAIN, 2019).

2.4 Desempenho térmico e energético

Além do potencial que um sistema construtivo pode apresentar em seu processo de produção e de gestão, cresce nas empresas a conscientização das temáticas associadas a sustentabilidade e estratégias ambientais (ÁLVAREZ; PÉREZ, 2000), já que, para as edificações alcançarem níveis sustentáveis, é essencial avaliar sua eficiência energética (OLIVEIRA et al., 2016).

O consumo energético de uma edificação, tanto para o seu resfriamento quanto para o seu aquecimento, depende diretamente de suas características construtivas (JANSSEN; CARMELIET; HENS, 2004), além de um projetar que seja adequado às condições climáticas para atingir o conforto e o desempenho obrigatório do produto (GOMES, 2007).

As Normas de desempenho buscam avaliar o nível de eficiência energética e determinar diretrizes para a qualidade das edificações. Configuram, assim, uma abordagem importante, já que é preciso garantir o desempenho apropriado, levando-se em conta a comparação dos resultados entre sistemas distintos, além de impulsionar o desenvolvimento dos sistemas atuais e novas tecnologias (FOLIENTE,

2000). Grande parte das empresas construtoras em nosso país procura nas inovações tecnológicas, melhorar qualitativamente suas produções para melhorar atender as diretrizes das normas (CAETANO et al., 2008).

2.4.1 Norma Brasileira 15.575

A ABNT NBR 15.575 revisada em 2013 (ABNT, 2013) é a norma brasileira vigente com relação aos procedimentos para avaliação do desempenho de uma edificação habitacional através da verificação do atendimento aos requisitos para os sistemas estruturais, de pisos, de vedações verticais e externas, de cobertura, como também, as hidrosanitárias. A referida norma é obrigatória para aprovação de sistemas construtivos, adotando o zoneamento bioclimático proposto pela ABNT NBR 15.220-3 (ABNT, 2005), que define especificações baseadas no contexto de cada zona bioclimática brasileira.

Para aferir o desempenho de uma edificação, a ABNT NBR 15.575-4 estabelece os seguintes métodos de avaliação: procedimento simplificado, por simulação ou medição in loco. Tanto o procedimento simplificado quanto o por simulação são considerados métodos normativos, enquanto o procedimento por medição in loco é apenas informativo. É interessante ressaltar que, conforme afirma Foliente (2000), apesar de as normas prescritivas tenderem a ser mais fáceis em termos de aplicação e controle, acabam gerando dúvidas quanto ao seu desempenho, principalmente ao se comparar sistemas diferentes. Caso a avaliação não atenda aos requisitos de desempenho mínimo pelo método simplificado, deve ser utilizado o método de simulação computacional.

2.4.1.1 Procedimento simplificado (normativo)

O método prescritivo avalia se os sistemas de vedações externas atendem aos critérios com base na transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT), conforme os limites mínimos apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Limites mínimos de transmitância térmica para o atendimento da NBR 15.575 pelo método simplificado.

ZB's	Fechamento	Transmitância Térmica
1 e 2	Paredes externas	$U \leq 2,5 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$
	Cobertura	$U \leq 2,3 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$

		Absortância $\leq 0,6$	Absortância $> 0,6$
		$U \leq 3,7 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$	$U \leq 2,5 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$
3, 4, 5, 6, 7 e 8	Paredes externas		
	Cobertura	$U \leq 2,3 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$	$U \leq 1,5 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15575, 2013.

Tabela 4 – Limites mínimos de capacidade térmica para o atendimento da NBR 15.575 pelo método simplificado.

ZB's	Fechamento	Capacidade Térmica
1 a 7	Paredes externas	$CT \geq 130 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$
	Cobertura	-

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15575, 2013.

As construções secas, no entanto, têm, por propriedade, baixo peso e densidade, fazendo com que sua capacidade térmica seja baixa. Isso impede, portanto, que sejam avaliadas pelo método simplificado. Segundo a revisão de Soares (2014), uma parede externa em LSF possui CT de aproximadamente $40 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)}$, valor abaixo dos $130 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)}$ exigidos pela norma para o processo de avaliação utilizando o modelo simplificado. Torna-se necessário assim a realização da avaliação pelo método de simulação da norma de desempenho.

2.4.1.2 Procedimento por simulação (normativo)

O método de simulação é utilizado para os casos que não atendem aos parâmetros mínimos de transmitância e/ou capacidade térmica estabelecidos nas partes 4 e 5 da ABNT NBR 15.575. A simulação deve ser executada pelo programa *EnergyPlus®* ou por programa atestado pela ASHARAE 140 e que permita a determinação do comportamento térmico da edificação sob condições de exposição ao clima para as situações de dia típico de inverno e verão. O relatório da simulação do modelo deve apresentar as temperaturas para os diferentes cômodos de permanência prolongada e o registro das configurações inseridas na avaliação sem, no entanto, considerar as fontes de calor interno.

O modelo atenderá aos seguintes requisitos, apresentando condições térmicas no interior do edifício para os dias típicos de verão e inverno, conforme as Tabelas 5 e 6:

Tabela 5 – Critérios de avaliação do desempenho térmico para condições de verão.

Nível de Desempenho	Critério (Zb 1 a 7)
Mínimo	$T_i, \text{máx.} \leq T_e, \text{máx.}$
Intermediário	$T_i, \text{máx.} \leq (T_e, \text{máx.} - 2^\circ\text{C})$
Superior	$T_i, \text{máx.} \leq (T_e, \text{máx.} - 4^\circ\text{C})$

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15575, 2013.

Onde:

$T_i, \text{máx.}$ - É o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.

$T_e, \text{máx.}$ - É o valor máximo diário da temperatura do ar exterior a edificação, em graus Celsius.

Tabela 6 – Critérios de avaliação do desempenho térmico para condições de inverno.

Nível de Desempenho	Critério (Zb 1 a 5)
Mínimo	$T_i, \text{mín.} \geq (T_e, \text{mín.} + 3^\circ\text{C})$
Intermediário	$T_i, \text{mín.} \geq (T_e, \text{mín.} + 5^\circ\text{C})$
Superior	$T_i, \text{mín.} \geq (T_e, \text{mín.} + 7^\circ\text{C})$

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15575, 2013.

Onde:

$T_i, \text{mín.}$ - É o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.

$T_e, \text{mín.}$ - É o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior a edificação, em graus Celsius.

Conforme as Tabela 5 e 6, a edificação deve apresentar temperaturas internas menores que as temperaturas externas no verão e temperaturas internas 3°C acima da temperatura do ambiente externo para aprovação com nível mínimo da norma de desempenho. Outra informação necessária para essa avaliação é a definição do que caracteriza um dia típico de verão e um dia típico de inverno, definição que é específica para cada zona bioclimática, em virtude de dados como temperatura do ar, temperatura de bulbo úmido, nebulosidade e radiação solar. A NBR 15.575 não apresenta o dia típico de nenhuma cidade da Zona Bioclimática 2.

Assim, para o caso da Zona Bioclimática 2, avaliações pela NBR 15.575 submetidas ao SINAT são orientadas a utilizar a cidade de São Lourenço, MG, observando valores gerados pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) com base em dados climáticos do INMET e dados de radiação solar global no plano horizontal obtidos do CRESESP (SOARES, 2014). Soares (2014) optou por não utilizar a cidade

de São Lourenço (MG), com a justificativa de que esta estava numa altitude de 956 m, bem acima da altitude de Santa Maria (RS), cidade com a qual comparou os resultados de simulação horária. Por isso, em seu trabalho, optou por obter o dia típico de Santa Maria, para realizar a comparação de dois métodos diferentes com dados da mesma cidade: simulação de dias típicos e dados horários anuais.

Atualmente, dispõe-se de dados climáticos horários de Camaquã (RS), também na Zona Bioclimática 2, publicados pelo INMET em arquivo TRY, ao contrário de Santa Maria (RS), cujos dados eram do tipo TMY, construídos mensalmente e questionados por Pouey (2011).

A ABNT NBR 15.575 determina que os projetos devem apresentar orientações de projeto nas piores situações de inverno e verão, considerando, para inverno, parede cega a leste e abertura para sul, e para verão, com orientação de parede cega a norte e janela a oeste.

A primeira avaliação do modelo utiliza a taxa de ventilação de 1 ren/h e a absorvância das superfícies expostas conforme a cor clara: $\alpha = 0,3$, média $\alpha = 0,5$ e escura $\alpha = 0,7$. No caso de a unidade habitacional não atender aos critérios estabelecidos para verão, deve simular o modelo novamente, com as seguintes alterações:

- Ventilação: alteração da taxa de renovação de ar para cinco renovações do volume de ar do ambiente por hora (5,0 ren/h – janela totalmente aberta), sem sombreamento;
- Sombreamento: inserção de elemento de proteção que reduza 50% a radiação da abertura, com taxa de renovação do volume de ar do ambiente por hora (1,0 ren/h);
- Ventilação e sombreamento: combinação dos dois itens anteriores. Ou seja, proteção solar e taxa de renovação do ar de 5,0 ren/h.

É interessante observar que Soares (2014) avaliou os limites de aprovação pelo método de simulação e averiguou que, especialmente no inverno, em zonas que possuem invernos rigorosos, a avaliação pelo dia típico da ABNT NBR 15.575 torna-se incompatível com os níveis de conforto. Além disso, o autor constatou que a adoção de limites estabelecidos em graus-hora anuais proporciona resultados mais adequados às condições de conforto ao usuário, evitando a aprovação generalizada de casos fora das condições de conforto humano.

Nesse mesmo contexto, temos regulamentos norteadores para avaliar a eficiência energética das edificações residenciais que utilizam o método de simulação com base em parâmetros diferentes das apresentadas pela norma de desempenho.

2.4.2 Regulamento técnico da qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)

Em 2012, foi implementado o RTQ-R (INMETRO, 2012), que determina requisitos técnicos e métodos de categorizar as edificações no que concerne à eficiência energética. Seu objetivo principal é formar conjunturas para avaliar o nível de eficiência das edificações, a fim de que se obtenha a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE).

A etiquetagem é representada por cinco níveis de eficiência possíveis, sendo A o mais eficiente e absorbância o menos eficiente (Figura 4).



Figura 4 – Níveis da avaliação de certificação do RTQ-R

Fonte: (INMETRO, 2012)

Os métodos utilizados pelo regulamento para determinar a classificação da edificação são compreendidos pelos Métodos Prescritivo e de Simulação, como a ABNT NBR 15.575. Para o método prescritivo, são julgadas as propriedades térmicas da envoltória, como transmitância, capacidade térmica, ventilação e iluminação natural em razão do zoneamento bioclimático.

O método de simulação adota a configuração horária de um ano típico (TRY ou TMY), diferente da utilização da temperatura base de acordo com os dias típicos de verão e inverno, se comparado com a configuração da ABNT NBR 15.575. Os ambientes de permanência prolongada são avaliados pelos indicadores de graus-hora de resfriamento (GHr) e pelo cálculo do consumo anual relativo para aquecimento (CA), mediante duas condições: naturalmente ventilada e condicionada artificialmente.

O procedimento de simulação deve atender aos seguintes pré-requisitos:

- Modelagem: considerando 8.760 horas por ano;
- Padrão de ocupação: considerando 2 pessoas por dormitório e, para a sala, o somatório de todos os usuários. É preciso adotar a taxa metabólica pelo tipo de atividade correspondente (Quadro 1);

- Padrão de iluminação: representados pelo Quadro 2, atribuindo 100% para quando o sistema estiver ligado e 0 para o sistema desligado. A densidade de potência da iluminação é considerada conforme o Quadro 3;
- Cargas internas de equipamentos: modeladas apenas para a sala, de acordo com os valores do Quadro 4 para todo o período de 24h do dia durante toda simulação;
- Definição da temperatura operativa (T_o) para determinar o indicador graus-hora com base na temperatura de cálculo em 26°C;
- Modelagem do sistema de ventilação natural a partir do coeficiente de rugosidade do entorno em 0,33; coeficiente de descarga (CD) de 0,60; coeficiente de frestas (CQ) de 0,001 kg/(s.m) e expoente do fluxo de ar (n), que deve ser 0,65;
- Definição da temperatura de solo a partir do uso do programa *Slab* vinculado ao programa *EnergyPlus*.

Quadro 1 - Taxas metabólicas para cada atividade.

Ambiente	Atividade realizada	Calor produzido (W/m ²)	Calor produzido por área de pele = 1,80 m ² (W)
Sala	Sentado ou assistindo TV	60	108
Dormitórios	Dormindo ou descansando	45	81

Fonte: INMETRO (2012).

Quadro 2 - Padrão de uso da iluminação.

Hora	Dormitórios		Sala	
	Dias da semana (%)	Fim de semana (%)	Dias de semana (%)	Fim de semana (%)
1h	0	0	0	0
2h	0	0	0	0
3h	0	0	0	0
4h	0	0	0	0
5h	0	0	0	0
6h	0	0	0	0
7h	100	0	0	0
8h	0	0	0	0
9h	0	100	0	0
10h	0	0	0	0
11h	0	0	0	100
12h	0	0	0	100
13h	0	0	0	0
14h	0	0	0	0
15h	0	0	0	0
16h	0	0	0	0
17h	0	0	100	100
18h	0	0	100	100
19h	0	0	100	100
20h	0	0	100	100

21h	100	100	100	100
22h	100	100	0	0
23h	0	0	0	0
24h	0	0	0	0

Fonte: INMETRO (2012).

Quadro 3 - Densidade de potência instalada de iluminação

Ambiente	DPI (W/m ²)
Dormitórios	5,0
Sala	6,0

Fonte: INMETRO (2012).

Quadro 4 - Cargas internas de equipamentos

Ambiente	Período	Potência (W/m ²)
Sala	24h	1,5

Fonte: INMETRO (2012).

Para avaliar o processo da edificação condicionada artificialmente, são comparados os consumos para aquecimento (CA) e resfriamento (CR), segundo os quais as temperaturas respectivamente são, quando simuladas no período das 21h às 08h, de 24°C e 22°C para a ZB2.

A taxa de fluxo de ar nesta situação, por pessoa, é valorada em 0,00944m³/s, com o modo de operação de ventilador contínuo de eficiência 0,7 e eficiência de motor de 0,9. A razão entre o calor retirado do ambiente e a energia consumida (COP) deve ser avaliada, assim, para os valores de 3,00 e 2,75 W/W. Quando se trata especificamente da ZB2, o equivalente numérico é obtido pela equação de equivalente numérico da envoltória da UH para ZB2 (Equação 1).

$$EqNumEnv = (0,44 * EqNumEnvResfr) + (0,56 * EqNumEnvA) \quad (1)$$

Cabe destacar que, dentre todas as zonas bioclimáticas, a ZB2 é a que apresenta maior proximidade entre os pesos de resfriamento e aquecimento da Equação 1, demonstrando a elevada sazonalidade e preocupação em ambas as situações.

O procedimento de simulação deve atender aos seguintes pré-requisitos:

- Sistema de condicionamento artificial para cada dia da semana e feriados;
- Determinação da carga térmica do ar condicionado.

Com os resultados das equações, é possível determinar a eficiência energética das edificações inseridas na zona bioclimática 2. O sistema de aquecimento de água e as bonificações não são considerados no cálculo da eficiência energética devido à não apresentação dos mesmos nos sistemas avaliados, sendo avaliado, portanto, apenas o sistema construtivo.

2.5 Custo na construção civil

O projetista toma decisões com o objetivo de solucionar diversos aspectos na obra. Essas decisões, de certa forma, determinam o comportamento e desempenho da edificação, tanto funcional quanto econômico. Para Parisotto (2003) obter o custo da construção relaciona-se ao estágio de detalhamento do projeto, com o tempo disponível para análise e com o uso a que é destinado. Todavia esses métodos invariavelmente compreendem análise de dados históricos de projetos anteriores, os quais englobam as composições, os quantitativos e as ligações entre as variáveis.

O desenvolvimento detalhado de um projeto executivo é fator determinante para uma avaliação de custo preliminar que possibilitará ao investidor optar, no prosseguimento, por possíveis ajustes ou até mesmo por abandonar a realização do empreendimento (MATTOS, 2009). Ou seja, a estimativa de custos tem como propósito viabilizar um empreendimento. O orçamento propriamente dito necessita do levantamento dos quantitativos e da constituição de todos os custos para cada serviço. O custo direcionará o preço de venda, o qual constitui um critério determinante, que precisa estar dentro das expectativas e padrões aceitos pelo mercado (MATTOS, 2009).

O orçamento é a base da fixação de custo de um projeto e é uma das mais importantes áreas no negócio da construção civil, pois garante a base para a fixação final do preço do empreendimento. Para garantir que um orçamento seja eficiente e reflita a realidade, a cotação dos preços de insumos deve ser realizada constantemente (CAETANO et al., 2008). Um importante indicador de custos da construção civil é CUB – Custo Unitário Básico, desenvolvido para orientar este processo orçamentário.

2.5.1 CUB – Custo Unitário Básico

A Lei 4.591, de 16 de dezembro de 1964, dispõe sobre o condomínio em edificações e as incorporações imobiliárias, o que, por sua vez, contribuiu para o desenvolvimento da ABNT NBR 140:1965 devido à carência de disciplina em suas atribuições. Essa norma, modificada em 1992 para a NBR 12.721, sendo posteriormente atualizada – mais especificamente, em 1999 e 2006 (ABNT, 2006), quando foram inseridos um projeto-padrão e um lote básico, inteiramente novos. A lei determinou que os sindicatos da construção civil concedessem, mensalmente,

informações dos custos unitários da construção para orientar empreendimento e seu progresso ao longo do tempo.

O Custo Unitário Básico (CUB/m²), primeiramente desenvolvido para determinar procedimentos técnicos para o cálculo do CUB/m² e definir os parâmetros de custos dos imóveis, acabou por consolidar-se como indicador de custo da construção civil. O objetivo principal da ABNT NBR 12.721 é especificar os critérios de avaliação de custos de construção, procedimentos e disposições para incorporações imobiliárias.

2.5.1.1 Projetos-padrão

A ABNT NBR 12.721 (ABNT, 2006) apresenta a classificação dos projetos-padrão que representam os diferentes tipos de construções e padrões de acabamento para o sistema construtivo convencional. Essa classificação é utilizada, sobretudo, nas incorporações em condomínio e conjuntos, sendo realizada a partir de características, tais como, número de pavimentos, número de dependências, áreas equivalentes à área de custo padrão privativa, padrão de acabamento e número de unidades total.

A cartilha do SINDUSCON-MG apresenta as plantas baixas dos projetos-padrão residenciais unifamiliares especificados na ABNT NBR 12.721. Esses padrões são divididos em quatro tipologias de acabamento (Quadro 5):

Quadro 5 - Características principais dos projetos-padrão residenciais unifamiliares.

Sigla	Nome e descrição	Dormitórios	Área Real	Área equivalente
RP1Q	Padrão popular: 1 pavimento, 1 dormitório, sala, banheiro e cozinha	1	39,56 m ²	39,56 m ²
R1-B	Padrão baixo: 1 pavimento, com 2 dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área para tanque.	2	58,64 m ²	51,94 m ²
R1-N	Padrão normal: 1 pavimento, 3 dormitórios (1 suíte) banheiro social, sala, circulação, cozinha, área de serviço com banheiro e varanda (abrigo para automóvel)	3	106,44 m ²	99,47 m ²
R1-A	Padrão alto: 1 pavimento, 4 dormitórios (1 suíte com closet e outro com banheiro) banheiro social, sala de estar, jantar e íntima, circulação, cozinha, área de serviço completa e varanda (abrigo para automóvel)	4	224,82 m ²	210,44 m ²

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 12.721 (2006).

A partir da análise das informações fornecidas pela publicação do CUB-RS no primeiro semestre de 2020, é possível verificar custos unitários semelhantes ou superiores para os padrões popular e baixo, conforme o Quadro 6.

Quadro 6 - Custo unitário básico CUB – RS.

Padrão de acabamento	R\$/m² - (Primeiro semestre de 2020)					
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
RP1Q	1.578,80	1.582,53	1.590,87	1.588,23	1.590,99	1.595,81
R1	1.486,49	1.492,72	1.504,15	1.505,92	1.507,40	1.509,35
Diferença de custos em R\$	+ 92,31	+ 89,81	+ 86,72	+ 82,31	+ 83,59	+ 86,46

Fonte: Adaptado de CUB/RS (2020).

Baseado no princípio de que o projeto-padrão popular propõe uma edificação adequada a um custo mais acessível que o projeto-padrão baixo, o Quadro 6 não representa este cenário. Pelo contrário: torna-se mais caro por metro quadrado, devido ao comparativo de custo entre eles. As razões estão atreladas as distinções entre as características e áreas dos programas de necessidades. Se comparados aos projetos básicos referência para os financiamentos habitacionais, a planta básica utilizada pela Caixa Econômica Federal (CEF) para o MCMV, por exemplo, aproxima-se em programa de necessidades e área se comparada ao projeto-padrão baixo da norma 12.721 (ABNT, 2006). No entanto, são meramente ilustrativas, não sendo possível identificar alguns detalhes arquitetônicos imprescindíveis para o estudo, como os tamanhos das esquadrias e o pé-direito.

De acordo com a ABNT NBR 12.721, em nota técnica, os projetos que deram origem a esta norma estão disponíveis para consulta na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e na Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), incluindo todos os projetos arquitetônicos, de estruturas, de instalações elétricas e hidráulicas, as medições, memórias de cálculo e demais documentos utilizados no estudo de que resultou o estabelecimento das disposições recomendadas.

No que diz respeito às aberturas para ventilação, os ambientes de permanência prolongada, salas ou dormitórios, devem ter áreas que atendam às especificações mínimas da ABNT NBR 15.575, correspondentes a 7% da área de piso, ou seja, a área efetiva da esquadria condiz com o vão livre de circulação do ar, suprimindo os perfis, vidros e qualquer outro empecilho. Os ambientes devem atender às áreas mínimas estipuladas por legislação local, as quais são esclarecidas na adequação do projeto-padrão (Quadro 7).

Quadro 7 – Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar.

Nível de Desempenho	Aberturas para ventilação (A)
Zona	Zonas 1 a 7 – Aberturas médias
Mínimo	$A \geq 7\%$ da área de piso
A área efetiva de abertura do cômodo é equivalente a área livre para circulação de ar, descontadas as dimensões de quaisquer obstáculos, como perfis e vidros.	

Fonte: ABNT (2013).

A norma de desempenho menciona que, além de atender o mínimo, a edificação deve obedecer à legislação específica do local de implantação. No caso, foi averiguado o código de obras de Pelotas, que está inserido na ZB2. O art. 114 identifica que todo compartimento necessita de abertura para o exterior e que estas deverão ser dotadas de dispositivos que concebam a passagem de ar com, pelo menos, 50% da área mínima exigida, não podendo ser inferior a 1/6 da superfície do piso, para compartimento de permanência prolongada, e 1/8 da superfície do piso, para compartimento de permanência transitória. Caso o compartimento possua qualquer tipo de cobertura com projeção horizontal superior a 1,20m, os valores, respectivamente, da superfície dos vãos de abertura, será de 1/5 e 1/7.

Além disso, outra informação de extrema importância para os cálculos referentes aos quantitativos orçamentários e estruturação dos modelos para análise do processo de simulação é o pé direito da edificação. Para determiná-lo, podemos encontrar orientações na ABNT NBR 15.575 e nos códigos de obras das cidades de implantação do produto edílico.

2.5.1.2 Envoltória e especificações de acabamento

A ABNT NBR 12.721 descreve as especificações dos acabamentos e os insumos utilizados para o levantamento do CUB como parâmetro orçamentário para os diversos tipos de projetos-padrão residenciais.

Além dos acabamentos, o sistema de vedações internas e externas do sistema construtivo convencional, de acordo com a ABNT NBR 12.721, apresenta especificações da envoltória que correspondem aos elementos da estrutura dos fechamentos internos e externos da edificação. Apresenta também, a composição dos elementos de cobertura para o cálculo da transmitância térmica e capacidade térmica das paredes e coberturas para o sistema convencional dos projetos-padrão apresentados nos Quadros 8, 9 e 10.

Quadro 8 – Características da envoltória do sistema convencional (padrão baixo).

Padrão Baixo (Sistema convencional)	
Classe	Descrição
Cor da parede	Clara, média e escura
Piso	Cerâmico
Pé direito	2,60 m
Placa de gesso	Forro em placas de gesso liso colocado 60x60 cm
Parede externa e interna	Massa única de 2cm Bloco cerâmico para alvenaria de vedação 9x19x19cm (comum)

	Argamassa de assentamento de 1cm
Cobertura	Chapa de gesso de 13cm Laje de concreto 10cm Telha fibrocimento ondulada 6mm (2,44x1,10m)

Fonte: ABNT (2006).

Quadro 9 – Características da envoltória do sistema convencional (padrão normal/médio).

Padrão Normal (Sistema convencional)	
Classe	Descrição
Cor da parede	Clara, média e escura
Piso	Cerâmico
Pé direito	2,60 m
Placa de gesso	Forro em placas de gesso liso colocado 60x60 cm
Parede externa e interna	Massa única de 2cm Bloco cerâmico para alvenaria de vedação 9x19x19cm (comum) Argamassa de assentamento de 1cm
Cobertura	Chapa de gesso de 13cm Laje de concreto 10cm Telha fibrocimento ondulada 6mm (2,44x1,10m)

Fonte: ABNT (2006).

Quadro 10 – Características da envoltória do sistema convencional (padrão alto).

Padrão Normal (Sistema convencional)	
Classe	Descrição
Cor da parede	Clara, média e escura
Piso	Cerâmico
Pé direito	2,60 m
Placa de gesso	Forro em placas de gesso liso colocado 60x60 cm
Parede externa e interna	Massa única de 2cm Bloco cerâmico para alvenaria de vedação 9x19x19cm (comum) Bloco de concreto sem função estrutural 19x19x39cm Argamassa de assentamento de 1cm
Cobertura	Chapa de gesso de 13cm Laje de concreto 10cm Telha fibrocimento ondulada 6mm (2,44x1,10m)

Fonte: ABNT (2006).

De acordo com as exigências da CEF de acordo com o SINAPI (IBGE, 2020), é determinado que a unidade que possua cobertura de fibrocimento possua laje com espessura mínima de 10 cm. Dessa forma, este foi um fator considerado para avaliar a envoltória deste trabalho.

A respeito da cor das paredes a serem avaliadas, a ABNT NBR 15.575 determina que, caso não haja uma cor definida, é necessário avaliar o comportamento da edificação com os três tipos de absorções referentes às tonalidades clara ($\alpha =$

0,3), média ($\alpha = 0,5$) e escura ($\alpha = 0,7$), até mesmo para observar o seu comportamento nos diferentes sistemas construtivos.

Por fim, a partir da coleta de informações da envoltória de projeto, de acordo com seu método construtivo, é possível determinar a composição dos custos de um empreendimento.

2.5.1.3 Composição dos custos

Os critérios e procedimento para elaboração de orçamento de custo da construção consideram o orçamento atualizado vigente no mês do contrato ou até dois meses anteriores a ele (NBR 12.721). Para ratear o custo da construção, é apresentado o critério de proporcionalidade das áreas equivalentes, ou seja, a cota é calculada pela proporção entre a área equivalente em área de custo padrão total e área equivalente em área de custo padrão global da edificação. Ou seja, para a avaliação dos projetos, os custos serão baseados no custo de área equivalente, de modo a aproximar os resultados de forma mais precisa.

O método de cálculo, na determinação do CUB, é aplicado, após análise estatística de consistência dos preços coletados e ao coeficiente físico correspondente aos insumos do lote básico de cada projeto-padrão. Tendo-se em vista que os projetos-padrão são apresentados e definidos junto aos lotes básicos, foram utilizados como referência de projeto e método de cálculo para o desenvolvimento deste trabalho.

É importante ressaltar que a composição do CUB não leva em consideração alguns itens na sua composição, tais como fundações, tratamentos com o terreno e entorno, elevadores, áreas de lazer e recreação, sistema de condicionamento de ar, urbanização, regulamentação de condomínio, taxas, impostos e emolumentos cartoriais, projetos arquitetônicos ou complementares, como também, remuneração de incorporação ou construção.

2.5.2 SINAPI

O SINAPI teve origem em 1969, tendo sido desenvolvido pelo Banco Nacional de Habitação (BNH) com o objetivo de calcular os custos mensais e de índices da construção civil para habitações. Em 1986, a Caixa Econômica Federal (CEF), em sucessão ao BNH, passou a utilizá-lo como referência de custos mediante trabalhos técnicos em parceria com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

No ano de 1994, ocorreu uma ampliação do sistema que abrangeu o setor de saneamento básico e infraestrutura. Seu uso está previsto na Lei de Diretrizes Orçamentárias (LDO 11.439 – Art. 115) desde 2003. Em 2013, o sistema foi suprimido da LDO e tratado no Decreto 7.983/2013, que determina as diretrizes para a elaboração de orçamento de obras e serviços de engenharia. Assim, passou a servir como indicador de custos unitários de materiais, equipamentos, salários, serviços no setor do saneamento básico, infraestrutura e habitação.

O SINAPI é uma referência, com divulgação pública, devidamente caracterizada em documentação técnica para adoção de valores pertinentes, essas, são atualizados e disponibilizados mensalmente no site da CEF. Os documentos técnicos compõem a mão de obra, insumos de materiais, equipamentos e serviços, separados por região, componentes, esses, concebidos com encargos sociais desonerados e não desonerados. O preço pode ser coletado pelo IBGE, obtido por coeficiente representativo ou pelo método de família, sendo atribuído com base na localidade.

Com o objetivo de esclarecer e mapear a composição do preço do produto edílio apresenta o Quadro 11 que classifica as partes que compõem os custos da construção. No entanto, o trabalho aborda apenas os custos diretos, já que as demais condicionantes dependem diretamente das circunstâncias de possíveis implantações e gestões.

Quadro 11 - Formação de preço.

Formação de preço			
Custo		BDI	
Direto	Indireto	Despesas	Bonificações
Materiais Mão de obra Equipamentos Ferramentas E.P.I Outros		Tributos Despesas financeiras Risco Administração central Outros	

Fonte: IBGE (2018).

O custo direto é a somatória de custos dos serviços que são necessários para a execução de uma obra com os valores apurados de mercado, compostos pelos custos dos materiais, mão de obra e equipamentos, acrescido dos encargos sociais pertinentes.

É importante salientar que o percentual de Benefícios e Despesas Indiretas (BDI) – ou custo de transporte – não é atribuído, sendo, assim, incluído em caso de necessidade. Neste trabalho, o referido percentual não será utilizado para composição

do custo, uma vez que não é um objetivo desta pesquisa descobrir os custos que viabilizam os diferentes sistemas a serem comparados.

Em comparação com o CUB, o SINAPI nos permite obter um detalhamento mais aprofundado nas especificações dos materiais e serviços, de forma atualizada e consistente, incluindo o sistema de construção a seco.

Através de pesquisa de mercado e tratamento estatístico comprovou-se que, em construções de grande porte, a realização de cotações e barganha na aquisição dos materiais resulta em economia da ordem de 15% sobre o custo total da obra calculado pela mediana do SINAPI, sistema oficial que foi escolhido para análise em virtude da abrangência nacional e temporal de suas cotações, devido a sua variedade de insumos que abrange variados tipos de obra (SILVA; LIMA; MACIEL, 2010).

2.6 Avaliação Custo-Benefício

A avaliação custo-benefício realizada neste trabalho tem o intuito de qualificar os dois sistemas de forma que seja possível estimar as forças e fraquezas das alternativas em viabilizar economicamente os projetos-padrão entre cada sistema construtivo proposto a partir da abordagem sistemática que pretende avaliar a técnica.

De acordo com Greenberg (2014), as etapas necessárias para avaliar a técnica são dadas a partir destas primeiras etapas:

1. Especificar os projetos a serem analisados;
2. Definir quais os custos-benefícios serão avaliados;
3. Identificar as categorias de impacto, catalogar e selecionar indicadores de medição;
4. Prever os impactos quantitativos ao longo da vida de projeto;
5. Quantificar os custos monetários dos impactos;
6. Descontar os benefícios e custos para obter valor;
7. Analisar a sensibilidade;
8. Fazer recomendações.

Após o recolhimento de todas as informações dedicadas a preencher as lacunas acima, será possível tomar uma decisão a partir da análise dos resultados, obtendo uma justificativa ou viabilidade. Será possível, também, comparar os estudos de caso com base no custo total de cada projeto e verificar se esses custos ultrapassam ou não o valor esperado, identificando o fator para tal.

A técnica de avaliação custo-benefício, que teve acentuada discussão sobre seus procedimentos e estratégias na segunda metade do século XX, foi empregada em diferentes áreas do conhecimento nas últimas décadas, com a temática ambiental e condições climáticas (PEARCE; ATKINSON; MOURATO, 2006), cognições e avaliações de mercado na Economia (SUNSTEIN, 2000) e aprendizado por reforço na Psicologia (KOOL; GERSHMAN; CUSHMAN, 2017).

Considerando a avaliação do desempenho térmico e energético de edifícios, Liu et al. (2018), apresentaram uma análise custo-benefício com uma proposta de *retrofit* para uma edificação residencial na China. Já Araújo et al. (2016), propuseram um novo método de avaliação custo-benefício considerando a vida útil da edificação como um dos critérios de avaliação do procedimento.

Conti et al. (2019), por sua vez, realizaram uma avaliação custo-benefício para identificar a viabilidade de uma aplicação híbrida entre um sistema fotovoltaico e coletor térmico, aplicado em uma edificação *nearly zero-energy building* (NZEB), ou em tradução, edificações com necessidades energéticas próximas de zero. No contexto nacional, Prado e Romero (2016), realizaram a avaliação de um *retrofit* em um edifício público no Distrito Federal (DF), fazendo uso da simulação computacional como instrumento para obtenção dos dados utilizados para a avaliação.

Gonçalves (2017) realizou uma análise custo-benefício em um *retrofit* edificação comercial localizada em Pelotas-RS, zona bioclimática 2. Na avaliação, medidas como o isolamento da cobertura, instalação de dispositivos dimerizáveis e a aplicação de módulos solares fotovoltaicos se mostraram interessantes para a análise.

3. Método

3.1 Delineamento geral da pesquisa

Para averiguar a competitividade entre o sistema LSF e o convencional, foram utilizados os projetos-padrão da norma ABNT NBR 12.721 para os três tipos de acabamento, sendo eles os padrões baixo, normal e alto, inseridos neste trabalho na Zona Bioclimática 2 para aferição dos seus respectivos desempenhos e custos.

A Figura 5 abaixo apresenta um fluxo de nível geral da atividade da pesquisa, composto por cinco etapas principais. O primeiro passo foi definição dos modelos de simulação do estudo, considerando a identificação dos projetos de edificação. Em seguida, a etapa de aplicação dos requisitos de desempenho, onde foram inseridas as características de entrada para realização dos experimentos por simulação. Na terceira etapa foram realizadas as simulações computacionais termoenergéticas dos cenários estipulados nas etapas anteriores. Na quarta etapa foi realizada a avaliação dos resultados obtidos por meio da simulação, considerando as particularidades estabelecidas pelas normativas de desempenho adotadas. Por fim, na quinta e última etapa, foi realizado o processo de orçamentação das estratégias avaliadas, bem como a análise custo-benefício, de modo a identificar as potencialidades e limitações das estratégias construtivas testadas do ponto de vista térmico, energético e econômico.

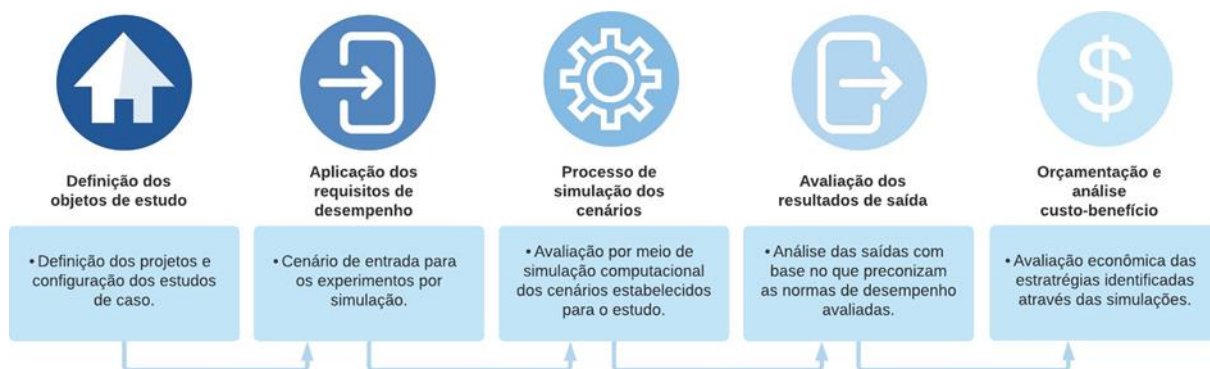


Figura 5 – Delineamento geral da pesquisa.

Fonte: Autora.

3.2 Definição dos objetos de estudo

No que tange a definição dos modelos utilizados para análise por simulação, foram utilizados os projetos residenciais unifamiliares da referida norma, que representam os diversos padrões de acabamento usados como base da construção civil.

Contudo, cabe salientar que os projetos são disponibilizados de forma incompleta pela, sendo necessária a correção mediante a distorção das plantas baixas apresentadas pela norma ABNT NBR 12.721, processo fundamentado na técnica de distorção por área (CB3E, 2015).

A partir da retificação das plantas baixas, foram identificadas as larguras das esquadrias, possibilitando com que os seus vãos fossem estipulados com base na orientação do código de obras municipal e no que estabelece a NBR 15.575, que especifica as proporções mínimas para o vão de abertura, conforme a área de cada ambiente. A mesma base de dados foi usada para determinar o pé direito do projeto, informação relevante no momento da modelagem dos dois sistemas construtivos e levantamento dos quantitativos de materiais.

A norma de desempenho parte da previsão de situações críticas referentes à orientação solar do produto edificado, ou seja, os projetos serão posicionados conforme a pior orientação de inverno e verão. Alguns dos projetos analisados careceram de rebatimento da planta baixa para se enquadrarem neste quesito.

A ABNT NBR 12.721, por sua vez, não só apresenta os projetos-padrão, como determina o tipo de acabamento e os materiais que constituem a envoltória, além de seus quantitativos de insumos e serviços para o projeto residencial de padrão baixo,

normal e alto, possibilitando a partir desta condição a configuração dos modelos em alvenaria.

Para compor a envoltória do sistema *Light Steel Frame*, foi utilizada a diretriz para avaliação técnica de produtos – especificamente a Diretriz SINAT nº 003 rev. 02, que estabelece sua estrutura e elementos compositivos.

Diante do contexto exposto, foram avaliadas as edificações residenciais dos padrões **baixo**, **normal** e **alto** da norma NBR 12.721, considerando dois sistemas construtivos:

- a) **Sistema convencional**: paredes externas e internas de tijolos furado, cobertura de fibrocimento e laje de concreto.
- b) **Sistema *Light Steel Frame***: paredes externas compostas de placa cimentícia, OSB, perfil metálico estrutural com lã de vidro, OSB, e gesso acartonado, cobertura com telha de fibrocimento e lã de vidro.

3.2.1 Definição dos projetos para realização da análise

Para avaliação por meio da NBR 15.575 foram realizadas as simulações observando as recomendações do método de simulação computacional observando os cômodos de permanência prolongada, ou seja, salas e dormitórios para as duas situações críticas a serem avaliadas: inverno e verão. Para adequar os estudos de caso a estas condições citadas, foi necessário realizar o rebatimento dos três padrões construtivos para os cenários de inverno e verão, totalizando seis modelos de avaliação (Figuras 6 a 11). Cabe ressaltar que os mesmos modelos foram utilizados para avaliação pelo RTQ-R.

A modelagem geométrica partiu das plantas apresentadas na Cartilha SINDUSCON-MG que se refere às plantas que caracterizam os projetos unifamiliares nos padrões baixo, normal e alto, assim organizados para os modelos convencional e LSF:

- P01 – Projeto padrão baixo para condição de inverno;
- P01A – Projeto padrão baixo para condição de verão;
- P02 – Projeto padrão normal para condição de inverno;
- P02A – projeto padrão normal para condição de verão;
- P03 – Projeto padrão alto para condição de inverno;
- P03A – Projeto padrão alto para condição de verão.

3.2.1.1 Situação de inverno

Como mostra a Figura 6, o modelo P01 (padrão baixo), foi disposto de modo que a orientação solar do Dormitório 1 estivesse com parede cega à leste e janela para sul.



Figura 6 – Modelo P01: Dormitório 1 com parede cega à leste e janela para sul.
Fonte: Autora.

O modelo P02 (padrão normal) da Figura 7, por sua vez, teve a orientação solar executada de modo que o Dormitório 1 ficou com parede cega à leste e janela para sul.

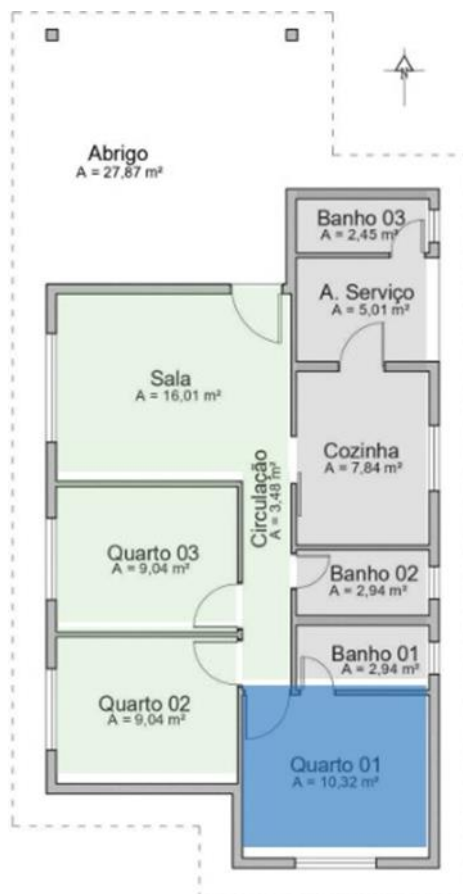


Figura 7 – Modelo P02: Dormitório 1 com parede cega à leste e janela para sul.

Fonte: Autora.

Já o modelo P03 (padrão alto), Figura 8, também teve sua orientação rebatida para permitir que o Dormitório 4 obtivesse parede cega a leste e janela voltada ao sul.

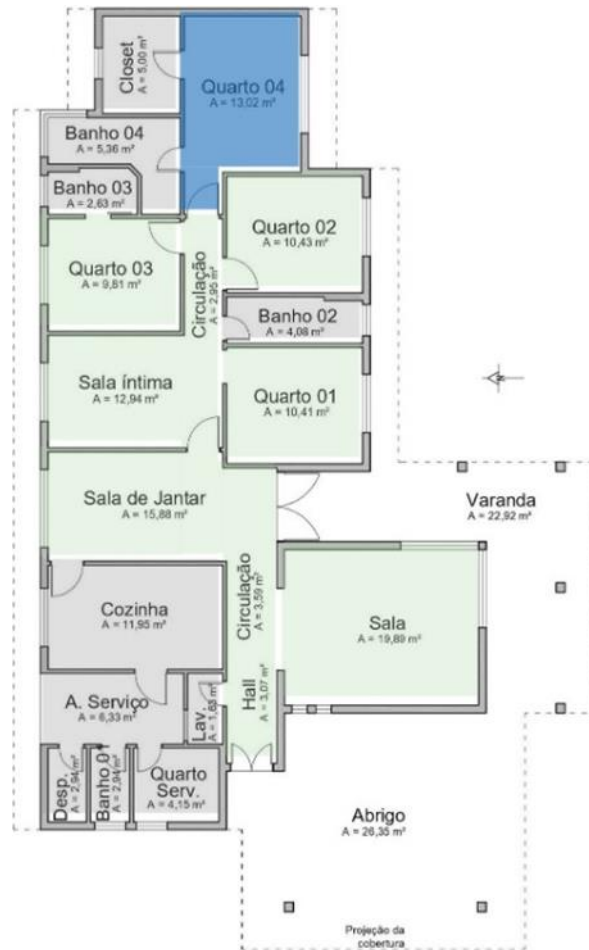


Figura 8 – Modelo P03: Dormitório 4 com parede cega à leste e janela para sul.
Fonte: Autora.

3.2.1.2 Situação de verão

Para a situação de verão o modelo P01A (padrão baixo), teve a planta baixa rebatida com sua orientação solar rotacionada de maneira que o dormitório 02 ficasse com parede cega à norte e janela para oeste.



Figura 9 – Modelo P01A: Dormitório 2 com parede cega à norte e janela para oeste.
Fonte: Autora.

Para o modelo P02A (padrão normal), Figura 10, a planta baixa foi rebatida e sua orientação solar executada de maneira que o Dormitório 2 ficasse com parede cega à norte e janela para oeste.



Figura 10 – Modelo P02A: Dormitório 2 com parede cega à norte e janela para oeste.
Fonte: Autora.

Já no modelo P03A (padrão alto), Figura 11, a planta baixa foi rebatida e sua orientação solar rotacionada de maneira que o Dormitório 4 ficasse com parede cega à norte e janela para oeste.

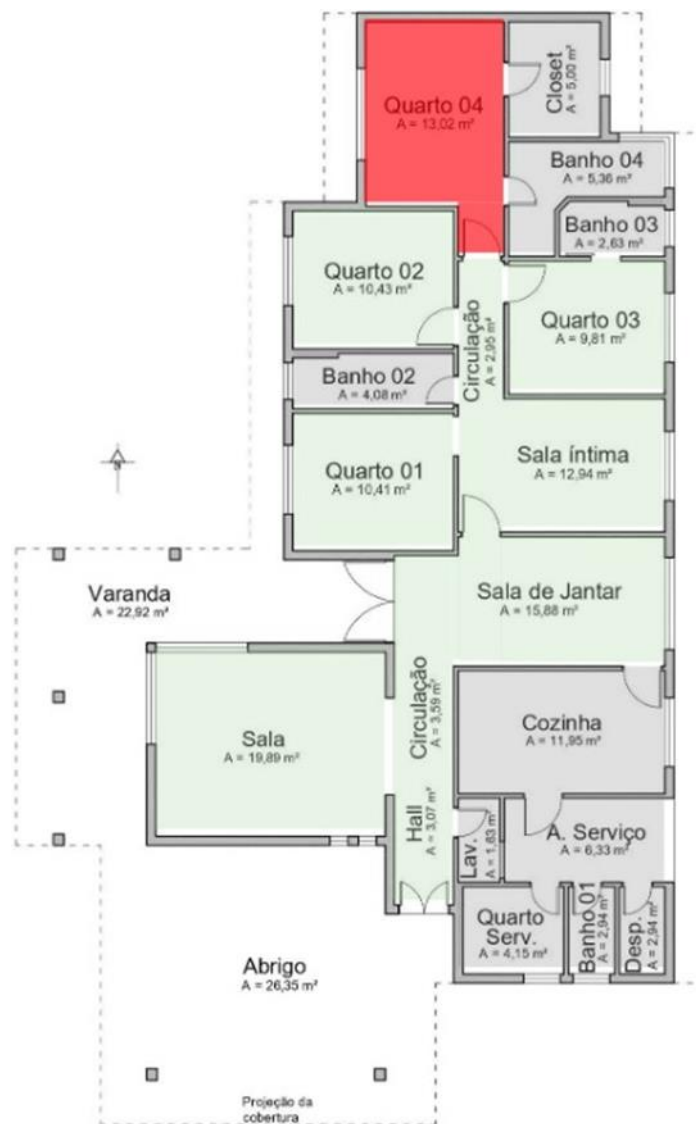


Figura 11 – Modelo P03A: Dormitório 4 com parede cega à norte e janela para oeste.
Fonte: Autora.

3.2.2 Caracterização dos casos de estudo

Para a análise dos dois sistemas construtivos foram definidas as características da envoltória. Para o sistema convencional de acordo com a NBR 12.721 (ABNT 2006) e para o sistema LSF com base na diretriz SINAT nº003, representadas nos Quadros 12, 13 e 14.

Quadro 12 - Características das edificações para o sistema convencional.

Cobertura	Forro de gesso acartonado de 13 mm; Laje de concreto: 10 cm; Telha fibrocimento ondulada 6 mm 2,44 X 1,10 m.				
Paredes externas	Parede de tijolos/bloco cerâmico de 8 furos, assentados na menor dimensão. Dimensão tijolo: 9,0x19,0x19,0; Espessura argamassa de assentamento: 1,0 cm; Espessura argamassa de emboço: 2,5 cm; Espessura total da parede de 14 cm.				
Paredes internas	Parede de tijolos/bloco cerâmico de 8 furos, assentados na menor dimensão. Dimensão tijolo: 9,0x19,0x19,0; Espessura argamassa de assentamento: 1,0 cm; Espessura argamassa de emboço: 2,5 cm; Espessura total da parede de 14 cm.				
Pé-direito	2,60 m				
Absortância das paredes	0,3; 0,5 e 0,7				
Absortância da cobertura	0,7				
Piso e contrapiso do térreo	5 cm de concreto; Argamassa de 2 cm; Cerâmica branca de 1 cm de espessura;				
	EP01 e EP01A		EP02 e EP02A		EP03 e EP03A
Janela dormitórios	150X120		150X120		150X120, para todos os dormitórios exceto Q4 com 200X120 e quarto de serviço 80X100
Janela Sala	180X120		200X120		Sala Estar (2X) 200X120; (2X) 40X120 Sala Intima/Jantar 200X150
Janela cozinha	80X80		120X80		150X100
Janela banheiro	60X80		60X80		80X80, incluindo closet – Exceto Banho 04 (2X) 120X30
Portas internas e portas de banheiro	80X210	60X210	80X210	60X210	Dormitórios 80X210 Banho 60X210
Portas externas	80X210		80X210		60X210; 80X210
Porta externa sala	90X210		90X210		160X210 180X210

Fonte: ABNT (2006).

Quadro 13 - Características das edificações para o sistema *light steel framing*.

Cobertura	• Forro de gesso acartonado de 13 mm • Lã de vidro: 100 mm • Telha fibrocimento ondulada 6 mm 2,44 X 1,10 m
Paredes externas	• Placa cimentícia: 10 mm • Barreira permeável • Placa de OSB 11,1 mm • Perfil metálico 100 mm • Lã de vidro: 100 mm • Placa de OSB 9,5 mm • Chapa de gesso: 13 mm
Paredes internas	• Chapa de gesso: 13 mm • Perfil metálico 100 mm • Lã de vidro: 100 mm • Placa de OSB 9,5 mm • Chapa de gesso: 13 mm
Absortância das paredes	0,3; 0,5 e 0,7

Absortância da cobertura	0,7						
Pé-direito	2,60 m						
Piso e contrapiso do térreo	5 cm de concreto; argamassa de 2 cm e cerâmica branca de 1 cm de espessura						
	EP01 e EP01A		EP02 e EP02A		EP03 e EP03A		
Janela dormitórios	150X120		150X120		150X120, para todos os dormitórios exceto Q4 com 200X120 e quarto de serviço 80X100		
Janela Sala	180X120		200X120		Sala Estar (2X) 200X120; (2X) 40X120		Sala Intima/ Jantar 200X150
Janela cozinha	80X80		120X80		150X100		
Janela banheiro	60X80		60X80		80X80, incluindo closet – Exceto Banho 04 (2X) 120X30		
Portas internas e portas de banheiro (Semioca)	80X210	60X210	80X210	60X210	Dormitórios 80X210	Banho 60X210	Closet 70X210
Portas externas (Maciça)	80X210		80X210		60X210; 80X210		
Porta externa sala (Madeira maciça)	90X210		90X210		160X210		180X210

Fonte: ABNT (2006).

Quadro 14 - Propriedades térmicas dos materiais.

Material	e (m)	λ (W/(m.K))	ρ (Kg/m³)	c (kJ/(kg.K))	α Absortância
OSB 9,5 mm	0,0095	0,12	500	2300	-
OSB 11,1 mm	0,011	0,12	550	2300	-
Gesso acartonado	0,015	0,35	1000	840	0,2
Placa cimentícia	0,01	0,95	2200	840	0,3; 0,5 e 0,7
Lã de vidro	0,1	0,045	100	700	-
Concreto piso	0,05	1,75	2100	1000	-
Concreto laje	0,1	1,75	2100	1000	-
Piso cerâmico	0,01	1	1600	840	0,4
Argamassa reboco interno	0,025	1,75	2100	1000	0,2
Argamassa reboco externo	0,025	1,75	2100	1000	0,3; 0,5 e 0,7
Bloco cerâmico	0,015	1	1600	920	-
Telha fibrocimento	0,006	1	1600	920	0,7
Porta compensado	0,003	0,12	450	2300	0,2
Cerâmica branca	0,01	1	1600	840	0,2
Argamassa piso	0,02	1,75	2100	1000	-
Porta maciça	0,04	0,12	450	2300	0,2

Fonte: ABNT (2005).

3.2.3 Condições de contorno climático

As simulações realizadas no presente trabalho consideraram as condições climáticas da cidade de Camaquã - RS (Quadro 15), com base nos dados do arquivo climático de simulação (*.epw) disponibilizado pelo *Repository of free climate data for building performance simulation* (ONEBUILDING, 2020), mantido pela organização sem fins lucrativos *OneBuilding*, em parceria com o Laboratório de Eficiência

Energética em Edificações (LABEEE) e o INMET para obtenção dos dados climáticos nacionais.

Quadro 15 – Dados geográficos de Camaquã, Rio Grande do Sul – Zona Bioclimática 2.

Zona bioclimática	Cidade	UF	Latitude	Longitude	Altitude (m)
2	Camaquã	RS	30°51' S	51°48' W	39

Fonte: OneBuilding (2020).

Para simulação da norma de desempenho foram utilizados os dias típicos de verão e inverno (Quadro 16), obtidos a partir do relatório estatístico fornecido junto ao arquivo climático de simulação. Para inserção dos dados de radiação, a ferramenta RADIASOL foi utilizada para definir as agendas de radiação direta e difusa utilizadas nos dias típicos de verão e inverno para cidade de Camaquã-RS (Quadro 17).

Quadro 16 – Dados dos dias típicos de inverno e verão para a Zona Bioclimática 2

Dia Típico	Cidade	Temperatura Máxima Diária (°C)	Amplitude Diária	TBU	Radiação solar global (W)
Inverno	Camaquã	18,82	15,43	14	3595
Verão	Camaquã	31,08	22,10	21,6	5307

Fonte: OneBuilding (2020).

Quadro 17 – Agendas de radiação solar direta e difusa para os dias típicos de inverno e verão na Zona Bioclimática 2.

Hora do dia	Dia típico de inverno		Dia típico de verão	
	Radiação Direta (W/m ²)	Radiação Difusa (W/m ²)	Radiação Direta (W/m ²)	Radiação Difusa (W/m ²)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	1	14
6	0	0	14	116
7	0	0	44	223
8	22	66	93	318
9	89	141	153	390
10	190	181	210	435
11	290	194	244	456
12	352	196	244	456
13	352	194	210	456
14	290	181	153	390
15	190	141	93	318
16	89	66	44	223
17	22	0	14	116
18	0	0	1	14
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0

Fonte: OneBuilding (2020).

3.3 Configuração com base nos requisitos de desempenho

Definidos os modelos arquitetônicos, na segunda etapa da pesquisa foram configuradas as simulações dos estudos de caso, sendo as modelagens realizadas a partir do *software Sketchup 2017* com auxílio do *plug-in Euclid 0.9.3* e a simulação computacional realizada pelo *software EnergyPlus v8.7*, recomendado pela ABNT NBR 15.575 e pelo RTQ-R para avaliação do desempenho das edificações.

3.3.1 Configuração das simulações pela NBR 15.575

3.3.1.1 Critérios de avaliação

A NBR 15.575 determina os níveis de desempenho a partir do comportamento da edificação considerando os dias típicos de inverno e de verão. As edificações avaliadas são classificadas com desempenho nível mínimo (M), nível intermediário (I) e nível superior (S) (conforme apresentado nas Tabelas 5 e 6 do capítulo de revisão de literatura). De modo que, considerando o atendimento mínimo, para a condição do dia típico de verão, a edificação deve apresentar temperatura em seu interior menor ou igual à do ambiente externo. Já para condição do dia típico de inverno, a temperatura no interior da edificação precisa maior ou igual à do ambiente externo acrescido de 3°C.

3.3.1.2 Condições de contorno para as análises com a NBR 15.575

A norma não leva em consideração as fontes internas de calor (ocupação, iluminação e equipamentos), tanto para a situação de inverno como para situação de verão.

Para ventilação a norma estabelece as seguintes condições de renovação de ar dos ambientes avaliados até o atendimento da condição mínima, sendo dos itens listados abaixo a condição 1 para inverno e as condições de 1 a 4 para verão:

1. Renovação de ar com taxa de 1 ren/h, ou seja, 1 renovação de volume de ar dos cômodos;
2. Renovação de ar com taxa de 5 ren/h;
3. Renovação de ar com taxa de 1 ren/h e redução da radiação da abertura de janela em 50%;
4. Renovação de ar com taxa de 5 ren/h e redução da radiação da abertura de janela em 50%.

A absorvância para as situações de inverno e verão foram avaliadas com valores de 0,3, 0,5 e 0,7 para as paredes e 0,7 para a cobertura de telha cerâmica.

Para temperatura do solo os dados mensais foram calculados a partir da análise da geometria simulada de acordo com o pré-processador *SLAB*, disponibilizado pelo pacote de aplicações do *EnergyPlus*.

3.3.2 Configuração das simulações pelo RTQ-R

O regulamento classifica os níveis de eficiência energética da envoltória em cinco níveis, nos quais delimita os resultados das simulações com base no indicador graus-hora de resfriamento e o consumo de aquecimento para os ambientes de permanência prolongada de acordo com o Quadro 18.

Quadro 18 – Classificação da eficiência da edificação para a Zona Bioclimática 2.

Eficiência	EqNum	GHR	CA (kWh/m².ano)
A	5	$GHR \leq 2310$	$CA \leq 15,591$
B	4	$2310 < GHR \leq 4396$	$15,591 < CA \leq 31,182$
C	3	$4396 < GHR \leq 6481$	$31,182 < CA \leq 46,772$
D	2	$6481 < GHR \leq 8567$	$46,772 < CA \leq 62,363$
E	1	$8567 < GHR$	$62,363 < CA$

Fonte: INMETRO (2012).

O procedimento de simulação precisa atender aos seguintes pré-requisitos:

1. Simulação considerando as 8.760 horas do ano;
2. Definição da temperatura operativa (T_o) para determinar o indicador graus-hora com base na temperatura de cálculo em 26°C (Equação 2);

$$GHR = \Sigma(T_o - 26^\circ\text{C}) \quad (2)$$

Onde:

GHR: indicador graus-hora resfriamento;

T_o : Temperatura operativa (°C).

3. Modelagem do sistema de ventilação natural a partir do coeficiente de rugosidade (α) do entorno em 0,33, coeficiente de descarga (CD) de 0,60, coeficiente de frestas (CQ) de 0,001 kg/(s.m) e expoente do fluxo de ar (n) de 0,65;
4. Padrão de ocupação: considerando 2 pessoas por dormitório e, para a sala, o somatório de todos os usuários. É preciso ainda, adotar os padrões de ocupação e a taxa metabólica para cada atividade conforme apresentados na subseção 2.4.2.
5. Padrão de iluminação: Representados na subseção 2.4.2, atribuindo 100% para quando o sistema estiver ligado e 0 para o sistema desligado. A densidade de

potência da iluminação considerada pelo regulamento é de 5,0 W/m² para os dormitórios e 6,0 W/m² para a sala.

6. Cargas internas de equipamentos: modeladas apenas para a sala, corresponde a potência de 1,5 W/m² para o período de 24h por dia durante toda a simulação;

7. Definição da temperatura de solo a partir do uso do programa *Slab* vinculado ao programa *EnergyPlus*;

8. A edificação é naturalmente ventilada no período das 09h às 20h e condicionada artificialmente das 21h às 08h, com temperatura do termostato de refrigeração de 24°C e de aquecimento 22°C para os ambientes de permanência prolongada; taxa de fluxo de ar nesta situação, por pessoa, valorada em 0,00944m/s, com o modo de operação de ventilador contínuo de eficiência 0,7 e eficiência de motor de 0,9. A razão entre o calor retirado do ambiente e a energia consumida (COP) avaliada para os valores de 3,22 W/W. Quando se trata especificamente da ZB2, o equivalente numérico é obtido pela equação de equivalente numérico da envoltória da UH para ZB2 (Equação 1).

A absorvância das paredes de 0,3, 0,5 e 0,7 e 0,7 para a cobertura de telha fibrocimento foi mantida, considerando a NBR 15.575-1 como referência para comparação dos métodos.

A temperatura do solo, assim como para análise da NBR 15.575, foi configurada a partir do *SLAB* do *EnergyPlus*, conforme apresentado acima.

3.4 Processo de Simulação dos cenários de avaliação

Após a definição dos modelos residenciais e a configuração destes de acordo com as informações preconizadas pela norma de desempenho e pelo RTQ-R, tornou-se necessário estipular os experimentos realizados por simulação.

3.4.1 Experimentações realizadas para avaliações pela NBR 15.575

Para as avaliações a partir da NBR 15.575 foram realizadas 36 simulações, considerando as composições em alvenaria e LSF, condições de verão e inverno e as absorvâncias de 0,3, 0,5 e 0,7, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Avaliações realizadas por simulação computacional considerando a NBR 15.575 como instrumento de avaliação.

Modelo		
Alv.	LSF	Absortância
P01		
P01A		
P02		0,3; 0,5 e 0,7
P02A		
P03		
P03A		
Total		36 cenários

Fonte: Autora.

3.4.2 Experimentações realizadas para avaliações pelo RTQ-R

Para os experimentos considerando o RTQ-R como regulamento de avaliação, o mesmo conjunto de testes apresentado na Tabela 7 foi utilizado, com o acréscimo de diferentes cenários de intervenção, buscando avaliar o impacto de variações construtivas no desempenho dos produtos edifícios em alvenaria e LSF.

Para as simulações com o RTQ-R foram considerados os graus-hora de resfriamento e o consumo para aquecimento durante todo o ano como critérios de avaliação, conforme estabelece o regulamento.

3.4.2.1 Estratégias de intervenção

Para os modelos do sistema convencional (alvenaria), compreendendo os seus níveis menores de isolamento térmico em razão da composição inicial da envoltória quando comparado com os modelos em LSF, foram realizadas intervenções visando um maior nível de isolamento térmico na cobertura, vidros duplos, três diferentes composições para as paredes externas com maior nível de isolamento térmico, duas composição de piso com isolamento térmico e, por fim, a adequação da disposição dos ambientes de permanência prolongada e de suas aberturas de modo a explorar melhor a orientação solar (Quadros 19, 20 e 21).

Quadro 19 – Intervenção na cobertura para os modelos em alvenaria.

Intervenção na cobertura		U	CT
Cobertura (IC) base	Forro de gesso acartonado: 13mm Laje de concreto: 10 cm Telha fibrocimento ondulada: 6mm (2,44 X 1,10 m)	2,60 W/(m².K)	233 kJ/(m².K)
Cobertura (IC) Intervenção	Forro de gesso acartonado: 13mm Lã de vidro: 100 mm Laje de concreto: 10cm Telha fibrocimento ondulada: 6mm (2,44 X 1,10m)	0,38 W/(m².K)	240 kJ/(m².K)

Fonte: Autora.

Quanto às mudanças nos fechamentos translúcidos, foram utilizados vidros duplos compostos por um vidro *Planitherm Ultra N* de 6mm, camada de ar de 14mm e vidro *Planilux* de 6mm, apresentando fator solar (FS) de 0,81 e transmitância térmica de 1,5 W/(m².K).

Quadro 20 – Intervenção nas paredes externas para os modelos em alvenaria.

Intervenções nas paredes externas		U	CT
Para externa Base	Tijolo/bloco cerâmico de 8 furos (Dimensão tijolo: 9,0x19,0x19,0) assentados na menor dimensão: 1,0 cm de argamassa Argamassa de emboço: 2,5 cm	1,71 W/(m².K)	150 kJ/(m².K)
Parede externa 1 (IPE1)	Tijolo/bloco cerâmico de 8 furos (Dimensão tijolo: 9,0x19,0x19,0) assentados na menor dimensão: 1,0 cm de argamassa Argamassa de emboço: 2,5 cm Câmara de ar: 2,5cm Placa de gesso acartonado: 15mm.	1,59 W/(m².K)	177 kJ/(m².K)
Parede externa 2 (IPE2)	Tijolo/bloco cerâmico de 8 furos (Dimensão tijolo: 9,0x19,0x19,0) assentados na menor dimensão: 1,0 cm de argamassa Argamassa de emboço: 2,5 cm Câmara de ar: 2,5cm Lã de vidro: 100mm Placa de gesso acartonado: 15mm.	0.35 W/(m².K)	184 kJ/(m².K)
Parede externa 3 (IPE3)	Tijolo/bloco cerâmico de 8 furos (Dimensão tijolo: 9,0x19,0x19,0) assentados na menor dimensão: 1,0 cm de argamassa Argamassa de emboço: 2,5 cm Câmara de ar: 2,5cm Placa de gesso acartonado: 15mm Capoto: 5cm	0.52 W/(m².K)	166 kJ/(m².K)

Fonte: Autora.

Quadro 21 – Intervenções no piso para os modelos em alvenaria.

Intervenções no piso		U	CT
Piso e contrapiso do térreo Base	Concreto: 5 cm Argamassa: 2 cm Cerâmica branca: 1cm	4,58 W/(m².K)	151 kJ/(m².K)
Piso e contrapiso do térreo 1 (IPI1)	Revestimento cerâmico de 1cm Argamassa de assentamento 4cm EPS de 4cm Laje de concreto de 5cm Tabela cerâmica de 5cm Ar de 5cm com fluxo descendente Tabela cerâmica de 5cm.	0.39 W/(m².K)	396 kJ/(m².K)
Piso e contrapiso do térreo 2 (IPI2)	Revestimento cerâmico de 1cm Argamassa de assentamento 4cm Laje de concreto de 5cm Tabela cerâmica de 5cm Ar de 5cm com fluxo descendente Tabela cerâmica de 5cm EPS de 4cm	0.39 W/(m².K)	396 kJ/(m².K)

Fonte: Autora.

Para os modelos do sistema LSF, considerando o fato de que os fechamentos opacos destes modelos já possuem um maior nível de isolamento térmico (Quadro 22 e Quadro 23), foram realizadas como intervenções as aplicações dos vidros duplos nos fechamentos translúcidos apresentadas anteriormente para os modelos em alvenaria, duas composições de piso com isolamento térmico (Quadro 21) e a adequação da disposição dos ambientes de permanência prolongada e de suas aberturas de modo a explorar melhor a orientação solar.

Quadro 22 – Intervenções nas paredes externas para os modelos em LSF

Intervenções nas paredes externas		U	CT
Parede externa Base	Placa cimentícia de 10 mm Barreira permeável Placa de OSB de 11,1 mm Perfil metálico de 100 mm Lã de vidro de 100 mm Placa de OSB de 9,5 mm Chapa de gesso de 13 mm	0,38 W/(m².K)	64 kJ/(m².K)
Parade externa com capoto	Capoto de 50 mm Barreira permeável Placa de OSB de 11,1 mm Perfil metálico de 100 mm Lã de vidro de 100 mm Placa de OSB de 9,5 mm Chapa de gesso de 13 mm	0,25 W/(m².K)	46 kJ/(m².K)

Fonte: Autora.

Quadro 23 – Intervenção na cobertura para os modelos em LSF

Intervenções na cobertura		U	CT
Cobertura Base	Forro de gesso acartonado de 13 mm Lã de vidro de 100 mm Telha fibrocimento ondulada 6 mm (2,44 X 1,10 m)	0,39 W/(m².K)	30 kJ/(m².K)

Fonte: Autora.

3.5 Avaliação dos resultados de saída das simulações

Para avaliação dos resultados de saída das simulações pela NBR 15.575 foram avaliados os resultados para o dia típico de inverno e de verão, considerando os valores mínimos e máximos de temperatura externa e interna nos ambientes de permanência prolongada para os dias típicos de inverno e verão, respectivamente, para a zona bioclimática 2. O Quadro 24 abaixo apresenta o padrão de cores que será apresentado no capítulo de resultados com base nos níveis de atendimento da norma de desempenho.

Quadro 24 – Classificação dos modelos em cores com base na NBR 15.575.

Nível de desempenho	Cor
Abaixo do mínimo	Vermelho
Mínimo	Amarelo
Intermediário	Verde
Superior	Azul

Fonte: Autora.

Já para avaliação pelo RTQ-R foram considerados os níveis estabelecidos pelo regulamento (A até E) após a simulação anual dos modelos para Zona Bioclimática, considerando os resultados do equivalente numérico (EqNum, Equação 1), que determina valores de 1 a 5, sendo 5 o nível máximo (Quadro 25).

Quadro 25 – Classificação dos modelos com base no RTQ-R.

EqNum	Nível de eficiência
5	A
4	B
3	C
2	D
1	E

Fonte: Autora.

Considerando os cenários finais de avaliação (incluindo as estratégias de intervenção), buscou-se relacionar o desempenho dos edifícios avaliados com o custo de sua composição.

3.6 Orçamentação e análise custo-benefício

Para etapa de orçamentação foram adotados os custos diretos (mão de obra, material e equipamento), desconsiderando os custos indiretos (equipes de supervisão e de apoio, despesas gerais do canteiro de obras, taxas, etc...) (MATTOS, 2009).

Os serviços orçados foram organizados com base na discriminação orçamentária apresentada na NBR 12.721 (ABNT, 2006) para cada um dos modelos construtivos, conforme os Quadros 26 e 27. Cabe salientar que os serviços iniciais como trabalhos em terra para escavações manuais, fundações superficiais/rasas, a

infraestrutura e obras complementares, bem como os projetos elétrico e hidráulico e seus insumos, foram desconsideradas do processo orçamentário em função da mesma composição nos dois sistemas construtivos. Foram, portanto, orçados pontos de distinção entre os dois modelos, com foco na composição da envoltória e dos fechamentos.

Quadro 26 – Relação dos serviços orçados com base na NBR 12.721 para os modelos em alvenaria.

Relação dos serviços orçados com base na NBR 12721 para os modelos em alvenaria	
	•
B.4 Paredes e painéis:	B.4.1 Alvenarias e divisórias
	• Alvenaria de blocos cerâmicos;
	B.4.2 Esquadrias e ferragens
	• Contramarco de ferro; • Peitoris; • Porta interna de madeira semioca; • Porta externa de madeira maciça; • Janelas e basculantes;
	B.4.3 Vidros
	• Vidros lisos transparentes; • Vidros fantasia;
B.5 Coberturas e proteções:	B.5.1 Cobertura
	• Estrutura de madeira para cobertura; • Laje de concreto; • Cobertura com telhas de fibrocimento;
B.6 Revestimentos, forros, marcenaria e serralheria, pinturas e tratamentos especiais:	B.6.1 Revestimentos (interno e externo)
	• Revestimentos de argamassa; • Revestimentos cerâmicos/azulejos; • Peitoris;
	B.6.2 Forros e elementos decorativos
	• De gesso
	B.6.4 Pintura
	• Selador paredes; • Selador portas e madeiras; • Massa corrida; • Pintura PVA; • Pintura acrílica; • Pintura verniz sobre madeira;
B.7 Pavimentações:	B.7.1 Pavimentações
	• Contrapiso; • Pisos cerâmicos;
	B.7.2 Rodapés, soleiras
	• Rodapé cerâmico.

Fonte: Autora.

Quadro 27 – Relação dos serviços orçados com base na NBR 12.721 e na SINAT para os modelos em LSF.

Relação dos serviços orçados com base na NBR 12721 para os modelos em LSF	
B.3 Supra estrutura:	• Estrutura metálica;

B.4 Paredes e painéis:	B.4.2 Esquadrias e ferragens
	• Contramarco de ferro; • Peitoris; • Porta interna de madeira semioca; • Porta externa de madeira maciça; • Janelas e basculantes;
	B.4.3 Vidros
	• Vidros lisos transparentes; • Vidros fantasia;
B.5 Coberturas e proteções:	B.5.1 Cobertura
	• Cobertura com telhas de fibrocimento;
B.6 Revestimentos, forros, marcenaria e serralheria, pinturas e tratamentos especiais:	B.6.1 Revestimentos (interno e externo)
	• Lã de vidro; • OSB; • Gesso acartonado; • <i>Typar</i>; • Placa cimentícia; • Peitoris;
	B.6.2 Forros e elementos decorativos
	• Lã de vidro; • Gesso acartonado;
	B.6.4 Pintura
	• Selador paredes; • Selador portas e madeiras; • Massa corrida; • Pintura PVA; • Pintura acrílica; • Pintura verniz sobre madeira;
B.7 Pavimentações:	B.7.1 Pavimentações
	• Contrapiso; • Pisos cerâmicos;
	B.7.2 Rodapés, soleiras
	• Rodapé cerâmico.

Fonte: Autora.

Quanto aos custos, os dados fornecidos pelo Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil (SINAPI) foram utilizados para definição dos valores de insumos e serviços orçados para o trabalho.

O Custo Unitário Básico (CUB), apresentado na introdução e revisão, foi preterido no trabalho em função da ausência de dados necessários para avaliação dos modelos estudados. Ainda, a dificuldade em discriminar os itens considerados pela avaliação do CUB impossibilitou as variações provocadas nos projetos iniciais, em função das intervenções propostas.

Os vidros duplos testados nos modelos de intervenção para o RTQ-R foram orçados em três diferentes empresas situadas nas imediações de Camaquã-RS, visto que estes valores não estão disponíveis nas planilhas de custos disponibilizadas pelo SINAPI. Dos valores apresentados pelas empresas Prata Esquadrias, KazzaMais

Esquadrias em PVC e Esquadrias J.U., para os três projetos avaliados no trabalho, os valores ofertados pela empresa KazzaMais Esquadrias em PVC foram os baixos, sendo estes utilizados para avaliação dos custos de implantação destas esquadrias nos projetos.

Para análise de *payback* foram considerados as soluções onde as intervenções apresentaram o nível A, como também as soluções com o menor consumo total de energia para os modelos P01, P02 e P03 nas composições em alvenaria cerâmica (convencional) e LSF. Os cálculos realizados no trabalho consideram o fluxo com uma taxa de juros de 2,44% (dado de inflação disponibilizado pelo Governo Federal para o ano de 2020), além do valor descontado do fluxo inicial a partir do reajuste de 13% no custo da energia elétrica, baseado nos aumentos realizados nos últimos 5 anos pela Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), responsável pelo abastecimento de energia elétrica na região.

4. Resultados

Neste capítulo serão apresentados os resultados identificados a partir das avaliações realizadas. Inicialmente as condições obtidas pelas simulações para NBR 15.575 serão apresentadas, seguida pelas análises de acordo com o RTQ-R, as estratégias de intervenção e, por fim, as avaliações econômicas.

4.1 Análise dos resultados pela norma de desempenho NBR 15.575

Para avaliação da situação de inverno para o modelo P01 com alvenaria autoportante (Quadro 28), percebe-se que as condições internas de temperatura atingiram o nível mínimo e/ou intermediário da NBR 15.575 para todas as zonas térmicas de permanência prolongada da edificação.

Quadro 28 – Resultados da análise da condição de inverno do modelo P01 em alvenaria cerâmica.

Modelo P01 - Alvenaria						
Abs.	Temp. ext. mín. (°C)	Condições de contorno	Ambiente			Croqui
			Sala estar (°C)	Dorm. 01 (°C)	Dorm. 02 (°C)	
0,3	2,62	Padrão	7,99	7,51	7,57	
0,5	2,62	Padrão	8,02	7,54	7,63	
0,7	2,62	Padrão	8,05	7,57	7,68	

Fonte: Autora.

As variações na absorvâncias dos fechamentos externos verticais, por sua vez, apresentaram um padrão quanto ao comportamento das temperaturas internas dos ambientes, de modo que quanto maior a absorvância considerada para realização das

avaliações, maiores foram as temperaturas observadas internamente. Entretanto, os acréscimos na temperatura interna são insignificantes, sendo da ordem 0,03°C a 0,05°C no Quarto 02, que tem parede cega voltada ao norte.

Para análise da condição crítica de inverno, representada pelo dormitório 01, com parede cega à leste e abertura para sul, observa-se que as suas temperaturas mínimas internas foram as menores dentre as três ZT de permanência prolongada do modelo. A sala de estar para as três absortâncias testadas apresentou nível intermediário, assim como o dormitório 02 para as absortâncias 0,5 e 0,7. As demais situações mantiveram-se no nível mínimo.

Já na análise do cenário de inverno para o modelo P01 em LSF (Quadro 29), observa-se que todos os ambientes se mantiveram no nível intermediário para os três ambientes de permanência prolongada.

Quadro 29 – Resultados da análise da condição de inverno do modelo P01 em LSF.

Modelo P01 - LSF						
Abs.	Temp. ext. mín. (°C)	Condições de contorno	Ambiente			Croqui
			Sala estar (°C)	Dorm. 01 (°C)	Dorm. 02 (°C)	
0,3	2,62	Padrão	8,84	8,75	8,80	
0,5	2,62	Padrão	8,85	8,76	8,83	
0,7	2,62	Padrão	8,86	8,77	8,85	

Fonte: Autora.

O mesmo padrão quanto às absortâncias identificado no modelo anterior pôde ser observado neste modelo, valores maiores registraram temperaturas internas mínimas maiores em todos as zonas térmicas. Avaliando o cenário crítico, representado também pelo dormitório 01, as menores temperaturas internas mínimas foram percebidas nesta zona térmica. A sala de estar registrou as maiores temperaturas do modelo, seguida pelo dormitório 02.

4.1.1 Avaliação dos modelos P01A

Para análise do dia típico de verão para o modelo P01A composto em alvenaria cerâmica (Quadro 30), assim como para os demais modelos avaliados na condição de verão, foram testados os quatro cenários estabelecidos pela NBR 15.575 (conforme apresentado na subseção 3.3.1).

Quadro 30 – Resultados da análise da condição de verão do modelo P01A em alvenaria cerâmica.

Modelo P01A - Alvenaria						
Abs.	Temp. ext. máx. (°C)	Condições de contorno	Ambiente			croqui
			Sala estar (°C)	Dorm. 01 (°C)	Dorm. 02 (°C)	
0,3	31,08	Padrão	31,27	31,11	31,35	
		5 ren/h	31,06	30,97	31,16	
		1 ren/h + 50% sombr.	30,96	30,85	30,97	
		5 ren/h + 50% sombr.	30,86	30,80	30,89	
0,5	31,08	Padrão	32,00	32,06	32,31	
		5 ren/h	31,54	31,61	31,82	
		1 ren/h + 50% sombr.	31,68	31,78	31,92	
		5 ren/h + 50% sombr.	31,34	31,42	31,54	
0,7	31,08	Padrão	32,71	32,98	33,24	
		5 ren/h	32,03	32,24	32,47	
		1 ren/h + 50% sombr.	32,40	32,70	32,85	
		5 ren/h + 50% sombr.	31,81	32,05	32,18	

Fonte: Autora.

O modelo padrão (1ren/h), para as três zonas térmicas do modelo, em todas as absorções testadas, não atingiu o nível mínimo da norma. Para o modelo com 5ren/h com absorção de 0,3 nas paredes externas, nos ambientes da sala de estar e do dormitório 01 foi observado o atendimento do nível mínimo, enquanto o dormitório 02 foi insuficiente. Para os modelos com sombreamento (1ren/h + 50% de somb. e 5ren/h + 50% de somb.), considerando também os resultados com absorção de 0,3 nas paredes externas, o nível mínimo da norma foi obtido em todas as zonas térmicas de permanência prolongada. Para as demais absorções testadas (0,5 e 0,7), todas as estratégias apresentaram o nível insuficiente. A análise permitiu inferir, portanto, um padrão quanto ao comportamento dos modelos conforme a variação das absorção: valores menores registraram temperaturas internas máximas menores.

Quanto ao cenário crítico de verão, representado pelo dormitório 02 com parede cega à norte e abertura para oeste, as maiores temperaturas internas máximas ao longo do dia de verão foram identificadas nesta zona térmica.

Para a análise do modelo P01A com composição em LSF para o dia típico de verão (Quadro 31), as condições observadas nos cenários testados atingiram o nível mínimo e/ou intermediário da norma.

Quadro 31 – Resultados da análise da condição de verão do modelo P01A em LSF.

Modelo P01A - LSF						
Abs.	Temp. ext. mín. (°C)	Condições de contorno	Ambiente			croqui
			Sala estar (°C)	Dorm. 01 (°C)	Dorm. 02 (°C)	
0,3	31,08	Padrão	29,88	29,70	30,17	
		5 ren/h	30,24	29,97	30,39	
		1 ren/h + 50% sombr.	29,11	28,87	29,45	
		5 ren/h + 50% sombr.	29,78	29,57	29,96	
0,5	31,08	Padrão	30,10	29,90	30,42	
		5 ren/h	30,35	30,08	30,53	
		1 ren/h + 50% sombr.	29,31	29,05	29,68	
		5 ren/h + 50% sombr.	29,91	29,70	30,09	
0,7	31,08	Padrão	30,31	30,09	30,66	
		5 ren/h	30,47	30,19	30,68	
		1 ren/h + 50% sombr.	29,51	29,23	29,92	
		5 ren/h + 50% sombr.	30,03	29,81	30,22	

Fonte: Autora.

Para a sala de estar e para o dormitório 02 todas as estratégias consideradas atingiram o nível mínimo, assim como o quarto 01 na maior parte das soluções, exceto para os modelos com 1ren/h + 50% de somb. para absorções 0,3 e 0,5 nas paredes externas, que atingiram o nível intermediário.

O mesmo padrão quanto aos valores de absorção observados nos modelos anteriores pôde ser percebido, absorções menores registraram valores menores de temperatura interna máxima em todas as zonas térmicas.

Considerando a condição crítica de verão representada também pelo dormitório 02, as maiores temperaturas internas máximas foram registradas nesta zona térmica.

4.1.2 Discussão sobre o comportamento dos modelos P01 e P01A pela norma de desempenho 15.575

Através dos dados apresentados nos Quadros 28, 29, 30 e 31, é possível identificar relações entre o comportamento das soluções para os dias extremos de inverno e verão na ZB2 nos modelos P01 e P01A.

Quanto aos modelos de inverno (Quadros 28 e 29), uma diferença superior à 1°C na maior parte das soluções pôde ser percebida quando comparadas as duas estratégias construtivas testadas. Ainda, para o pior cenário de inverno no modelo P01 (quarto 01 com absorvância 0,3), uma diferença de 16,51% foi identificada entre os dois modelos.

Observa-se, portanto, que as estratégias adotadas para a composição dos fechamentos em LSF proporcionaram uma condição de inverno menos rígida quando comparadas com as estratégias com alvenaria convencional para estes modelos.

Quanto aos padrões observados e discutidos anteriormente para os valores de absorvância, a maior diferença observada foi de 1,45% no dormitório 02 do modelo convencional. Esta situação demonstra que as diferenças entre as temperaturas internas mínimas com a variação da absorvância, embora perceptíveis na análise, não representam uma variação nas condições de temperatura interna dos ambientes de permanência prolongada.

Para situação de inverno, o aumento da absorvância se mostrou um fator menos relevante na temperatura interna do que no verão. Ou seja, usar cores escuras pensando em aquecer no inverno, não resulta em bons resultados, piorando ainda o verão. No caso do LSF, devido ao isolamento das paredes, a variação da absorvância no verão não se refletiu internamente.

Para análise da situação de verão (Quadros 30 e 31), uma diferença superior à 1°C também pôde ser observada em grande parte das duas soluções. O pior cenário de verão para o modelo P01A (dormitório 02 com absorvância de 0,7), registrou uma diferença de 8,41% entre as duas estratégias, sendo novamente as soluções em LSF as que apresentaram as menores temperaturas máximas internas nos experimentos realizados.

Cabe ressaltar também que as estratégias de ventilação com sombreamento apresentaram resultados melhores do que as soluções sem sombreamento em todos modelos, conforme o esperado.

Contudo, o aumento no número de renovações por hora representou um aumento nas temperaturas internas máximas em todos os cenários avaliados para os modelos com LSF, enquanto o aumento do número de renovações por hora para os modelos com alvenaria convencional representou uma diminuição das condições máximas de temperatura interna. Isso acontece porque a temperatura interna do LSF com 1 ren/h está mais baixa do que a temperatura externa, desta forma, a entrada do ar quente externo contribui com o aumento da temperatura interna. Por outro lado, no modelo convencional a temperatura interna com 1 ren/h está mais alta do que a temperatura externa, de modo que a ventilação acaba por reduzir esta temperatura.

Desta forma, as soluções com 1ren/h + 50% de sombreamento foram as melhores nos cenários com LSF nos fechamentos, enquanto as soluções com 5ren/h + 50% de sombreamento foram as melhores nos cenários com alvenaria convencional. Cabe salientar que pelos critérios da norma de desempenho, desconsideram-se as cargas internas de calor, o que implicaria em maiores problemas ainda para as condições de verão, que mesmo sem cargas apresentam temperaturas acima de 32°C e 30°C, respectivamente nas tipologias convencional e LSF. Para as condições de inverno os modelos estão sendo aprovados com temperaturas na faixa do 8°C. Desta forma, destaca-se a inadequabilidade das composições testadas no que diz respeito ao conforto térmico nos períodos críticos de verão e do inverno, à medida que temperaturas internas acima de 30°C foram identificadas no verão e por volta de 8°C no inverno, indicando, portanto, condições de desconforto por frio e por calor.

4.1.3 Avaliação dos modelos P02

Para análise das condições extremas de inverno para ZB2 do modelo P02 em alvenaria cerâmica (Quadro 32), observa-se que a grande maioria dos ambientes de permanência prolongada para o modelo apresentou temperaturas internas mínimas suficientes para o atendimento do nível intermediário da norma, exceto o dormitório 01 (condição crítica de inverno para o modelo P02, com parede cega à leste e abertura para sul) que apresentou temperaturas suficientes para o atendimento do nível mínimo apenas.

O mesmo padrão observado nos modelos P01 para condição de inverno foi percebido nos resultados destes casos quanto aos valores de absorvância, valores

maiores registraram temperaturas mínimas internas maiores, mas em décimos de temperatura.

Quadro 32 – Resultados da análise da condição de inverno do modelo P02 em alvenaria cerâmica.

Modelo P02 - Alvenaria							
Abs.	Temp. ext. mín. (°C)	Condições de contorno	Ambiente				Croqui
			Sala estar (°C)	Dorm. 01 (°C)	Dorm. 02 (°C)	Dorm. 03 (°C)	
0,3	2,62	Padrão	7,64	7,41	7,67	7,66	
0,5	2,62	Padrão	7,67	7,44	7,71	7,72	
0,7	2,62	Padrão	7,69	7,47	7,76	7,78	

Fonte: Autora.

O Quadro 33 apresenta os resultados das simulações para as condições de inverno do modelo P02 em LSF, nela se observa que com exceção do dormitório 01 (ambiente crítico de inverno) que se manteve no nível intermediário para todas as absorções testadas, as demais zonas térmicas em todos cenários apresentaram temperaturas internas mínimas que atendem o nível superior da norma.

Quadro 33 – Resultados da análise da condição de inverno do modelo P02 em LSF.

Modelo P02 - LSF							
Abs.	Temp. ext. mín. (°C)	Condições de contorno	Ambiente				Croqui
			Sala estar (°C)	Dorm. 01 (°C)	Dorm. 02 (°C)	Dorm. 03 (°C)	
0,3	2,62	Padrão	9,80	9,26	9,72	10,45	
0,5	2,62	Padrão	9,81	9,28	9,74	10,46	
0,7	2,62	Padrão	9,82	9,29	9,75	10,48	

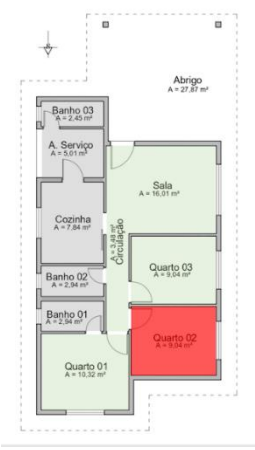
Fonte: Autora.

O padrão observado anteriormente quanto aos valores de absorvência também ocorreu no modelo P02 em LSF, de modo que o aumento na absorvência resultou em um aumento nas temperaturas internas mínimas, mas de forma insignificante.

4.1.4 Avaliação dos modelos P02A

Para análise das condições de verão para o modelo P02A, o Quadro 34 mostra que, exceto nos dormitórios 01 e 02 com 1ren/h e 5ren/h para absorvência 0,7, as soluções avaliadas apresentaram resultados de temperatura interna máxima que equivalem ao nível mínimo da NBR 15.575.

Quadro 34 – Resultados da análise da condição de inverno do modelo P02A em alvenaria cerâmica.

Modelo P02A – Alvenaria							
Abs.	Temp. ext. mín. (°C)	Condições de contorno	Ambiente				croqui
			Sala estar (°C)	Dorm. 01 (°C)	Dorm. 02 (°C)	Dorm. 03 (°C)	
0,3	31,08	Padrão	30,02	29,99	30,24	29,70	
		5 ren/h	30,28	30,26	30,42	30,02	
		1 ren/h + 50% sombr.	29,75	29,79	29,86	29,32	
		5 ren/h + 50% sombr.	30,09	30,13	30,17	29,71	
0,5	31,08	Padrão	30,42	30,63	30,85	30,01	
		5 ren/h	30,54	30,67	30,83	30,22	
		1 ren/h + 50% sombr.	30,12	30,43	30,45	29,63	
		5 ren/h + 50% sombr.	30,35	30,54	30,56	29,91	
0,7	31,08	Padrão	30,82	31,25	31,46	30,31	
		5 ren/h	30,79	31,09	31,23	30,42	
		1 ren/h + 50% sombr.	30,53	31,05	31,06	29,93	
		5 ren/h + 50% sombr.	30,60	30,95	30,97	30,12	

Fonte: Autora.

Para condição crítica de verão, representada pelo dormitório 02, é possível identificar nesta zona térmica as maiores temperaturas internas máximas dentre os ambientes de permanência prolongada.

Quanto aos valores de absorvência, assim como ocorreu nos modelos P01A, absorvências menores apresentaram temperaturas internas máximas menores.

O Quadro 35 apresenta os resultados para o dia típico de verão da ZB2 no modelo P02A em LSF. Nela as soluções testadas mantiveram-se entre os níveis mínimo e intermediário da norma.

Quadro 35 – Resultados da análise da condição de inverno do modelo P02A em LSF.

Modelo P02A - LSF							
Abs.	Temp. ext. mín. (°C)	Condições de contorno	Ambiente				croqui
			Sala estar (°C)	Dorm. 01 (°C)	Dorm. 02 (°C)	Dorm. 03 (°C)	
0,3	31,08	Padrão	28,77	28,37	29,11	28,82	
		5 ren/h	29,28	29,10	29,38	29,13	
		1 ren/h + 50% sombr.	28,31	28,01	28,47	28,12	
		5 ren/h + 50% sombr.	29,58	29,36	29,79	29,59	
0,5	31,08	Padrão	28,88	28,60	29,30	28,89	
		5 ren/h	29,65	29,52	29,89	29,63	
		1 ren/h + 50% sombr.	28,42	28,23	28,65	28,19	
		5 ren/h + 50% sombr.	29,35	29,26	29,50	29,17	
0,7	31,08	Padrão	29,00	28,83	29,49	28,97	
		5 ren/h	29,71	29,67	30,00	29,67	
		1 ren/h + 50% sombr.	28,53	28,45	28,83	28,26	
		5 ren/h + 50% sombr.	29,42	29,41	29,60	29,22	

Fonte: Autora.

Para as três absorvâncias testadas as estratégias com 5ren/h e 5ren/h + 50% de sombreamento atingiram apenas o nível mínimo da norma. As estratégias com 1ren/h e 1ren/h + 50% de sombreamento atingiram o nível intermediário na maioria dos casos, exceto pelo dormitório 02 (ambiente crítico de verão) nos cenários com 1ren/h que se mantiveram no nível mínimo.

A condição crítica de verão representada pelo dormitório 02 para o modelo P02A foi responsável pelas maiores temperaturas internas máximas nos cenários avaliados. Quanto aos valores de absorvância, novamente, assim como nos modelos P01A, soluções com absorvâncias menores registraram valores menores nas temperaturas internas máximas dos seus ambientes de permanência prolongada.

4.1.5 Discussão sobre o comportamento dos modelos P02 e P02A pela norma de desempenho 15.575

Através dos dados apresentados nos Quadros 32, 33, 34 e 35, é possível identificar relações entre o comportamento das soluções para os dias extremos de inverno e verão na ZB2 nos modelos P02 e P02A.

Quanto aos modelos de inverno (Quadros 32 e 33), uma diferença superior à 2°C na maioria dos ambientes analisados pôde ser observada entre os modelos convencional e LSF. Para o pior cenário de inverno no modelo P02 (dormitório 01 com absorvância 0,3), uma diferença de 24,97% foi identificada entre os dois modelos.

Observa-se, portanto, que assim como observado e discutido para o modelo P01, as estratégias adotadas para a composição dos fechamentos em LSF proporcionaram uma condição de inverno menos rígida quando comparadas com as estratégias com alvenaria convencional para este modelo.

Quanto aos padrões observados e discutidos anteriormente para os valores de absorvância, a maior diferença observada foi de 1,57% no dormitório 03 do modelo P02 em alvenaria convencional. Esta situação demonstra, assim como no modelo P01, que as diferenças entre as temperaturas internas mínimas com a variação da absorvância, embora perceptíveis na análise, não representam uma variação nas condições de temperatura interna dos ambientes de permanência prolongada.

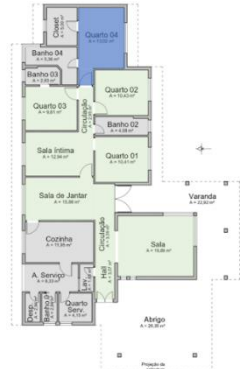
Para análise da situação de verão (Quadros 34 e 35), assim como nas soluções do modelo P01A, uma diferença superior à 1°C pôde ser observada em grande parte das duas soluções. O pior cenário de verão para o modelo P02A convencional (dormitório 02 com absorvância 0,7 e 1 ren/h), registrou uma diferença de 4,87% para o pior cenário de verão para o modelo P02A LSF (dormitório 02 com absorvância 0,7 e 5 ren/h), sendo novamente as soluções em LSF as que apresentaram as menores temperaturas máximas internas nos experimentos realizados.

Cabe ressaltar também que, assim como visto anteriormente para o modelo P01A, as estratégias de ventilação com sombreamento apresentaram resultados melhores do que as soluções sem sombreamento em todos os modelos, conforme o esperado. Contudo, assim como no modelo P01A, o aumento no número de renovações por hora representou um aumento nas temperaturas internas máximas em todos os cenários avaliados para os modelos com LSF, enquanto o aumento do número de renovações por hora para os modelos com alvenaria convencional representou uma diminuição das condições máximas de temperatura interna.

4.1.6 Avaliação dos modelos P03

O Quadro 36 mostra o comportamento das temperaturas internas máximas para a situação de inverno no modelo P03 em alvenaria cerâmica.

Quadro 36 – Resultados da análise da condição de inverno do modelo P03 em alvenaria cerâmica.

Modelo P03 - Alvenaria									
Abs.	Temp. ext. mín. (°C)	Cond. de cont.	Ambiente						Croqui
			Sala estar (°C)	Sala Int. (°C)	Dorm. 01 (°C)	Dorm. 02 (°C)	Dorm. 03 (°C)	Dorm. 04 (°C)	
0,3	2,62	Padrão	7,97	7,72	7,45	7,47	8,00	7,34	
0,5	2,62	Padrão	7,99	7,74	7,46	7,50	8,03	7,36	
0,7	2,62	Padrão	8,00	7,77	7,48	7,53	8,06	7,39	

Fonte: Autora.

Para todos os ambientes de permanência prolongada os níveis de avaliação da norma se mantiveram entre mínimo e intermediário. A sala de estar, a sala íntima e o dormitório 03 apresentaram o nível intermediário para todas absorções testadas, enquanto os dormitórios 01, 02 e 04 apresentaram o nível mínimo de atendimento.

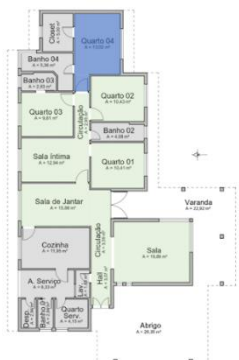
Para condição crítica de inverno, representada pelo dormitório 04 com parede cega para leste e abertura para sul, as menores temperaturas internas mínimas dentre os ambientes de permanência prolongada foram observadas, mantendo o comportamento observado nos modelos anteriores nas mesmas condições de avaliações.

Quanto aos valores de absorção, assim como nos modelos de inverno anteriores, valores maiores de absorção implicaram em temperaturas internas mínimas maiores para todos os cenários avaliados, porém irrelevantes.

Para avaliação do modelo P03 em LSF (Quadro 37), observa-se que todas condições avaliadas se mantiveram no nível intermediário, sendo as temperaturas do dormitório 04 (ambiente crítico para o inverno) aquelas que registraram os menores valores de temperatura interna mínima.

O padrão das absorções para o inverno, assim como nos demais modelos, repetiu-se para o P03 em LSF.

Quadro 37 – Resultados da análise da condição de inverno do modelo P03 em LSF.

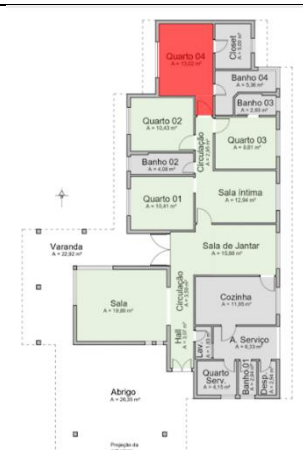
Modelo P03 - LSF									
Abs.	Temp. ext. mín. (°C)	Cond. de cont.	Ambiente						Croqui
			Sala estar (°C)	Sala Int. (°C)	Dorm. 01 (°C)	Dorm. 02 (°C)	Dorm. 03 (°C)	Dorm. 04 (°C)	
0,3	2,62	Padrão	9,37	9,16	9,35	9,39	9,51	9,09	
0,5	2,62	Padrão	9,38	9,17	9,36	9,41	9,53	9,10	
0,7	2,62	Padrão	9,38	9,19	9,37	9,43	9,55	9,12	

Fonte: Autora.

4.1.7 Avaliação dos modelos P03A

Para análise da condição de verão do modelo P03A em alvenaria cerâmica (Quadro 38), é possível identificar que, exceto para insuficiência no atendimento de dois casos do cenário crítico de verão (dormitório 04 com abertura para oeste e parede cega à norte com absortância 0,7 para os modelos com 1ren/h e 5ren/h), todas as demais condições simuladas atingiram o nível mínimo da norma.

Quadro 38 – Resultados da análise da condição de inverno do modelo P03A em alvenaria cerâmica.

Modelo P03A - Alvenaria									
Abs.	Temp. ext. mín. (°C)	Cond. de cont.	Ambiente						Croqui
			Sala estar (°C)	Sala Int. (°C)	Dorm. 01 (°C)	Dorm. 02 (°C)	Dorm. 03 (°C)	Dorm. 04 (°C)	
0,3	31,08	Padrão	29,67	29,39	29,77	29,73	29,86	30,26	
		5 ren/h	30,10	29,85	30,12	30,09	30,13	30,46	
		1 + 50%	29,43	29,10	29,51	29,45	29,42	29,96	
		5 ren + 50%	29,95	29,65	29,94	29,88	29,85	30,28	
0,5	31,08	Padrão	30,05	29,54	30,12	30,13	30,09	30,79	
		5 ren/h	30,33	29,94	30,36	30,35	30,27	30,79	
		1 + 50%	29,79	29,24	29,87	29,85	29,63	30,49	

		5 ren + 50%	30,17	29,74	30,17	30,14	29,99	30,60	
0,7	31,08	Padrão	30,44	29,70	30,50	30,54	30,31	31,32	
		5 ren/h	30,56	30,03	30,60	30,62	30,40	31,12	
		1 + 50%	30,17	29,37	30,22	30,25	29,85	31,02	
		5 ren + 50%	30,40	29,83	30,41	30,41	30,13	30,93	

Fonte: Autora.

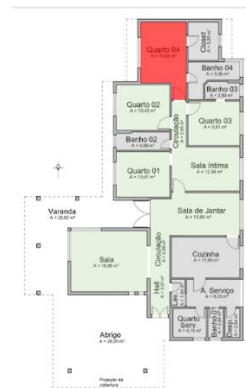
O padrão de absorção para o verão observado nos estudos de caso anteriores se repetiu, de modo que as soluções com absorções menores registraram os menores valores de temperatura interna máxima.

O Quadro 39 apresenta o comportamento das temperaturas internas máximas para os ambientes de permanência prolongada do modelo P03A em LSF, nela constata-se que todas as soluções testadas se mantiveram entre os níveis intermediário e mínimo. Quanto às variações observadas entre as soluções, para o modelo padrão (1 ren/h), exceto para o quarto 04 (crítico de verão) na absorção 0,7 que apresentou o nível mínimo, nota-se que as demais soluções apresentaram nível intermediário. Para as soluções com 5 ren/h é possível destacar que todos os resultados obtidos se mantiveram no nível mínimo. Os casos com 1 ren/h + 50% de sombreamento, por sua vez, apresentaram o nível intermediário em todos os cenários simulados. Por fim, o modelo com 5 ren/h + 50% de sombreamento, registrou o nível intermediário na sala íntima e no dormitório 03, bem como o nível mínimo para sala de estar e dormitórios 01, 02 e 04 em todos os modelos testados.

Quadro 39 – Resultados da análise da condição de inverno do modelo P03A em LSF.

Modelo P03A - LSF									
			Ambiente						Croqui
Abs.	Temp. ext. mín. (°C)	Cond. de cont.	Sala estar (°C)	Sala Int. (°C)	Dorm. 01 (°C)	Dorm. 02 (°C)	Dorm. 03 (°C)	Dorm. 04 (°C)	
0,3	31,08	Padrão	28,59	27,97	28,70	28,63	28,69	28,86	
		5 ren/h	29,63	29,10	29,59	29,56	29,46	29,69	
		1 + 50%	28,15	27,44	28,18	28,10	27,83	28,37	
		5 ren + 50%	29,34	28,76	29,26	29,22	28,97	29,39	

0,5	31,08	Padrão	28,71	28,03	28,80	28,74	28,79	29,01
		5 ren/h	29,70	29,14	29,66	29,63	29,46	29,79
		1 + 50%	28,27	27,50	28,29	28,21	27,83	28,53
		5 ren + 50%	29,42	28,80	29,33	29,29	28,97	29,49
0,7	31,08	Padrão	28,83	28,08	28,90	28,84	28,88	29,17
		5 ren/h	29,77	29,17	29,72	29,69	29,46	29,87
		1 + 50%	28,37	27,54	28,39	28,31	27,83	28,68
		5 ren + 50%	29,49	28,83	29,39	29,36	28,97	29,59



Fonte: Autora.

4.1.8 Discussão sobre o comportamento dos modelos P03 e P03A pela norma de desempenho 15.575

Através dos dados apresentados nos Quadros 36, 37, 38 e 39, é possível identificar relações entre o comportamento das soluções para os dias extremos de inverno e verão na ZB2 nos modelos P03 e P03A.

Quanto aos modelos de inverno (Quadros 36 e 37), uma diferença superior à 1,5°C na maioria das zonas térmicas analisadas pôde ser observada entre os modelos convencional e LSF. Para o pior cenário de inverno no modelo P03 (quarto 04 com absorância 0,3), uma diferença de 23,84% foi identificada entre os dois modelos.

Observa-se, portanto, que assim como observado e discutido para os modelos P01 e P02, as estratégias adotadas para a composição dos fechamentos em LSF proporcionaram uma condição de inverno menos rígida quando comparadas com as estratégias com alvenaria convencional para este modelo.

Quanto aos padrões observados e discutidos anteriormente para os valores de absorância, a maior diferença observada entre os modelos foi de 0,80% no quarto 02 do modelo convencional. Esta situação demonstra, assim como nos modelos P01 e P02, que as diferenças entre as temperaturas internas mínimas com a variação da absorância, embora perceptíveis na análise, não representam uma variação significativa no desempenho dos ambientes de permanência prolongada.

Para análise da situação de verão (Quadros 38 e 39), assim como nas soluções do modelo P01A e P02A, uma diferença superior à 1°C pôde ser observada em grande

parte das duas soluções. O pior cenário de verão para o modelo P03A convencional (dormitório 04 com absorvância 0,7 e 1 ren/h), registrou uma diferença de 4,85% para o pior cenário de verão para o modelo P03A LSF (dormitório 04 com absorvância 0,7 e 5 ren/h), sendo novamente as soluções em LSF as que apresentaram as menores temperaturas máximas internas nos experimentos realizados.

Cabe ressaltar também, assim como apresentado anteriormente, que as estratégias de ventilação com sombreamento apresentaram resultados melhores do que as soluções sem sombreamento em todos cenários, conforme o esperado. Contudo, o aditamento no número de renovações por hora representou um aumento nas temperaturas internas máximas em todos os cenários avaliados para os dois modelos testados neste estudo de caso.

4.2 Análise estatística dos resultados obtidos para simulações com a norma NBR 15.575

Diante dos resultados apresentados na subseção 4.1, observa-se um cenário de inconclusão entre as soluções obtidas através das simulações realizadas com os parâmetros da norma de desempenho para os dois sistemas construtivos avaliados. Os dados não possibilitam com que apontamentos sejam realizados sobre questões envolvendo a competitividade dos dois sistemas, embora as temperaturas internas do modelo em LSF tenham apresentado condições melhores em um nível geral.

Visando contornar a condição limitante do processo de avaliação da norma de desempenho na ótica de contraste dos sistemas, foi realizado um estudo de significância, considerando o teste T de *Student*.

A avaliação da significância estatística considerou as condições de inverno e verão para todos os modelos nos dois sistemas construtivos, como mostram as Tabelas 8, 9, 10 e 11.

Tabela 8 – Dados estatísticos dos modelos em alvenaria convencional para o verão.

Modelo	Mínimo	Média	Máximo	Mediana	Desvio Padrão	Variância
P01A	30,80	31,75	33,24	31,73	0,6742353	0,4593254
P02A	29,32	30,39	31,46	30,39	0,4797384	0,2301489
P03A	29,10	30,10	31,32	30,12	0,4456065	0,1985652
Total	29,10	30,57	33,24	30,40	0,8352128	0,6975804

Fonte: Autora.

Tabela 9 – Dados estatísticos dos modelos em LSF para o verão.

Modelo	Mínimo	Média	Máximo	Mediana	Desvio Padrão	Variância
P01A	28,87	29,93	30,68	29,97	0,4513369	0,2037050
P02A	28,01	29,06	30,00	29,15	0,5260420	0,2767202
P03A	27,44	28,90	29,87	28,94	0,6337295	0,4016131
Total	27,44	29,19	30,68	29,27	0,6952169	0,4833266

Fonte: Autora.

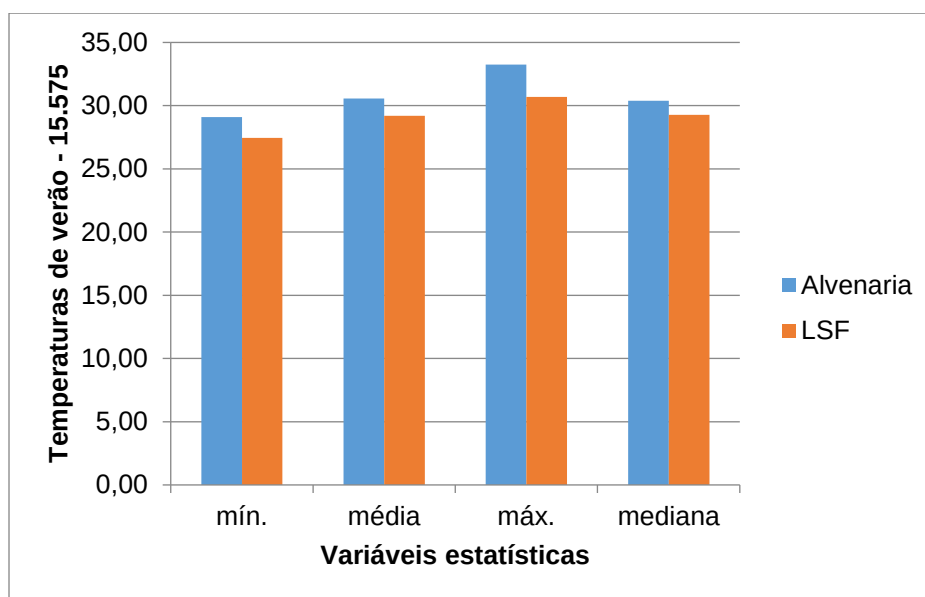


Figura 12 – Variáveis estatísticas para os dois modelos construtivos na situação de verão.

Fonte: Autora.

A partir das Tabelas 8 e 9 e da Figura 12, considerando as condições de verão para os dois modelos construtivos testados, observa-se que a média, mediana, mínima e máxima são maiores em todos os modelos em alvenaria convencional quando comparado com o modelo em LSF, indicando, portanto, uma condição interna melhor nos ambientes de permanência prolongada do sistema LSF para o verão.

Tabela 10 – Dados estatísticos dos modelos em alvenaria convencional para o inverno.

Modelo	Mínimo	Média	Máximo	Mediana	Desvio Padrão	Variância
P01	7,51	7,73	8,05	7,63	0,224246	0,050286
P02	7,41	7,64	7,78	7,67	0,124864	0,015591
P03	7,34	7,68	8,06	7,63	0,266522	0,071034
Total	7,34	7,68	8,06	7,67	0,219271	0,043875

Fonte: Autora.

Tabela 11 – Dados estatísticos dos modelos em LSF para o inverno

Modelo	Mínimo	Média	Máximo	Mediana	Desvio Padrão	Variância
P01	8,75	8,81	8,86	8,83	0,042947	0,001844

P02	9,26	9,82	10,48	9,78	0,442099	0,195452
P03	9,09	9,33	9,55	9,37	0,149242	0,022273
Total	8,75	9,36	10,48	9,36	0,453724	0,175881

Fonte: Autora.

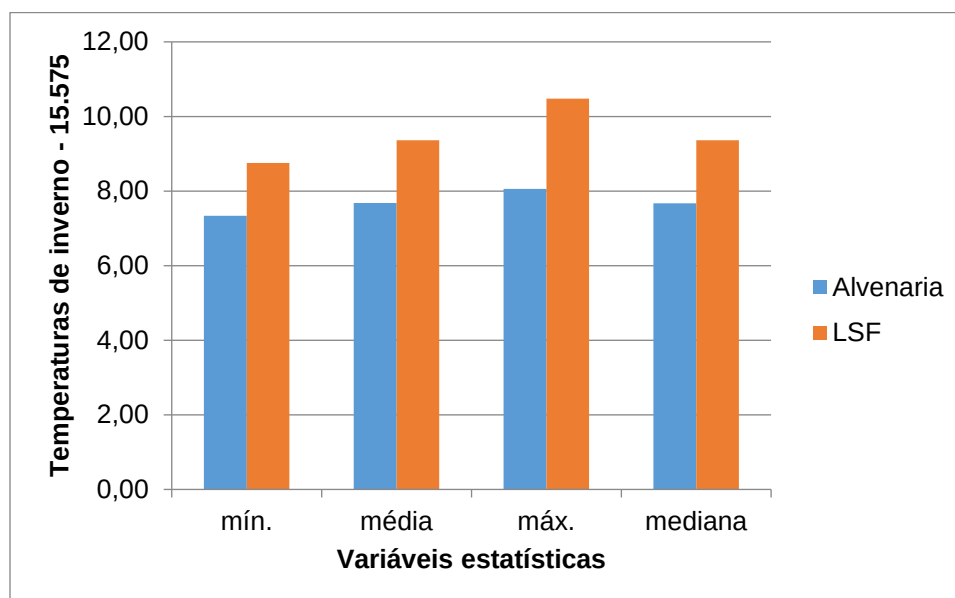


Figura 13 – Variáveis estatísticas para os dois modelos construtivos na situação de inverno.

Fonte: Autora.

Com os dados estatísticos das Tabelas 10 e 11 e da Figura 13, considerando a situação de inverno, os modelos em alvenaria cerâmica apresentaram as temperaturas mínima, média, máxima e mediana, menores do que as observadas nos modelos em LSF. Desta forma, o mesmo cenário observado anteriormente para condição de verão foi identificado, sendo os ambientes de permanência prolongada dos modelos em LSF aqueles que apresentaram as maiores temperaturas internas no inverno e, portanto, as melhores condições internas.

Do mesmo modo, as piores condições médias para verão e inverno foram identificadas nos modelos P01 e P01A, já que o projeto apresenta quatro paredes voltadas para o meio externo, tendo um grau de exposição ao externo duas vezes maior do que os demais modelos, com uma ou duas paredes voltadas para o exterior, considerando os ambientes de permanência prolongada.

Os resultados de variância das Tabelas 8, 9, 10 e 11 foram considerados para definição dos valores de aplicação do teste T, sendo selecionada a variância desigual como parâmetro da análise, tendo visto a diferença entre os valores obtidos nos dois conjuntos amostrais. Ainda, a análise unicaudal foi escolhida como método de aplicação do teste, à medida que os resultados estatísticos apontam para

predominância de um dos conjuntos de dados (o LSF apresentou resultados médios e individuais melhores do que o sistema em alvenaria convencional, segundo a norma de desempenho).

Tabela 12 – Teste T de Student para as situações de inverno e verão dos modelos analisados.

Período	Método	Parâmetro de variância	p-valor
Inverno	Unicaudal	Variância desigual	4,97E-28
Verão	Unicaudal	Variância desigual	5,79E-42

Fonte: Autora.

Desta forma, como observado na Tabela 12, a partir dos valores de p-valor, é possível apontar que as melhores condições internas do LSF sobre a alvenaria convencional são significantes estatisticamente, com grau de confiança superior à 95%.

4.2.1 Avaliação dos modelos P01

O Quadro 40 apresenta o comportamento do modelo P01 em alvenaria cerâmica quanto ao atendimento ou não das condições estabelecidas pelo RTQ-R.

Em um nível geral, observa-se que o equivalente numérico do produto edílico para as três absorções se manteve no nível C, com valores entre 3,53 e 3,68. Quanto ao consumo para aquecimento (CA), é possível observar que o nível D foi encontrado em todas as soluções testadas, sendo o dormitório 01 (com parede cega à leste e abertura para sul) o que apresentou as maiores necessidades de aquecimento.

Sobre os valores de graus-hora de resfriamento (GHR), o nível A foi obtido na maioria das simulações, exceto pelo dormitório 02 do modelo com absorção de 0,7 que obteve nível B.

Ainda, quanto ao comportamento da variação das absorções, valores mais altos representaram uma diminuição no CA (pouco expressivo, assim como foi na NBR 15575 com relação a temperatura interna, se refletindo de forma quase imperceptível no consumo anual de energia) e, em contrapartida, um aumento no número de GHR.

Quadro 40 – Resultados de acordo com o RTQ-R para o modelo P01 em alvenaria cerâmica.

Modelo P01 - Alvenaria						
		CA	GHr	Consumo de energia (kWh)	EqNum/Efic	Croqui
Abs. 0,3	SALA	54,50	1434,34	2569,81	3,68	
	Q1	59,48	1253,36			
	Q2	53,03	1750,75			
Abs. 0,5	SALA	54,29	1638,73	2562,25	3,68	
	Q1	59,24	1528,51			
	Q2	52,60	2108,76			
Abs. 0,7	SALA	54,01	1935,47	2555,8	3,53	
	Q1	58,82	1845,46			
	Q2	51,62	2457,58			

Fonte: Autora.

Já para o comportamento do modelo P01 em LSF (Quadro 40), o equivalente numérico encontrado para os ambientes de permanência prolongada foi de 4,12 (nível B) para todas as absortâncias, sendo o nível C identificado em todas as soluções para CA e o nível A em todas as soluções para GHr. Novamente, o dormitório 01 apresentou maiores necessidades energéticas para aquecimento e um número menor de graus-hora para resfriamento.

Quadro 41 – Resultados de acordo com o RTQ-R para o modelo P01 em LSF.

Modelo P01 - LSF							
		CA	GHr	Consumo de energia (kWh)	EqNum/Efic	Croqui	
Abs. 0,3	SALA	40,26	889,91	1953,96	4,12		
	Q1	42,37	645,78				
	Q2	38,94	1315,74				
Abs. 0,5	SALA	40,17	943,30	1951,58	4,12		
	Q1	42,25	731,38				
	Q2	41,70	1421,76				
Abs. 0,7	SALA	40,09	994,28	1949,54	4,12		
	Q1	42,13	813,95				
	Q2	41,44	1521,92				

Fonte: Autora.

Assim como observado para o modelo P01 em alvenaria, absortâncias menores apresentaram os maiores valores de CA e os menores valores de GHr no modelo em P01 em LSF.

4.2.2 Avaliação dos modelos P01A

Para análise do P01A em alvenaria a partir do RTQ-R (Quadro 41), equivalentes numéricos de 3,55 (Nível C) foram obtidos para as soluções com absorvância de 0,3 e 0,5, e de 2,99 (Nível D) para solução com absorvância de 0,7.

A questão do CA neste modelo apresentou os maiores valores atrelados ao dormitório 01 (nível E) em todos os modelos, enquanto o dormitório 02 foi o que apresentou os maiores valores de GHr. Ainda sobre os GHr, as estratégias com absorvâncias de 0,3 e 0,5 atingiram nível A, enquanto a estratégia com absorvância de 0,7 atingiu nível B para todos os ambientes avaliados.

Para os valores de absorvância, no modelo P01A em alvenaria, tons mais claros indicaram um maior consumo para aquecimento, enquanto os mesmos representaram um menor número de graus-hora para resfriamento.

Quadro 42 – Resultados de acordo com o RTQ-R para o modelo P01A em alvenaria convencional.

Modelo P01A - Alvenaria							
		CA	GHr	Consumo de energia (kWh)	EqNum/Efic	Croqui	
Abs. 0,3	SALA	61,42	1745,83	2737,47	3,55		
	Q1	64,99	1418,59				
	Q2	62,35	1789,53				
Abs. 0,5	SALA	61,12	2176,67	2728,16	3,55		
	Q1	64,37	1910,20				
	Q2	61,35	2307,37				
Abs. 0,7	SALA	60,87	2603,23	2719,6	2,99		
	Q1	63,81	2410,39				
	Q2	60,45	2811,47				

Fonte: Autora.

Já no Quadro 42, que apresenta os resultados do modelo P01A com composição em LSF, um equivalente numérico de 4,12 pôde ser observado em todas as soluções, sendo, portanto, o nível B do RTQ-R alcançado para os ambientes de permanência prolongada.

O CA se manteve no nível C para todas os ambientes, sendo o dormitório 1 o ambiente que apresentou maiores necessidades energéticas para aquecimento.

Quanto aos GHr, o dormitório 2 foi o ambiente com maior número de graus-hora de resfriamento.

O padrão das absorções se comportou de modo que valores de absorção indicaram um maior consumo para aquecimento e um menor número de graus-hora de resfriamento para todos os ambientes avaliados.

Quadro 43 – Resultados de acordo com o RTQ-R para o modelo P01A em LSF.

Modelo P01A - LSF							
		CA	GHr	Consumo de energia (kWh)	EqNum/Efic	Croqui	
Abs. 0,3	SALA	41,50	1036,81	1955,05	4,12		
	Q1	45,02	697,40				
	Q2	42,87	1118,15				
Abs. 0,5	SALA	41,40	1129,33`	1952,64	4,12		
	Q1	44,91	844,38				
	Q2	42,54	1263,45				
Abs. 0,7	SALA	41,31	1215,67	1950,42	4,12		
	Q1	44,81	988,90				
	Q2	42,22	1406,41				

Fonte: Autora.

4.2.3 Discussão sobre o comportamento dos modelos P01 e P01A pelo RTQ-R

Os Quadros 40, 41, 42 e 43 apresentam o comportamento dos modelos P01 e P01A de acordo com as condições preconizadas pelo RTQ-R para avaliação dos modelos de simulação.

Quanto aos modelos P01 (Quadros 40 e 41), observa-se uma diferença de desempenho representada pelo equivalente numérico e o nível de eficiência dos dois modelos. Embora ambas soluções tenham obtido nível A para GHr, as condições do CA entre os modelos foram distintas, sendo o nível D observado em todas as soluções do modelo P01 em alvenaria cerâmica e o nível C em todas as soluções do modelo em LSF. Esta diferença no comportamento dos dois modelos no período frio foi o ponto determinante para diferença observada entre os equivalentes numéricos.

Já para os modelos P01A (Quadros 41 e 43), as diferenças entre as duas soluções construtivas foram ainda maiores. Embora a avaliação do modelo P01A em alvenaria cerâmica tenha apresentado GHr no nível B em todos os ambientes para absorção de 0,7, novamente o nível A prevaleceu nas demais soluções testadas para as duas estratégias construtivas neste quesito. Entretanto, a identificação dos níveis D e E para CA no modelo em alvenaria em comparação com o nível C obtido

no modelo em LSF para todos os ambientes avaliados, destaca a diferença entre os níveis de desempenho dos dois modelos.

Em uma análise geral, percebe-se que as condições impostas pelos períodos frios para ZB2 implicaram em uma maior necessidade de aquecimento nos modelos P01 e P01A. O modelo em LSF, embora com pouca massa térmica, através do maior nível de isolamento nos fechamentos conseguiu atingir níveis gerais melhores para os dois modelos, por conta da diferença de CA superior a 15 kWh/m².ano entre os modelos com a mesma disposição.

Com relação aos consumos de energia observados nos dois sistemas construtivos, observa-se que os modelos com sistema LSF apresentam um consumo energético menor nas duas situações (P01 e P01A), sendo as diferenças sempre superiores a 600 kWh. A Tabela 13 apresenta as relações de consumo geral por metro quadrado para os cenários com maiores consumos entre os modelos P01 e P01A. Nela é possível observar que as soluções em LSF apresentaram consumos por área, pelo menos, 23,97% menores quando comparadas com as soluções em alvenaria.

Tabela 13 – Relação do consumo de energia anual por metro quadrado para os modelos P01 e P01A.

Modelo	Absortância	Estratégia construtiva	kWh/m ²
P01	0,3	Alvenaria cerâmica	59,62
P01	0,3	<i>Light Steel Framing</i>	45,33
P01A	0,3	Alvenaria cerâmica	63,51
P01A	0,3	<i>Light Steel Framing</i>	45,36

Fonte: Autora.

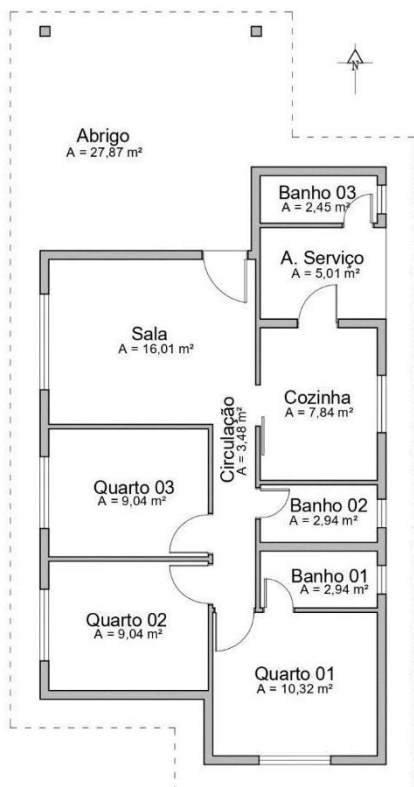
4.2.4 Avaliação dos modelos P02

Para o modelo P02 em alvenaria cerâmica (Quadro 44) a diferença de desempenho observada no CA para os modelos anteriores foi ainda mais acentuada.

Os ambientes de permanência prolongada deste cenário de avaliação apresentaram o nível E para CA em todas as estratégias de absorção, com GHr nível A na maioria dos ambientes, exceto o dormitório 03 da solução com absorção de 0,7, onde o nível registrado foi B.

Para as absorções deste modelo, valores menores indicaram maiores valores de CA e menores valores de GHr, assim como visto para o modelo P01.

Quadro 44 – Resultados de acordo com o RTQ-R para o modelo P02 em alvenaria cerâmica.

Modelo P02 - Alvenaria							
		CA	GHr	Consumo de energia (kWh)	EqNum/Efic	Croqui	
Abs. 0,3	SALA	69,52	1558,28	4401,77	3,24		
	Q1	72,10	1067,86				
	Q2	71,62	1404,03				
	Q3	71,45	1461,38				
Abs. 0,5	SALA	68,78	1893,51	4383,65	3,24		
	Q1	71,74	1406,03				
	Q2	70,94	1788,15				
	Q3	70,60	1988,14				
Abs. 0,7	SALA	68,44	2233,95	4368,04	3,13		
	Q1	71,43	1757,56				
	Q2	70,33	2181,57				
	Q3	69,85	2525,41				

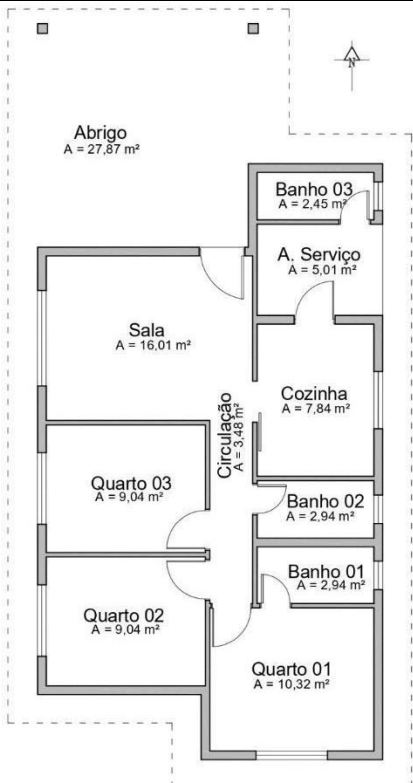
Fonte: Autora.

O Quadro 45 apresenta o comportamento do modelo P02 com composição em LSF. Nela é observado um comportamento semelhante aos modelos em LSF P01 e P01A, onde o CA foi nível C e o GHr nível A em todas soluções testadas, tendo um equivalente numérico de 4,12 (Nível B) para as três absortâncias.

Para o comportamento das absortâncias, assim como no modelo P02 em alvenaria e nos dois modelos P01, valores menores de absortância representaram um CA maior (pouco relevante) e um GHr menor.

Quadro 45 – Resultados de acordo com o RTQ-R para o modelo P02 em LSF.

Modelo P02 - LSF						Croqui
		CA	GHr	Consumo de energia (kWh)	EqNum/Efic	
Abs. 0,3	SALA	43,70	727,82	3063,35	4,12	
	Q1	46,56	319,29			
	Q2	44,76	704,62			

	Q3	43,61	727,78			
Abs. 0,5	SALA	43,51	817,49	3055,38	4,12	
	Q1	46,42	406,82			
	Q2	44,38	805,68			
	Q3	43,20	868,24			
Abs. 0,7	SALA	43,35	905,99	3047,59	4,12	
	Q1	46,31	496,31			
	Q2	44,04	904,25			
	Q3	42,83	1007,84			

Fonte: Autora.

4.2.5 Avaliação dos modelos P02A

Para avaliação do modelo P02A em alvenaria cerâmica (Quadro 46), observa-se um equivalente numérico nível C variando de 3,34 a 3,51 entre as três soluções propostas. O CA foi novamente o fator determinante para o menor desempenho das soluções, atingindo níveis D e E em todos os ambientes de permanência prolongada. O GHr de todas as soluções testadas alcançou o nível A do RTQ-R.

Quanto aos valores de absorção, assim como nos modelos P01A, absorções menores representaram um maior valor de CA e um menor valor de GHr. Quadro 46 – Resultados de acordo com o RTQ-R para o modelo P02A em alvenaria convencional.

Modelo P02A - Alvenaria						Croqui
		CA	GHr	Consumo de energia (kWh)	EqNum/Efic	
Abs. 0,3	SALA	62,62	1291,92	4100,35	3,34	
	Q1	58,21	1203,11			
	Q2	63,29	1108,99			
	Q3	63,98	1107,21			
	SALA	62,35	1529,33	4079,08	3,51	

Abs. 0,5	Q1	57,87	1475,60			
	Q2	62,90	1384,54			
	Q3	63,15	1248,46			
Abs. 0,7	SALA	62,05	1863,43	4059,82	3,51	
	Q1	57,24	1661,75			
	Q2	62,48	1490,49			
	Q3	62,83	1367,23			

Fonte: Autora.

O Quadro 47 apresenta o comportamento do modelo P02A com composição em LSF. Percebe-se que o nível B foi mantido para este modelo, assim como nas demais soluções em LSF testadas. Entretanto, o equivalente numérico para os modelos com as três absorvâncias apresentaram o valor de 4,12.

Para questão dos GHr, o nível A foi observado em todas as soluções novamente. Para as condições de absorvâncias o mesmo comportamento observado nos modelos anteriores foi percebido. Absorvâncias menores implicaram em um maior consumo para aquecimento e um menor número de graus-hora de resfriamento, embora a variação seja menor do que 0,5%.

Quadro 47 – Resultados de acordo com o RTQ-R para o modelo P02A em LSF.

Modelo P02A - LSF						
		CA	GHr	Consumo de energia (kWh)	EqNum/Efic	Croqui
Abs. 0,3	SALA	45,90	660,92	3142,61	4,12	
	Q1	43,28	618,70			
	Q2	46,50	592,13			

	Q3	46,10	587,08			
Abs. 0,5	SALA	45,63	706,54	3125,43	4,12	
	Q1	43,01	663,04			
	Q2	46,21	627,63			
	Q3	45,93	619,76			
Abs. 0,7	SALA	45,38	750,95	3102,55	4,12	
	Q1	42,76	711,94			
	Q2	45,89	665,05			
	Q3	45,67	653,76			

Fonte: Autora.

4.2.6 Discussão sobre o comportamento dos modelos P02 e P02A pelo RTQ-R

Para análise dos modelos P02 e P02A (Quadros 44, 45, 46 e 47), destaca-se novamente a condição do consumo de aquecimento como ponto de maior influência no desempenho dos modelos.

Os níveis D e E para CA observados nos modelos em alvenaria cerâmica inferiram no nível geral C destes modelos, assim com os níveis C e D para CA dos modelos em LSF inferiram no seu nível geral B. Para GHr mais uma vez o nível A foi observado em todas as estratégias.

Contudo, novamente as estratégias com maior nível de isolamento propostas pelos modelos LSF implicaram em um desempenho melhor para condição dos períodos frios de acordo com o RTQ-R.

Com relação às condições de consumo de energia dos modelos P02 e P02A, a Tabela 14 apresenta o consumo anual por metro quadrado pelos modelos com maiores consumos energéticos em cada cenário (absortância 0,3). Assim como observado para os modelos P01 e P01A (Tabela 13), as estratégias em LSF apresentaram necessidades energéticas menores para os dois modelos, sendo uma diferença no cenário mais aproximado superior a 23,37%.

Tabela 14 – Relação do consumo de energia anual por metro quadrado para os modelos P02 e P02A.

Modelo	Absortância	Estratégia construtiva	kWh/m²
P02	0,3	Alvenaria cerâmica	63,91
P02	0,3	<i>Light Steel Framing</i>	44,40
P02A	0,3	Alvenaria cerâmica	59,44
P02A	0,3	<i>Light Steel Framing</i>	45,55

Fonte: Autora.

4.2.7 Avaliação dos modelos P03

O modelo P03 em alvenaria cerâmica (Quadro 48) apresentou condições de desempenho semelhante à dos demais modelos com a mesma estratégia construtiva.

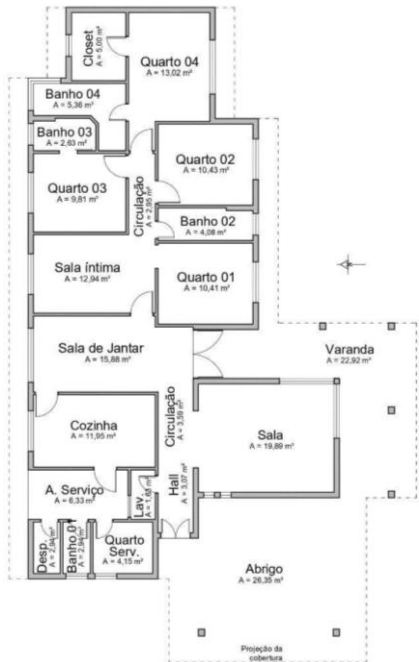
Com equivalente numérico de 3,24 para as três soluções testadas, o nível E foi observado em todas as soluções para o consumo de aquecimento, enquanto o nível A foi observado para todas as soluções na questão do GHr.

Para questão das absortâncias o mesmo observado anteriormente pôde ser percebido no modelo P03 em alvenaria. Valores menores representaram maiores valores de CA e menores valores de GHr.

Quadro 48 – Resultados de acordo com o RTQ-R para o modelo P03 em alvenaria cerâmica.

Modelo P03 - Alvenaria						
		CA	GHr	Consumo de energia (kWh)	EqNum/ Efic	Croqui
Abs. 0,3	SALA	66,46	1335,90	9864,13	3,24	
	SALA INT	65,77	1441,28			
	Q1	69,99	1149,30			
	Q2	69,59	1260,86			
	Q3	66,76	1397,60			
	Q4	72,10	935,57			
Abs. 0,5	SALA	66,29	1540,14	9837,24	3,24	
	SALA INT	65,11	1713,58			
	Q1	69,24	1373,66			
	Q2	68,67	1693,54			
	Q3	66,23	1715,93			
	Q4	70,87	1249,28			
Abs. 0,7	SALA	66,16	1739,72	9814,94	3,24	
	SALA INT	64,50	1987,26			

	Q1	68,56	1601,80			
	Q2	67,84	2131,69			
	Q3	65,76	2037,24			
	Q4	69,73	1586,77			



Fonte: Autora.

Já para a análise do modelo P03 em LSF apresentado no Quadro 49, o nível C foi obtido para as três estratégias testadas, com um equivalente numérico de 3,90.

Quanto ao consumo de aquecimento, para as três absorções testadas, com exceção da sala de estar e do dormitório 3 que atingiram nível C, todos os demais ambientes de permanência prolongada avaliados alcançaram o nível D. Os valores de GHr para todas as absorções foram nível A novamente.

Para as absorções, novamente valores mais baixos representaram maiores valores de CA e menores valores de GHr.

Quadro 49 – Resultados de acordo com o RTQ-R para o modelo P03 em LSF.

Modelo P03 - LSF						
		CA	GHr	Consumo de energia (kWh)	EqNum/Efic	Croqui
Abs. 0,3	SALA	40,39	630,05	7119,08	3,90	
	SALA INT	47,30	527,87			
	Q1	48,03	309,85			
	Q2	48,18	351,47			
	Q3	45,77	598,81			
	Q4	51,45	236,43			
Abs. 0,5	SALA	40,33	689,26	7110,25	3,90	
	SALA INT	47,17	599,23			
	Q1	47,83	368,32			
	Q2	47,95	461,79			
	Q3	45,56	685,75			
	Q4	50,91	308,62			

Abs. 0,7	SALA	40,27	745,26	7101,87	3,90	
	SALA INT	47,05	670,97			
	Q1	47,64	427,44			
	Q2	47,75	576,31			
	Q3	45,37	771,17			
	Q4	50,40	386,46			

Fonte: Autora.

4.2.8 Avaliação dos modelos P03A

Para o modelo P03A em alvenaria cerâmica (Quadro 50) o que se observa é a manutenção do nível C, com equivalente numérico de 3,60 para todas as absortâncias testadas.

O CA deste modelo apresentou nível D na maioria dos ambientes de todas as soluções, exceto para sala íntima que apresentou nível E nas três soluções.

Com relação ao GHr, o nível A foi observado em todas as absortâncias mais uma vez.

Quadro 50 – Resultados de acordo com o RTQ-R para o modelo P03A em alvenaria cerâmica.

Modelo P03A - Alvenaria						
		CA	GHr	Consumo de energia (kWh)	EqNum/Efic	Croqui
Abs. 0,3	SALA	62,07	1052,68	9938,35	3,60	
	SALA INT	63,20	900,42			
	Q1	62,34	1061,43			
	Q2	62,18	1053,40			
	Q3	61,85	1076,00			
	Q4	59,93	1322,48			
Abs. 0,5	SALA	61,90	1233,52	9899,06	3,60	
	SALA INT	62,79	996,41			

	Q1	61,42	1227,64		
	Q2	61,41	1245,87		
	Q3	60,73	1204,36		
	Q4	57,80	1611,42		
Abs. 0,7	SALA	60,08	1416,37	9855,75	3,60
	SALA INT	62,40	1096,22		
	Q1	60,77	1395,72		
	Q2	60,71	1439,62		
	Q3	60,57	1335,76		
	Q4	56,86	1906,49		

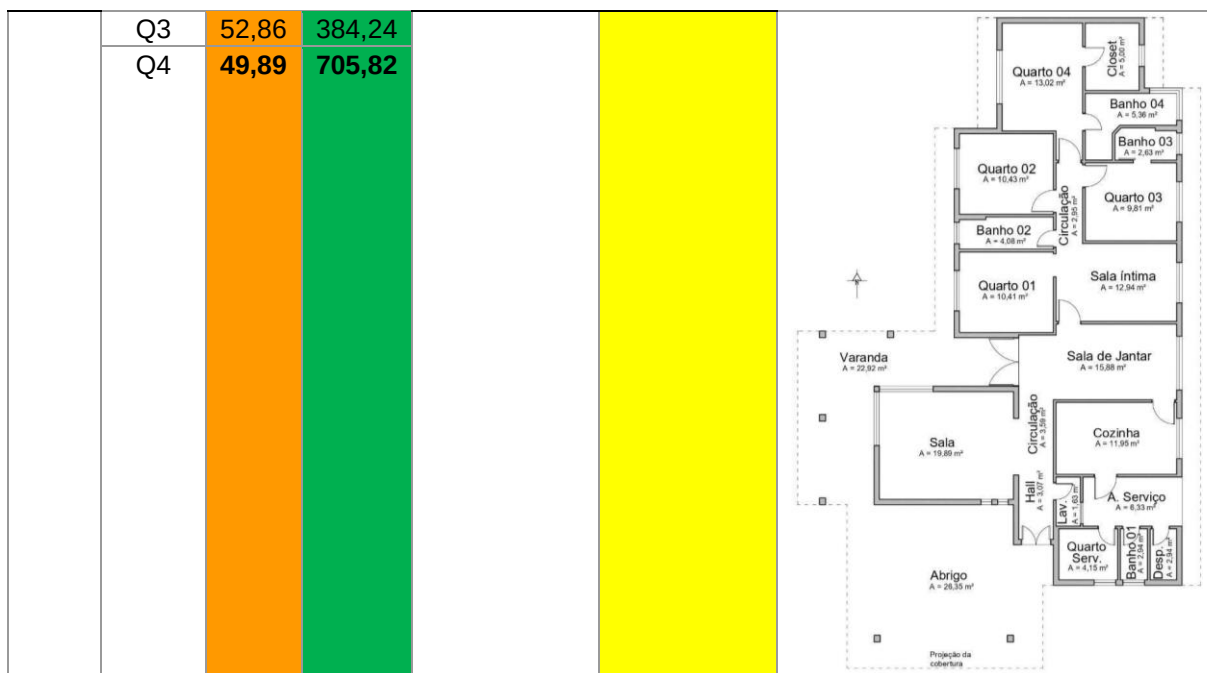
Fonte: Autora.

Já para o modelo P03A em LSF (Quadro 51), o nível C foi obtido novamente, com um equivalente numérico de 3,68 a 3,86, sendo o CA nível D em todas as soluções e o GHr nível A em todas as absortâncias.

O mesmo padrão quanto a questão da absortância de todas as anteriores foi identificada neste modelo.

Quadro 51 – Resultados de acordo com o RTQ-R para o modelo P03A em LSF.

Modelo P03A - LSF						
		CA	GHr	Consumo de energia (kWh)	EqNum/Efic	Croqui
Abs. 0,3	SALA	50,76	541,05	7430,53	3,68	
	SALA INT	53,20	255,03			
	Q1	50,84	513,15			
	Q2	51,40	499,21			
	Q3	52,94	332,04			
	Q4	50,65	572,39			
Abs. 0,5	SALA	50,69	591,58	7422,79	3,86	
	SALA INT	53,09	267,92			
	Q1	50,71	553,84			
	Q2	51,30	542,19			
	Q3	52,89	358,58			
	Q4	50,26	639,97			
Abs. 0,7	SALA	50,62	641,24	7415,72	3,86	
	SALA INT	52,98	280,48			
	Q1	50,57	593,79			
	Q2	51,21	584,47			



Fonte: Autora.

4.2.9 Discussão sobre o comportamento dos modelos P03 e P03A pelo RTQ-R

Para análise dos modelos P03 e P03A de acordo com o RTQ-R (Quadros 46, 47, 48 e 49), salienta-se mais uma vez a questão do CA como ponto determinante para um menor nível dos modelos avaliados com base no referido regulamento.

Os quatro modelos apresentaram o nível geral C, com predominância dos níveis D, E e C, respectivamente, entre as soluções para a situação do consumo de aquecimento, enquanto todos obtiveram o nível A para graus-hora de resfriamento.

Assim como observado nas soluções anteriores, o consumo geral de energia e os equivalentes numéricos dos modelos em LSF foram melhores do que os modelos em alvenaria cerâmica, destacando mais uma vez a questão da composição com maior nível de isolamento, mesmo que em detrimento da massa térmica.

Quanto a questão do consumo de energia para os modelos P03 e P03A, a Tabela 15 apresenta as relações de consumo por metro quadrado para os cenários analisados com maiores consumos (absortância 0,3). É possível observar que, assim como nas Tabelas 13 e 14 para os modelos P01, P01A e P02, P02A, respectivamente, os modelos analisados com o sistema LSF apresentaram consumos menores do que os modelos em alvenaria no caso dos projetos P03 e P03A. Na condição de menor diferença entre os modelos, um percentual de redução de 25,23% pôde ser observado nos modelos P03A do tipo LSF em relação ao mesmo modelo em alvenaria cerâmica.

Tabela 15 – Relação do consumo de energia anual por metro quadrado para os modelos P03 e P03A.

Modelo	Absortância	Estratégia construtiva	kWh/m².ano
P03	0,3	Alvenaria cerâmica	63,44
P03	0,3	<i>Light Steel Framing</i>	45,79
P03A	0,3	Alvenaria cerâmica	63,92
P03A	0,3	<i>Light Steel Framing</i>	47,79

Fonte: Autora.

4.2.10 Considerações sobre o consumo geral de energia dos três projetos analisados

A Tabela 16 apresenta os consumos por metro quadrado anuais dos cenários avaliados com maior consumo energético nos modelos P01, P01A, P02, P02A, P03 e P03A. Embora a proximidade entre os valores de consumo por área obtidos para cada projeto dificulte a individualização destes cenários, a Tabela 16 permite identificar uma relação, já que as soluções em LSF, com variação entre 44,40 e 47,79 kWh/m² e em alvenaria entre 59,44 e 63,92 kWh/m², representam uma diferença média de 26,66% entre os dois cenários. Ou seja, uma diferença média superior à ¼ do consumo total de energia pôde ser observada a partir da análise destes dois sistemas construtivos.

Tabela 16 – Relação do consumo de energia anual por metro quadrado para todos os modelos.

Modelo	Absortância	Estratégia construtiva	kWh/m².ano
P01	0,3	Alvenaria cerâmica	59,62
P01	0,3	<i>Light Steel Framing</i>	45,33
P01A	0,3	Alvenaria cerâmica	63,51
P01A	0,3	<i>Light Steel Framing</i>	45,36
P02	0,3	Alvenaria cerâmica	63,91
P02	0,3	<i>Light Steel Framing</i>	44,40
P02A	0,3	Alvenaria cerâmica	59,44
P02A	0,3	<i>Light Steel Framing</i>	45,55
P03	0,3	Alvenaria cerâmica	63,44
P03	0,3	<i>Light Steel Framing</i>	45,79
P03A	0,3	Alvenaria cerâmica	63,92
P03A	0,3	<i>Light Steel Framing</i>	47,79

Fonte: Autora.

4.3 Estratégias de intervenção

4.3.1 Resultados das estratégias de intervenção para os modelos em alvenaria cerâmica

A partir dos resultados acima, dois padrões principais puderam ser observados nos seis modelos testados com o sistema convencional em suas composições: o atendimento ao nível A do RTQ-R na grande maioria dos casos para a situação de verão (GHR) e níveis E, D para a situação de inverno (CA), ou seja, os edifícios testados com este sistema apresentaram dificuldades na manutenção das cargas internas, necessitando de climatização de forma demasiada nos períodos frios.

Neste sentido as estratégias de intervenção foram aplicadas nas situações críticas de inverno (modelos P01, P02 e P03 em alvenaria cerâmica com absorvância de 0,3), de modo a identificar possíveis soluções que contribuam para diminuição do excessivo consumo para aquecimento observado nestes casos.

4.3.1.1 Estratégias de intervenção para o modelo P01 - Alv. Cerâmica

Com CA total de 166,36 kWh/(m².ano) e 4953.98 GHR, o modelo base P01 em alvenaria cerâmica com absorvância de 0,3 apresentou o nível D para CA e o nível A para GHR, com equivalente numérico da envoltória de 3,68.

As intervenções realizadas seguiram as estratégias apresentadas anteriormente no método da pesquisa.

Como mostra o Quadro 52, as estratégias de intervenção propostas pelo trabalho impactaram no desempenho do modelo de forma gradual, sendo a primeira intervenção realizada no isolamento da cobertura responsável evoluir o modelo para o nível B, e a combinação das estratégias de intervenção do isolamento da cobertura, esquadrias com vidros duplos, intervenção 1 das paredes externas e intervenção 1 do piso responsáveis por evoluir o modelo para o nível A (equivalente numérico de 4,56).

As intervenções necessárias para o atendimento do nível A do regulamento representaram uma melhora de 55,35% para o consumo de aquecimento subindo do nível D para B, além de uma melhora de 58,81% para o GHR, onde manteve-se no nível A.

Para o CA a composição com intervenção na cobertura, vidro duplos, intervenção nas paredes externas 3 e intervenção no piso 2, foi a que apresentou o menor valor de consumo, com 57,29 kWh/m².ano, representando uma redução de 65,56%.

Para a questão dos GHr, a solução com intervenções na cobertura, vidros duplos e IPE3, foi a que apresentou a melhor condição em graus-hora de resfriamento, embora o nível B apenas tenha sido obtido no nível geral deste modelo, com equivalente numérico de 4,12. Esta situação, somada ao comportamento das demais avaliações, salientam que a melhora proporcionada pelo isolamento do piso no consumo para aquecimento, representou uma piora no graus-hora de resfriamento, indicando uma condição de redução dos ganhos indesejados no período frio pelo piso, contudo, dificultando com que os períodos cedam calor para o solo no período quente.

Quadro 52 - Resultados das intervenções no modelo P01 em alvenaria cerâmica.

	Consumo total (kWh)	CA (kWh/(m².ano))	Dif. Percentual (%)	GHr	Dif. Percentual (%)	EqNumEnv
Base (EP01)	2569,81	166,36	0,00%	4953,98	0,00%	3,7
IC	2035,69	129,86	-21,94%	3165,68	-36,10%	4,1
IC + Vidro Duplo	1970,98	123,53	-25,74%	2542,85	-48,67%	4,1
IC + Vidro Duplo + IPE1	1812,19	107,20	-35,56%	1551,04	-68,69%	4,1
IC + Vidro Duplo + IPE2	1690,76	95,29	-42,72%	1034,20	-79,12%	4,3
IC + Vidro Duplo + IPE3	1773,43	103,08	-38,04%	776,53	-84,33%	4,1
IC + Vidro Duplo + IPE1 + IP1	1473,03	74,27	-55,35%	2040,68	-58,81%	4,6
IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP1	1295,22	57,66	-65,34%	1515,90	-69,40%	4,6
IC + Vidro Duplo + IPE3 + IP1	1370,42	65,38	-60,70%	1096,35	-77,87%	4,6
IC + Vidro Duplo + IPE1 + IP2	1462,55	73,92	-55,57%	1910,62	-61,43%	4,6
IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP2	1285,43	57,29	-65,56%	1393,28	-71,88%	4,6
IC + Vidro Duplo + IPE3 + IP2	1359,96	64,96	-60,95%	1005,74	-79,70%	4,6

Fonte: Autora.

Quanto ao consumo total de energia, uma redução de 1096,38 kWh (42,66%) foi obtida quando atendido o nível A, considerando as intervenções na cobertura, vidro duplo, a primeira intervenção nas paredes externas e a primeira intervenção no piso. A maior redução do consumo total de energia de 1284,38 kWh (49,97%) foi identificada através da estratégia com IC + Vidro Duplo + IPE2 e IP2.

Os resultados apresentados no Quadro 53 salientam a importância da orientação solar como estratégia passiva para o desempenho da edificação (Apêndice A). Nela são apresentadas as estratégias que atingiram nível A para o modelo P01 em alvenaria cerâmica com a disposição das aberturas e ambientes de permanência conforme o apresentado anteriormente no método da pesquisa.

Todas as estratégias de intervenção apresentaram uma melhora superior a 15%, atingindo nível A em CA e GHr em quatro delas. No melhor cenário para condição de consumo de aquecimento (principal deficiência do modelo), a estratégia com intervenção na cobertura, vidros duplos, intervenção nas paredes externas 2 e intervenção do piso 2, alcançou uma melhora no CA de 84,96% quando comparado com o modelo inicial.

Para questão do consumo total de energia, uma redução anual de 1508,46 kWh foi identificada a partir da solução de intervenção com IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP2 e variação da orientação (Apêndice A), representando uma diminuição de 58,69% no consumo total de energia do modelo P01.

Quadro 53 - Resultados das intervenções na orientação do modelo P01 em alvenaria cerâmica.

Estratégia	Consumo total (kWh)	CA (kWh/(m².ano))	Dif. Percentual (%)	GHr	Dif. Percentual (%)	EqNumEnv
Base (EP01)	2569,81	166,36	0,00%	4953,98	0,00%	3,7
IC + Vidro Duplo + IPE1 + IP1 + Orientação	1241,57	43,43	-73,89%	3264,99	-34,09%	4,8
IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP1 + Orientação	1072,77	25,69	-84,56%	2488,14	-49,77%	5,0
IC + Vidro Duplo + IPE3 + IP1 + Orientação	1119,78	31,76	-80,91%	1810,16	-63,46%	5,0
IC + Vidro Duplo + IPE1 + IP2 + Orientação	1209,27	41,40	-75,11%	2806,91	-43,34%	4,8
IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP2 + Orientação	1061,35	25,02	-84,96%	2310,17	-53,37%	5,0
IC + Vidro Duplo + IPE3 + IP2 + Orientação	1105,85	31,02	-81,35%	1677,86	-66,13%	5,0

Fonte: Autora.

4.3.1.2 Estratégias de intervenção para o modelo P02 - Alv. Cerâmica

O Modelo P02 convencional, por sua vez, apresentou no caso base 284,32 kWh/m².ano como consumo de aquecimento, obtendo o nível E do RTQ-R neste requisito. Para os graus-hora de resfriamento o modelo base apresentou 5491,55, atingindo o nível A do RTQ-R. O nível da envoltória foi C, com equivalente numérico de 3,24.

Como apresentado no Quadro 54, as intervenções na cobertura e aberturas (inserção do vidro duplo), contribuíram com uma redução de 49,63% no CA e de 10,59% para GHr, levando o modelo para o nível B do regulamento. Contudo, o nível A só foi alcançado após as intervenções 1 nas paredes externas e piso, assim observado no modelo P01.

Na primeira solução nível A uma redução de 73,12% no CA e de 12,41% para GHr foi identificada. A melhor solução para CA (IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP2), reduziu 81,19% do consumo para aquecimento, enquanto a melhor solução para GHr (IC + Vidro duplo + IPE3) reduziu 78,45% neste quesito, embora com atendimento do nível geral B para envoltória, indicando para o modelo P02 em alvenaria cerâmica o mesmo comportamento discutido para o modelo P01 quanto ao papel do isolamento do piso no desempenho do edifício.

Com relação ao consumo total de energia para o modelo P02 em alvenaria, as intervenções representaram uma redução no consumo de 1.918,49 kWh anuais ou 43,58% para o primeiro modelo com nível A do RTQ-R (IC + Vidro Duplo + IPE1 + IP1). O menor consumo energético foi observado no modelo com IC + Vidro Duplo + IPE2 + IPE2, com uma redução anual em relação ao modelo base de 2118,44 kWh ou 49,71%.

Quadro 54 - Resultados das intervenções no modelo P02 em alvenaria cerâmica.

Estratégia	Consumo total (kWh)	CA (kWh/(m ² .ano))	Dif. Percentual (%)	GHr	Dif. Percentual (%)	EqNumEnv
Base (EP02)	4401,77	284,32	0,00%	5491,55	0,00%	3.2
IC	3089,50	149,83	-47,30%	5603,24	2,03%	3.9
IC + Vidro Duplo	3004,01	143,20	-49,63%	4909,92	-10,59%	4.0
IC + Vidro Duplo + IPE1	2671,62	107,32	-62,25%	2929,41	-46,66%	4.4
IC + Vidro Duplo + IPE2	2411,83	81,62	-71,29%	1786,22	-67,47%	4.4
IC + Vidro Duplo + IPE3	2545,05	94,02	-66,93%	1183,64	-78,45%	4.4

IC + Vidro Duplo + IPE1 + IP1	2482,58	76,44	-73,12%	4809,97	-12,41%	4.6
IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP1	2307,04	53,88	-81,05%	3694,74	-32,72%	4.8
IC + Vidro Duplo + IPE3 + IP1	2321,81	61,11	-78,51%	2597,11	-52,71%	4.8
IC + Vidro Duplo + IPE1 + IP2	2462,54	76,23	-73,19%	4645,95	-15,40%	4.6
IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP2	2283,33	53,48	-81,19%	3574,76	-34,90%	4.8
IC + Vidro Duplo + IPE3 + IP2	2301,39	60,65	-78,67%	2505,66	-54,37%	4.8

Fonte: Autora.

Com base na proposta de mudança da orientação solar para o modelo P02 (Apêndice B), a análise da variação no modelo P02 em alvenaria cerâmica (Quadro 55) destaca que, novamente, quatro cenários com níveis A para CA e GHr foram obtidos, representando uma melhora do nível E para A na condição do consumo para aquecimento, com uma redução de 84,37% no melhor cenário (IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP2 + Orientação).

Quanto ao consumo total de energia, uma redução de 2221,72 kWh ou 50,24% foi identificada na solução com IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP2 + orientação, assim como observado para o modelo P01.

Quadro 55 - Resultados das intervenções na orientação do modelo P02 em alvenaria cerâmica.

Estratégia	Consumo total (kWh)	CA (kWh/(m².ano))	Dif. Percentual (%)	GHr	Dif. Percentual (%)	EqNumEnv
Base (EP02)	4401,77	284,32	0,00%	5491,55	0,00%	3,2
IC + Vidro Duplo + IPE1 + IP1 + Orientação	2320,73	57,79	-79,67%	5021,59	-8,56%	4,8
IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP1 + Orientação	2210,01	45,04	-84,16%	4510,17	-17,87%	5,0
IC + Vidro Duplo + IPE3 + IP1 + Orientação	2233,76	49,69	-82,52%	3786,55	-31,05%	5,0
IC + Vidro Duplo + IPE1 + IP2 + Orientação	2300,23	57,22	-79,88%	4851,59	-11,65%	4,8
IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP2 + Orientação	2190,05	44,44	-84,37%	4343,38	-20,91%	5,0

IC + Vidro Duplo + IPE3 + IP2 + Orientação	2216,29	49,23	-82,69%	3648,40	-33,56%	5,0
--	---------	-------	---------	---------	---------	-----

Fonte: Autora.

4.3.1.3 Estratégias de intervenção para o modelo P03 - Alv. Cerâmica

Já para o modelo base P03 em alvenaria cerâmica (Quadro 56), o consumo em CA foi de 410,67 kWh/m².ano (Nível E), com 7520,51 GHr (Nível A) e um equivalente numérico da envoltória de 3,2 (Nível C).

O nível A para este modelo foi obtido a partir das intervenções na cobertura, aberturas (vidros duplos) e intervenção 2 nas paredes externas, com uma redução de 58,61% para CA (nível C) e uma redução de 68,10% para GHr (Nível A).

Para o atendimento do nível A do RTQ-R, uma redução de 3761,53 kWh ou 38,13% foi identificada no consumo anual total de energia elétrica. A situação com menor consumo, assim como observado para os modelos anteriores, foi a intervenção com IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP2, com 4432,61 kWh ou 44,93% de economia.

Quadro 56 - Resultados das intervenções para o modelo P03 em alvenaria cerâmica.

Estratégia	Consumo total (kWh)	CA (kWh/(m².ano))	Dif. Percentual (%)	GHr	Dif. Percentual (%)	EqNumEnv
Base (EP03)	9864,13	410,67	0,00%	7520,51	0,00%	3,2
IC	7392,60	251,93	-38,65%	6818,07	-9,34%	4,0
IC + Vidro Duplo	7187,11	240,58	-41,42%	5968,15	-20,64%	4,0
IC + Vidro Duplo + IPE1	6591,52	201,00	-51,06%	3702,21	-50,77%	4,2
IC + Vidro Duplo + IPE2	6102,60	169,99	-58,61%	2399,38	-68,10%	4,5
IC + Vidro Duplo + IPE3	6346,42	175,82	-57,19%	1745,95	-76,78%	4,3
IC + Vidro Duplo + IPE1 + IP1	5965,57	140,40	-65,81%	6405,40	-14,83%	4,5
IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP1	5485,66	107,19	-73,90%	5072,31	-32,55%	4,7
IC + Vidro Duplo + IPE3 + IP1	5632,09	119,88	-70,81%	3815,37	-49,27%	4,6
IC + Vidro Duplo + IPE1 + IP2	5919,77	140,25	-65,85%	6131,35	-18,47%	4,5
IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP2	5431,52	106,48	-74,07%	4841,51	-35,62%	4,7
IC + Vidro Duplo + IPE3 + IP2	5583,50	119,21	-70,97%	3636,74	-51,64%	4,6

Fonte: Autora.

O Quadro 57 apresenta os resultados das estratégias otimizadas a partir da proposta de mudança da orientação solar do modelo P03 (Apêndice C). Diferentemente do que foi observado nas estratégias propostas para os modelos P01 e P02, os resultados de CA (condição crítica da análise) se mantiveram no nível B em todos os cenários, de modo que nível A com equivalente numérico de 5,00 não foi alcançado para o modelo P03 em alvenaria.

A complexidade da forma do edifício pode ser entendida como um dos fatores de influência, já que apresenta diversos ambientes de permanência prolongada posicionados para diferentes orientações, dificultando a aplicação das estratégias passivas que poderiam contribuir para uma melhora de desempenho do modelo, em especial para situação de inverno.

De todo modo, a solução com IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP1 + Orientação, possibilitou uma redução de 73,85% no consumo para aquecimento, enquanto a solução IC + Vidro Duplo + IPE3 + IP2 + Orientação, apresentou uma redução de 46,20% no para graus-hora de resfriamento.

Quanto ao consumo total de energia nos modelos orientados, uma redução de 3884,67 kWh ou 39,38% foi observada no primeiro caso de intervenção nível A. Assim como nos demais modelos, a solução com IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP2 + Orientação foi a que apresentou menor consumo energético, representando uma redução de 4415,05 kWh ou 44,75% em relação ao modelo base.

Quadro 57 - Resultados das intervenções na orientação do modelo P03 em alvenaria cerâmica.

Estratégia	Consumo total (kWh)	CA (kWh/(m².ano))	Dif. Percentual (%)	GHr	Dif. Percentual (%)	EqNumEnv
Base (EP03)	9864,13	410,67	0,00%	7520,51	0,00%	3,2
IC + Vidro Duplo + IPE1 + IP1 + Orientação	5979,56	140,77	-65,72%	6779,11	-9,86%	4,5
IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP1 + Orientação	5496,65	107,40	-73,85%	5605,39	-25,47%	4,7
IC + Vidro Duplo + IPE3 + IP1 + Orientação	5648,06	120,22	-70,73%	4246,39	-43,54%	4,6
IC + Vidro Duplo + IPE1 + IP2 + Orientação	5936,66	140,80	-65,71%	6486,64	-13,75%	4,5
IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP2 + Orientação	5449,08	106,94	-73,96%	5341,70	-28,97%	4,6

IC + Vidro Duplo + IPE3 + IP2 + Orientação	5602,33	119,68	-70,86%	4045,98	-46,20%	4,6
--	---------	--------	---------	---------	---------	-----

Fonte: Autora.

4.3.2 Resultados das estratégias de intervenção para os modelos em *Light Steel Framing*

Assim como apresentado na subsecção 4.3.1, a condição dos períodos frios representada pela avaliação do consumo para aquecimento na análise do RTQ-R, foi o ponto crítico para obtenção de melhores níveis de desempenho também nos modelos em LSF. Contudo, a composição já isolada dos fechamentos opacos nos modelos com composição leve implicou na necessidade de avaliar um conjunto menor de intervenções, sendo elas nas aberturas (vidros duplos, assim como avaliado nos modelos em alvenaria), o isolamento do piso (IP1, assim como testado nos modelos em alvenaria) e também a composição da IPE3 para as paredes externas, que utiliza o sistema capoto como estratégia de isolamento externo, substituindo a placa cimentícia.

4.3.2.1 Estratégias de intervenção para o modelo P01 - LSF

O Quadro 58 apresenta os resultados das intervenções para o modelo P01 com composição em LSF, destaca-se que o modelo base com CA de 122,27 kWh/m².ano (Nível C) e 2614,79 GHr (Nível A), atingiu o equivalente numérico da envoltória de 4,12 (Nível B).

O nível A para o modelo foi alcançado a partir das intervenções nas aberturas com a adição de vidros duplos e do isolamento do piso, representando uma redução de 61,09% para CA (Nível B) e um aumento de 31,83% para GHr (mantendo o Nível A), tendo como resultado o equivalente numérico de 4,81 (Nível A).

Outro ponto que cabe discussão sobre as intervenções realizadas neste modelo diz respeito a adição do capoto como isolante externo das paredes externas.

As intervenções do capoto e do vidro duplo representaram uma redução de 27,51% para CA e uma redução de 29,29% para GHr, enquanto a intervenção do vidro duplo representou uma redução de 24,69% para CA e uma redução de 20,81% para GHr, contudo, quando inserida a intervenção do isolamento do piso combinada com o capoto, uma redução de 64,91% para CA e um aumento de 19,88% para GHr foi obtido, indicando que o capoto mostra-se uma estratégia interessante para redução

de ambas as condições de avaliação, enquanto o isolamento do piso auxilia na redução do CA enquanto prejudica a questão dos GHr.

Quando avaliado o modelo P01 com a orientação otimizada (Apêndice A), a inserção do capoto combinada com as demais intervenções representa uma redução de 79,65% para CA e um aumento de 52,75% para GHr, contra uma redução de CA de 76,19% e um aumento nos GHr de 60,71% para o modelo sem o capoto, porém com as demais intervenções. Observa-se assim, que o capoto pode ser considerado uma estratégia interessante para o modelo P01 em LSF, havendo, porém, uma condição de redução das necessidades de climatização no período frio com maior ou menor ônus na condição dos graus-hora para o período quente do ano, de acordo com a orientação solar dos ambientes de permanência prolongada.

Para o consumo total de energia, uma redução de 776,72 kWh ou 39,75% pôde ser observada no primeiro modelo nível A, com intervenções de vidro duplo e piso isolado. A melhor solução em termos de redução do consumo energético total foi com as intervenções de vidro duplo + capoto + piso isolado, com diminuição de 819,30 kWh ou 41,93% do consumo total.

Quadro 58 - Resultados das intervenções do modelo P01 em LSF.

Estratégia	Consumo total (kWh)	CA (kWh/(m².ano))	Dif. Percentual (%)	GHr	Dif. Percentual (%)	EqNumEnv
Base (EP01)	1.953,96	122,27	0,00%	2.614,79	0,00%	4,1
Vidro Duplo	1.644,37	91,84	-24,89%	2.070,63	-20,81%	4,4
Vidro Duplo + Piso isolado	1.177,24	47,57	-61,09%	3.446,96	31,83%	4,8
Vidro Duplo + Piso isolado + Orientação	1.029,11	29,11	-76,19%	4.202,23	60,71%	5,0
Vidro Duplo + Capoto	1.616,30	88,63	-27,51%	1.848,97	-29,29%	4,4
Vidro Duplo + Capoto + Piso isolado	1.134,66	42,90	-64,91%	3.134,66	19,88%	4,8
Vidro Duplo + Capoto + Piso isolado + Orientação	996,00	24,89	-79,65%	3.994,00	52,75%	5,0

Fonte: Autora.

4.3.2.2 Estratégias de intervenção para o modelo P02 – LSF

O Quadro 59 apresenta as estratégias de intervenção para o modelo P02 com composição em LSF. O caso base com CA de 178,63 kWh/m².ano (Nível C) e 2479,50 GHr (Nível A), possui o equivalente numérico da envoltória de 4,12 (Nível B).

A primeira intervenção da adição do vidro duplo na composição das esquadrias já permitiu o atendimento do nível A do RTQ-R, visto que uma redução de 58,52% para o CA e de 6,27% para GHr foi identificada a partir desta intervenção.

Os mesmos comportamentos observados no modelo P01 para as demais soluções de intervenção se repetiram. A adição do isolamento do piso fez com que o CA alcançasse o nível A, com uma redução de 75,81% quando comparado com o modelo base, porém um aumento de 120,73% foi observado nos GHr, embora este tenha se mantido no nível A.

A adição do capoto na composição contribuiu mais uma vez com a redução do CA e do GHr, considerando ou não o isolamento do piso.

Para a orientação otimizada do modelo P02 (Apêndice B), assim como apresentado e discutido para o modelo P01, as condições de CA reduziram em detrimento dos GHr, que aumentaram.

Quanto ao consumo total de energia, uma redução de 809,10 kWh ou 26,41% foi observada a partir da solução com intervenção de vidro duplo nas esquadrias. O melhor cenário em termos de redução do consumo energético foi identificado a partir da consideração de vidro duplo + capoto + piso isolado, com consumo de 954,83 kWh ou 31,16% a menos que o modelo base.

Quadro 59 - Resultados das intervenções do modelo P02 em LSF.

Estratégia	Consumo total (kWh)	CA (kWh/(m².ano))	Dif. Percentual (%)	GHr	Dif. Percentual (%)	EqNumEnv
Base (EP02)	3063,35	178,63	0,00%	2479,50	0,00%	4,1
Vidro Duplo	2254,25	74,09	-58,52%	2324,10	-6,27%	4,7
Vidro Duplo + Piso isolado	2121,54	43,22	-75,81%	5472,93	120,73%	5,0
Vidro Duplo + Piso isolado + Orientação	2091,82	37,09	-79,24%	5883,04	137,27%	5,0
Vidro Duplo + Capoto	2205,38	68,34	-61,74%	1891,65	-23,71%	4,8
Vidro Duplo + Capoto + Piso isolado	2108,52	40,50	-77,33%	4998,33	101,59%	5,0
Vidro Duplo + Capoto + Piso isolado + Orientação	2033,60	35,46	-80,15%	5643,27	127,60%	5,0

Fonte: Autora.

4.3.2.3 Estratégias de intervenção para o modelo P03 – LSF

Para avaliação do modelo P03 em LSF (Quadro 60), observa-se que o caso base com CA de 281,10 kWh/m².ano (Nível C) e 2654.48 Ghr (Nível A), atingiu o nível geral C do RTQ-R, com equivalente numérico da envoltória de 3,90.

O Nível A para o modelo, assim como no modelo P02, foi atingido a partir da inserção do vidro duplo na composição dos fechamentos translúcidos, representando uma redução de 46,81% no CA e um aumento de 5,59% para Ghr.

Como observado nos demais modelos, a inserção do isolamento do piso contribuiu com a redução do CA nos modelos onde foi testado, aumentando, contudo, os Ghr nos mesmos cenários. Um agravante desta situação para o modelo P03 em LSF foi o tamanho do impacto negativo desta intervenção. Embora não responsável pela redução do nível A em todos os cenários, um aumento superior a 160% nos Ghr foi identificado em todas as soluções com esta intervenção, apontando mais uma vez para questão do sobreaquecimento no verão e a dificuldade em ceder este calor para o solo nos períodos quentes do ano.

O capoto mais uma vez se mostrou uma estratégia interessante para mitigar o CA e os impactos causados pelo isolamento no piso nos Ghr, sendo a única estratégia combinada com os vidros duplos que contribuiu para redução dos Ghr iniciais (12,59%).

No que diz respeito a otimização da orientação solar (Apêndice C), assim como apontado para o modelo P03 em alvenaria, a estratégia proposta não reduziu o consumo para aquecimento nem o número de graus-hora. Contudo, uma redução de 70,11% no CA foi identificada no modelo que combina todas as estratégias de intervenção para o LSF, embora menor que a redução de 70,32% identificada na solução com as mesmas intervenções, porém sem a variação da orientação.

O consumo total de energia foi reduzido em 1623,17 kWh ou 22,80% a partir da intervenção de vidros duplos nos fechamentos translúcidos, atingindo neste cenário de avaliação o nível A do RTQ-R. A melhor condição avaliada no que diz respeito a redução do consumo energético em relação ao modelo base foi identificada, assim como no caso dos modelos P01 e P02 em LSF, nas intervenções de vidro duplo + capoto + piso isolado, representando uma redução de 2404,97 kWh ou 33,78%.

Quadro 60 - Resultados das intervenções do modelo P03 em LSF.

Estratégia	Consumo total (kWh)	CA (kWh/(m².ano))	Dif. Percentual (%)	GHr	Dif. Percentual (%)	EqNumEnv
Base (EP03)	7119,08	281,10	0,00%	2654,48	0,00%	3,9
Vidro Duplo	5495,91	149,51	-46,81%	2802,86	5,59%	4,5
Vidro Duplo + Piso isolado	4771,92	92,84	-66,97%	7597,22	186,20%	4,9
Vidro Duplo + Piso isolado + Orientação	4750,21	87,72	-68,79%	8170,34	207,79%	4,8
Vidro Duplo + Capoto	5389,92	131,36	-53,27%	2320,16	-12,59%	4,6
Vidro Duplo + Capoto + Piso isolado	4714,11	83,43	-70,32%	7019,72	164,45%	4,9
Vidro Duplo + Capoto + Piso isolado + Orientação	4732,63	84,01	-70,11%	7638,76	187,77%	4,9

Fonte: Autora.

4.4 Resultados dos custos das intervenções, *payback* e análise custo-benefício

4.4.1 Análise dos custos das intervenções

Inicialmente, serão apresentados os resultados parciais de cada intervenção em cada sistema construtivo até que se atinja o nível A de eficiência energética. Posteriormente, serão comparados os valores finais de cada sistema construtivo para obter o desempenho desejado.

4.4.1.1 Custos das intervenções em alvenaria cerâmica

Com base no levantamento quantitativo e de insumos realizados com base no SINAPI, a Tabela 13 apresenta o custo do modelo base P01 e suas intervenções.

Tabela 13 – Custo das intervenções para o Modelo P01 em alv. cerâmica.

Intervenção	Custo (R\$)
Modelo base (EP01)	R\$ 35.447,68
IC	R\$ 2.385,84
IPE1	R\$ 793,25
IPE2	R\$ 1.557,29
IPE3	R\$ 2.107,04
Esq. com vidros duplos	R\$ 7.775,69
Isolamento do piso	R\$ 4.101,73

Fonte: Autora.

Já o Quadro 61, mostra os custos somados das intervenções com base nas soluções testadas por simulação de acordo com o RTQ-R. Nela é possível identificar que um acréscimo de 42,48% no custo inicial com a envoltória do modelo P01 é necessário para o atendimento do nível A do regulamento.

Quadro 61 - Custos das intervenções somadas para o Modelo P01 em alv. cerâmica.

Solução	Consumo total (kWh)	EqNumEnv	Custo (R\$)	Dif. percentual (%)
Base (EP01)	2569,81	3,7	R\$ 35.447,68	0,00%
CI	2035,69	4,1	R\$ 37.833,52	6,73%
CI + Vidro Duplo	1970,98	4,1	R\$ 45.609,21	28,67%
IC + Vidro Duplo + IPE1	1812,19	4,1	R\$ 46.402,46	30,90%
IC + Vidro Duplo + IPE2	1690,76	4,3	R\$ 47.166,5	33,06%
IC + Vidro Duplo + IPE3	1773,43	4,1	R\$ 47.716,25	34,61%
IC + Vidro Duplo + IPE1 + IP1	1473,03	4,6	R\$ 50.504,19	42,48%
IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP1	1295,22	4,6	R\$ 51.268,23	44,63%
IC + Vidro Duplo + IPE3 + IP1	1370,42	4,6	R\$ 51.817,98	46,18%
IC + Vidro Duplo + IPE1 + IP2	1462,55	4,6	R\$ 50.504,19	42,48%
IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP2	1285,43	4,6	R\$ 51.268,23	44,63%
IC + Vidro Duplo + IPE3 + IP2	1359,96	4,6	R\$ 51.817,98	46,18%

Fonte: Autora.

A Tabela 14, por sua vez, apresenta os custos das intervenções para o modelo P02 em alvenaria cerâmica.

Tabela 14 – Custo das intervenções para o Modelo P02 em alv. cerâmica.

Intervenção	Custo (R\$)
Modelo base (EP02)	R\$ 77.510,53
IC	R\$ 5.601,65
IPE1	R\$ 2.139,84
IPE2	R\$ 4.200,87
IPE3	R\$ 5.683,87
Esq. com vidros duplos	R\$ 11.116,00
Isolamento do piso	R\$ 6.525,30

Fonte: Autora.

No Quadro 62, observa-se os custos das intervenções somados para o modelo P02 em alvenaria. Para o atendimento do nível A, obtido através do modelo com intervenções na cobertura, vidro duplo, IPE1 e IP1, um acréscimo de 25,52% no orçamento inicial precisa ser considerado.

Quadro 62 - Custos das intervenções somadas para o Modelo P02 em alv. cerâmica.

Solução	Consumo total (kWh)	EqNumEnv	Custo (R\$)	Dif. percentual (%)
Base (EP02)	4401,77	3,2	R\$ 77.510,53	0,00%
CI	3089,50	3,9	R\$ 83.112,18	7,23%
CI + Vidro Duplo	3004,01	4,0	R\$ 94.228,18	21,57%
IC + Vidro Duplo + IPE1	2671,62	4,4	R\$ 90.766,37	17,10%
IC + Vidro Duplo + IPE2	2411,83	4,4	R\$ 92.827,41	19,76%
IC + Vidro Duplo + IPE3	2545,05	4,4	R\$ 94.310,40	21,67%
IC + Vidro Duplo + IPE1 + IP1	2482,58	4,6	R\$ 97.291,67	25,52%
IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP1	2307,04	4,8	R\$ 99.352,72	28,18%
IC + Vidro Duplo + IPE3 + IP1	2321,81	4,8	R\$ 100.835,78	30,09%
IC + Vidro Duplo + IPE1 + IP2	2462,54	4,6	R\$ 97.291,67	25,52%
IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP2	2283,33	4,8	R\$ 99.352,72	28,18%
IC + Vidro Duplo + IPE3 + IP2	2301,39	4,8	R\$ 100.835,78	30,09%

Fonte: Autora.

A Tabela 15, apresenta os custos das intervenções para o modelo P03 em alvenaria cerâmica.

Tabela 15 – Custo das intervenções para o Modelo P03 em alv. cerâmica.

Intervenção	Custo (R\$)
Modelo base (EP03)	R\$ 166.373,01
IC	R\$ 8.815,39
IPE1	R\$ 4.934,11
IPE2	R\$ 9.686,48
IPE3	R\$ 13.106,03
Esq. com vidros duplos	R\$ 41.842,20
Isolamento do piso	R\$ 14.652,13

Fonte: Autora.

O Quadro 63 mostra os custos das intervenções somados para o modelo P03 em alvenaria cerâmica. Para este modelo um acréscimo de 30,97% no custo inicial foi necessário para o atendimento do nível A do RTQ-R.

Quadro 63 - Custos das intervenções somadas para o Modelo P03 em alv. cerâmica.

Solução	Consumo total (kWh)	EqNumEnv	Custo (R\$)	Dif. percentual (%)
Base (EP03)	9864,13	3,2	R\$ 166.373,01	0,00%
CI	7392,60	4,0	R\$ 175.188,4	5,30%
CI + Vidro Duplo	7187,11	4,0	R\$ 217.030,6	30,45%
IC + Vidro Duplo + IPE1	6591,52	4,2	R\$ 213.149,32	28,12%
IC + Vidro Duplo + IPE2	6102,60	4,5	R\$ 217.901,69	30,97%
IC + Vidro Duplo + IPE3	6346,42	4,3	R\$ 221.321,24	33,03%

IC + Vidro Duplo + IPE1 + IP1	5965,57	4,5	R\$ 227.801,45	36,92%
IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP1	5485,66	4,7	R\$ 232.553,82	39,78%
IC + Vidro Duplo + IPE3 + IP1	5632,09	4,6	R\$ 235.973,37	41,83%
IC + Vidro Duplo + IPE1 + IP2	5919,77	4,5	R\$ 227.810,45	36,93%
IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP2	5431,52	4,7	R\$ 232.562,82	39,78%
IC + Vidro Duplo + IPE3 + IP2	5583,50	4,6	R\$ 235.982,37	41,84%

Fonte: Autora.

A partir dos Quadros 60, 62 e 63, percebe-se que o modelo P01 é o que carece de um maior investimento percentual para o atendimento do nível A do RTQ-R (42,48%), muito em função das condições projetuais comentadas anteriormente ao longo do capítulo de resultados, a demasiada condição de exposição dos fechamentos às condições externas nos ambientes de permanência prolongada implica em uma maior dificuldade na obtenção e manutenção das melhores condições internas. O modelo P02 foi o que apresentou o menor investimento percentual acrescido (25,52%). O Modelo P03, por sua vez, apresentou um acréscimo percentual entre as outras duas soluções (30,97%). Cabe destacar que o elevado custo para implantação das esquadrias em vidro duplo no modelo P03 encareceram o projeto no sentido de obtenção do nível A do regulamento.

4.4.1.2 Custos das intervenções em *light steel framing*

A Tabela 16 mostra os custos do modelo base e das intervenções realizadas no modelo P01 com composição em LSF.

Tabela 16 – Custo das intervenções para o Modelo P01 em LSF.

Intervenção	Custo (R\$)
Modelo base (EP01)	R\$ 47.231,84
IPE3 (Capoto)	R\$ 2.107,05
Esq. com vidros duplos	R\$ 7.775,69
Isolamento do piso	R\$ 2.703,81

Fonte: Autora.

Já no Quadro 64, percebe-se que um investimento de 22,19% além do orçado inicialmente para o modelo base é necessário para o atendimento do nível A do RTQ-R no modelo em LSF. A inserção de esquadrias com vidros duplos e a adição de um maior nível de isolamento térmico no piso são as condições necessárias para o cumprimento.

Quadro 64 - Custos das intervenções somadas para o Modelo P01 em LSF.

Solução	Consumo total (kWh)	EqNumEnv	Custo (R\$)	Dif. percentual (%)
Base (EP01)	1.953,96	4,1	R\$ 47.231,84	0,00%
Vidro Duplo	1.644,37	4,4	R\$ 55.007,53	16,46%
Vidro Duplo + Piso isolado	1.177,24	4,8	R\$ 57.711,34	22,19%
Vidro Duplo + Capoto	1.616,30	4,4	R\$ 57.114,58	20,92%
Vidro Duplo + Capoto + Piso isolado	1.134,66	4,8	R\$ 59.818,39	26,65%

Fonte: Autora.

A Tabela 17 apresenta os custos das intervenções para o modelo P02 composto em LSF.

Tabela 17 – Custo das intervenções para o Modelo P02 em LSF.

Intervenção	Custo (R\$)
Modelo base (EP02)	R\$ 93.739,10
IPE3 (Capoto)	R\$ 5.683,87
Esq. com vidros duplos	R\$ 11.116,00
Isolamento do piso	R\$ 3.178,84

Fonte: Autora.

Com relação aos custos somados das intervenções para este modelo (Quadro 65), um acréscimo de 11,86% é necessário para que seja obtido o nível A do regulamento, sendo apenas a inserção das esquadrias de vidro duplo responsáveis por garantir o nível máximo do RTQ-R.

Quadro 65 - Custos das intervenções somadas para o Modelo P02 em LSF.

Solução	Consumo total (kWh)	EqNumEnv	Custo (R\$)	Dif. percentual (%)
Base (EP02)	3063,35	4,1	R\$ 93.739,10	0,00%
Vidro Duplo	2254,25	4,7	R\$ 104.855,10	11,86%
Vidro Duplo + Piso isolado	2121,54	5,0	R\$ 108.033,94	15,25%
Vidro Duplo + Capoto	2205,38	4,8	R\$ 110.538,97	17,92%
Vidro Duplo + Capoto + Piso isolado	2108,52	5,0	R\$ 113.717,81	21,31%

Fonte: Autora.

Para o modelo P03 com composição em LSF, a Tabela 18 apresenta os custos do modelo base e das intervenções realizadas.

Tabela 18 – Custo das intervenções para o Modelo P03 em LSF.

Intervenção	Custo (R\$)
Modelo base (EP03)	R\$ 186.928,82
IPE3 (Capoto)	R\$ 13.106,04
Esq. com vidros duplos	R\$ 41.842,20
Isolamento do piso	R\$ 7.137,88

Fonte: Autora.

Para avaliação das intervenções somadas neste modelo (Quadro 66), observa-se que, assim como visto no modelo P02 em LSF, apenas a intervenção do vidro duplo nas esquadrias já é suficiente para o atendimento do nível A do RTQ-R, sendo esta intervenção responsável por um acréscimo de 9,66% no orçamento inicial do modelo. Quadro 66 - Custos das intervenções somadas para o Modelo P03 em LSF.

Solução	Consumo total (kWh)	EqNumEnv	Custo (R\$)	Dif. percentual (%)
Base (EP03)	7119,08	3,9	R\$ 186.928,82	0,00%
Vidro Duplo	5495,91	4,5	R\$ 228.771,02	9,66%
Vidro Duplo + Piso isolado	4771,92	4,9	R\$ 235.908,90	13,48%
Vidro Duplo + Capoto	5389,92	4,6	R\$ 241.877,06	16,67%
Vidro Duplo + Capoto + Piso isolado	4714,11	4,9	R\$ 249.014,94	20,49%

Fonte: Autora.

4.4.2 Análise de *Payback*

4.4.2.1 *Payback* descontado do Modelo P01 – Convencional

A partir dos dados apresentados na Tabela 19, é preciso apontar que não existe amortização total neste modelo, ou seja, o investimento não retorna por completo dentro da vida útil estimada de uma edificação residencial. Contudo, considerando o reajuste médio de energia dos últimos 5 anos e a inflação de 2020, o modelo P01 com intervenções na cobertura, vidros duplos nas aberturas, intervenção nas paredes externas 1 e intervenção do piso 1 (primeira solução nível A), carece do período de 31 anos para reaver o investimento realizado em função das intervenções, com um investimento inicial de R\$ 50.504,19 após as intervenções.

Tabela 19 – Análise de *payback* para o Modelo P01 nível A em alv. cerâmica.

Ano(s)	Fluxo (R\$)	Fluxo descontado (R\$)	Saldo (R\$)
0	-	-	- 50.504,19
5	138,13	122,45	- 49.996,18
10	254,50	199,98	- 49.166,50
15	468,90	326,61	- 47.811,44
20	863,91	533,43	- 45.598,33
25	1591,70	871,21	- 41.983,84
30	2932,61	1.422,88	- 36.080,59
31	3313,85	1.569,55	- 34.511,04

Fonte: Autora.

Já para o modelo P01 com menor consumo total de energia na composição convencional (Tabela 20), também não há amortização completa do investimento,

sendo necessário o período de 30 anos nas mesmas condições discutidas acima, para que o modelo com CI + Vidro Duplo + IPE2 + IP2, consiga reaver o investimento realizado a partir das intervenções, considerando a economia com a energia elétrica, considerando também um investimento inicial de R\$ 51.268,23 após as intervenções. Tabela 20 – Análise de *payback* para o Modelo P01 com menor consumo de energia em alv. cerâmica.

Ano(s)	Fluxo (R\$)	Fluxo descontado (R\$)	Saldo (R\$)
0	-	-	- 51.268,23
5	163,60	145,02	- 50.666,55
10	301,43	236,86	- 49.683,88
15	555,36	386,84	- 48.078,95
20	1023,21	631,79	- 45.457,76
25	1885,20	1.031,86	- 41.176,78
30	3473,37	1.685,25	- 34.185,01

Fonte: Autora.

4.4.2.2 *Payback* do Modelo P02 - Convencional

De acordo com a Tabela 21, um período de 26 anos é necessário para compensar o investimento através da economia de energia para o modelo P02 em alv. cerâmica nível A com CI + Vidro Duplo + IPE1 + IP1, com um investimento inicial de R\$ 97.291,67 após as intervenções.

Tabela 21 – Análise de *payback* para o Modelo P02 nível A em alv. cerâmica.

Ano(s)	Fluxo (R\$)	Fluxo descontado (R\$)	Saldo (R\$)
0	-	-	- 97.291,67
5	311,83	276,42	- 96.144,84
10	574,53	451,46	- 94.271,82
15	1058,54	737,33	- 91.212,77
20	1950,29	1204,22	- 86.216,67
25	3593,28	1966,76	- 78.056,94
26	4060,40	2169,50	- 75.887,44

Fonte: Autora.

Assim como na Tabela 21, a Tabela 22 mostra que um período de 26 anos também é necessário para a compensação do investimento realizado através das intervenções no modelo P02 com menor consumo energético total (CI + Vidro Duplo + IPE2 + IP2), com um investimento inicial de R\$ 99.361,70 após as intervenções.

Tabela 22 – Análise de *payback* para o Modelo P02 com menor consumo de energia em alv. cerâmica.

Ano(s)	Fluxo (R\$)	Fluxo descontado (R\$)	Saldo (R\$)
0	-	-	- 99.361,70
5	346,27	306,95	- 98.088,21
10	637,99	501,32	- 96.008,32
15	1175,45	818,77	- 92.611,41
20	2165,69	1337,23	- 87.063,51
25	3990,14	2183,98	- 78.002,57
26	4508,86	2409,12	- 75.593,45

Fonte: Autora.

4.4.2.3 *Payback* do Modelo P03 - Convencional

Para o modelo P03 convencional, o período necessário para compensação do investimento realizado por intermédio das intervenções para atingir o Nível A (CI + Vidro Duplo + IPE2) foi de 34 anos, considerando um investimento inicial após as intervenções de R\$ 217.901,69, como mostra a Tabela 23.

Tabela 23 – Análise de *payback* para o Modelo P03 nível A em alv. cerâmica.

Ano(s)	Fluxo (R\$)	Fluxo descontado (R\$)	Saldo (R\$)
0	-	-	- 217.901,69
5	361,03	320,04	- 216.573,92
10	665,18	522,69	- 214.405,38
15	1225,55	853,67	- 210.863,68
20	2258,00	1394,22	- 205.079,32
25	4160,21	2277,07	- 195.632,18
30	7664,92	3718,95	- 180.202,94
34	12497,45	5506,25	- 161.077,48

Fonte: Autora.

O mesmo período de 34 anos foi necessário para a compensação no modelo P03 com menor consumo de energia (CI + Vidro Duplo + IPE2 + IP2), com investimento inicial de R\$ 232.562,82 após as intervenções, como mostra a Tabela 24.

Tabela 24 – Análise de *payback* para o Modelo P03 com menor consumo de energia em alv. cerâmica.

Ano(s)	Fluxo (R\$)	Fluxo descontado (R\$)	Saldo (R\$)
0	-	-	- 232.562,82
5	456,29	404,48	- 230.884,72

10	840,69	660,60	- 228.144,01
15	1548,91	1078,91	- 223.667,82
20	2853,77	1762,09	- 216.357,24
25	5257,89	2877,88	- 204.417,46
30	9687,32	4700,20	- 184.917,19
34	15794,93	6959,09	- 160.745,44

Fonte: Autora.

4.4.2.4 Payback do Modelo P01 – LSF

Para o modelo P01 com composição em LSF, 29 anos foram necessários para recuperar o investimento realizado por meio das intervenções necessárias para o atendimento do nível A do RTQ-R (Tabela 25).

Tabela 25 – Análise de *payback* para o Modelo P01 nível A em LSF.

Ano(s)	Fluxo (R\$)	Fluxo descontado (R\$)	Saldo (R\$)
0	-	-	- 57.711,34
5	112,05	99,33	- 57.299,24
10	206,45	162,23	-56.626,20
15	380,37	264,95	-55.526,98
20	700,81	432,72	-53.731,70
25	1291,19	706,73	-50.799,62
29	2105,26	1046,37	-47.165,13

Fonte: Autora.

Para o modelo P01 em LSF com menor CA (Tabela 26), 31 anos foram necessários para reaver os investimentos realizados.

Tabela 26 – Análise de *payback* para o Modelo P01 com menor consumo de energia em LSF.

Ano(s)	Fluxo (R\$)	Fluxo descontado (R\$)	Saldo (R\$)
0	-	-	- 59.818,39
5	119,05	105,53	- 59.380,56
10	219,34	172,36	- 58.665,48
15	404,12	281,50	- 57.497,61
20	744,57	459,74	- 55.590,22
25	1371,83	750,86	- 52.475,03
30	2527,50	1226,32	- 47.387,24
31	2856,08	1352,74	- 46.034,50

Fonte: Autora.

4.4.2.5 Payback do Modelo P02 - LSF

O Modelo P02 em LSF (Tabela 27), por sua vez, apresenta um período de 27 anos como necessário para reaver os custos investidos nas intervenções.

Tabela 27 – Análise de *payback* para o Modelo P02 nível A em LSF.

Ano(s)	Fluxo (R\$)	Fluxo descontado (R\$)	Saldo (R\$)
0	-	-	- 104.855,10
5	156,80	139,00	- 104.278,42
10	288,90	227,01	- 103.336,58
15	532,28	370,76	- 101.798,35
20	980,69	605,54	- 99.286,09
25	1806,86	988,98	- 95.183,00
27	2307,18	1203,38	- 92.888,69

Fonte: Autora.

O Modelo P02 com menor consumo de energia e composição em LSF (Tabela 28), necessitou de 30 anos para reaver o investimento realizado para obtenção da condição de menor consumo para aquecimento

Tabela 28 – Análise de *payback* para o Modelo P02 com menor consumo de energia em LSF.

Ano(s)	Fluxo (R\$)	Fluxo descontado (R\$)	Saldo (R\$)
0	-	-	- 113.717,81
5	207,20	183,67	- 112.955,79
10	381,75	299,98	- 111.711,23
15	703,36	489,93	- 109.678,61
20	1295,89	800,16	- 106.358,89
25	2387,60	1306,84	- 100.937,05
29	4399,00	2134,35	- 92.082,02

Fonte: Autora.

4.4.2.6 Payback do Modelo P03 - LSF

As condições de *payback* avaliadas na Tabela 29 para o modelo P03 em LSF com Nível A de acordo com o RTQ-R, aponta que 37 anos da economia de energia gerada são necessários para reaver o investimento inicial.

Tabela 29 – Análise de *payback* para o Modelo P03 nível A em LSF.

Ano(s)	Fluxo (R\$)	Fluxo descontado (R\$)	Saldo (R\$)
0	-	-	- 228.771,02
5	197,39	174,98	- 228.045,08
10	363,68	285,77	- 226.859,46

15	670,05	466,73	- 224.923,08
20	1234,53	762,27	- 221.760,56
25	2274,54	1244,96	- 216.595,46
30	4190,70	2033,29	- 208.159,72
25	7721,09	3320,81	- 194.382,32
37	9859,05	4040,74	- 186.678,45

Fonte: Autora.

Por fim, para o modelo P03 em LSF com menor consumo de energia (Tabela 30), assim como observado para o modelo nível A com a mesma composição, 37 anos de economia de energia foram necessários para compensar os investimentos provenientes das intervenções.

Tabela 30 – Análise de *payback* para o Modelo P03 com menor consumo de energia em LSF.

Ano(s)	Fluxo (R\$)	Fluxo descontado (R\$)	Saldo (R\$)
0	-	-	- 249.014,94
5	296,52	262,85	- 247.924,44
10	546,31	429,28	- 246.143,42
15	1006,54	701,12	- 243.234,63
20	1854,49	1.145,07	- 238.483,92
25	3416,78	1.870,16	- 230.724,99
30	6295,20	3.054,38	- 218.052,95
25	11598,50	4.988,46	- 197.356,74
37	14810,12	6.069,94	- 185.784,10

Fonte: Autora.

4.4.3 Análise custo-benefício

Para realização da análise custo-benefício foram considerados os três modelos (P01, P02 e P03) para os sistemas construtivos, avaliando desta forma os impactos dos aspectos térmicos, energéticos e orçamentários discutidos ao longo do capítulo de resultados.

4.4.3.1 Custo-benefício para o modelo P01

Para o modelo P01 e P01A, avaliados de acordo com a NBR 15.575 e o RTQ-R para os dois sistemas construtivos considerados pelo presente trabalho, o atendimento mínimo ou não atendimento no período do dia típico de verão da norma de desempenho 15.575, atrelado as elevadas demandas energéticas relacionadas ao

consumo para aquecimento do RTQ-R destacam as limitações do modelo na composição em alvenaria cerâmica. Comportamento este que é mitigado nas avaliações dos mesmos cenários para composições em LSF, salientando a importância dos aspectos que distinguem as duas soluções construtivas, em especial na ótica do melhor nível de isolamento térmico dos fechamentos opacos nos modelos em LSF.

Esta condição, todavia, representa uma diferença de R\$ 11.784,16 entre as composições base dos dois modelos P01 intervindos. Para além, considerando os aspectos de custos das intervenções, um acréscimo de 42,48% na composição inicial é necessário no modelo convencional para o atendimento do nível A, resultando em um custo dos itens orçados de R\$ 50.504,19. Para o modelo com composição em LSF, uma diferença de 22,19% para composição inicial precisa ser acrescida, representando um custo orçado em R\$ 57.711,34, ou seja, uma diferença de R\$ 7.207,15 é observada entre as duas soluções.

Desta forma, podem ser discutidos aspectos que indicam um custo final menor para o atendimento do Nível A para o modelo convencional, embora este apresente um maior custo de intervenção, superior a 20% quando comparado com o modelo em LSF.

Para os dados da análise de payback entre os modelos P01, um período de 29 anos foi necessário para reaver os investimentos realizado nos modelos nível A em alvenaria cerâmica e LSF, sendo este um ponto entre as soluções que não permite inferências a respeito do retorno financeiro.

Quanto ao consumo de energia dos modelos P01, a Figura 14 mostra a relação entre os custos dos modelos P01 para solução base e nível A do RTQ-R e os consumos totais de energia destes cenários de avaliação. Dos apontamentos possíveis a partir do estabelecimento da relação entre o custo e o consumo dos modelos P01 analisados, as estratégias de intervenção para o modelo em alvenaria implicaram em uma redução de 42,67% no consumo de energia com o acréscimo de R\$ 15.056,51 em relação ao modelo P01 base em alvenaria. Já para os modelos em LSF, uma redução de 39,75% no consumo de energia foi obtida a partir do acréscimo de R\$ 10.479,5. Desta forma, o modelo em alvenaria, embora apresente custos menores para composição do caso base, necessita de intervenções 30,40% mais caras que o modelo LSF para atingir o nível A do RTQ-R, com destaque também para

diferença de consumo entre as duas estratégias neste nível, onde o modelo em LSF consome 295,79 kWh por ano a menos que o modelo em alvenaria.

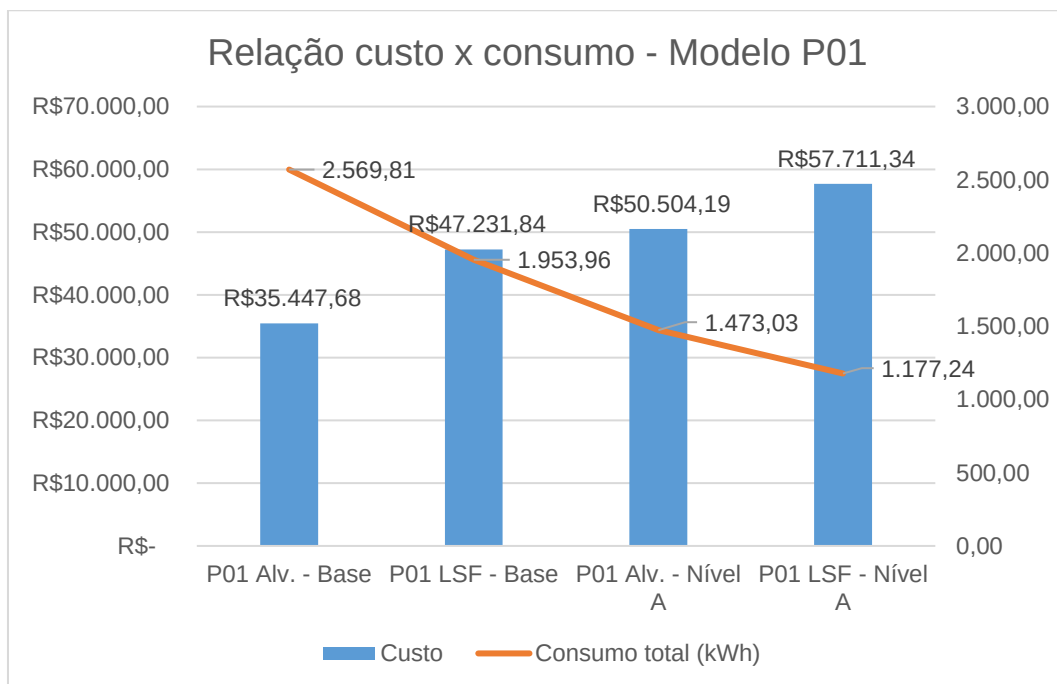


Figura 14 – Relação entre o custo e o consumo de energia para os modelos P01
Fonte: Autora.

4.4.3.2 Custo-benefício para o modelo P02

Para os modelos P02 e P02A, as condições de atendimento para os períodos frios de acordo com a norma de desempenho indicam atendimento em todos os ambientes de permanência prolongada nas duas soluções, sendo os níveis mínimo e intermediário obtidos no modelo em alvenaria e intermediário e superior no modelo em LSF, para análise do RTQ-R, contudo, observa-se que, assim como visto nos modelos P01, a condição dos períodos frios, avaliada através do consumo para aquecimento no referido regulamento, apresenta condições níveis C, D e E para os mesmos ambientes, destacando assim como apontado por Soares (2014) a limitação da norma de desempenho para avaliação de condições de edificações em climas frios. Para condição dos períodos quentes, em ambos os modelos os graus-hora de resfriamento se mantiveram no nível A.

Assim como visto no modelo P01, as estratégias em LSF nas condições críticas de avaliação apresentaram resultados melhores do que os modelos em alvenaria.

A diferença dos custos orçados para as duas composições, contudo, foi de R\$ 16.228,57, sendo o modelo em LSF o que apresentou o maior custo para sua composição inicial.

Considerando as condições necessárias para o atendimento do nível A, um acréscimo de 25,52% foi necessário para o modelo P02 convencional, enquanto o modelo P02 em LSF necessitou de acréscimo de 11,86% no orçamento inicial para atingir o nível máximo do RTQ-R. Este cenário representa uma diferença de R\$ 7.563,43 entre as soluções.

Mais uma vez, o modelo em alvenaria foi o que apresentou menores custos gerais nas condições de atendimento do nível A do RTQ-R, embora com percentuais maiores atrelados às suas necessidades de intervenção.

Para análise do tempo de retorno, 26 anos foram necessários para reaver os investimentos com as intervenções do modelo P02 em alvenaria cerâmica, contra 27 anos do modelo em LSF.

A Figura 15 apresenta a relação entre custo e consumo para os modelos P02. Assim como visto na Figura 14, para os modelos P01, ainda que o modelo P02 em alvenaria apresente um custo inicial menor que o mesmo modelo em LSF, as estratégias de intervenção apontam para custos percentuais maiores para o atendimento do nível A do RTQ-R, de modo que um custo de 25,52% em relação ao projeto inicial precisa ser acrescido, contra 11,85% para o modelo em LSF. Da mesma forma que observado anteriormente, o consumo total de energia dos modelos LSF é inferior, sendo mesmo nos casos onde os dois sistemas atingem o nível A 228,33 kWh por ano menor.

As intervenções na cobertura e vidros duplos nas aberturas, que aproximam o desempenho de CA e GHr nos dois sistemas, resulta em um custo de R\$ 489,08 reais a mais para o modelo P02 convencional em relação ao modelo P02 em LSF. Desta forma, percebe-se que modelo P02 para em alvenaria cerâmica necessita de um investimento maior do que o LSF para obtenção de um nível de desempenho semelhante.

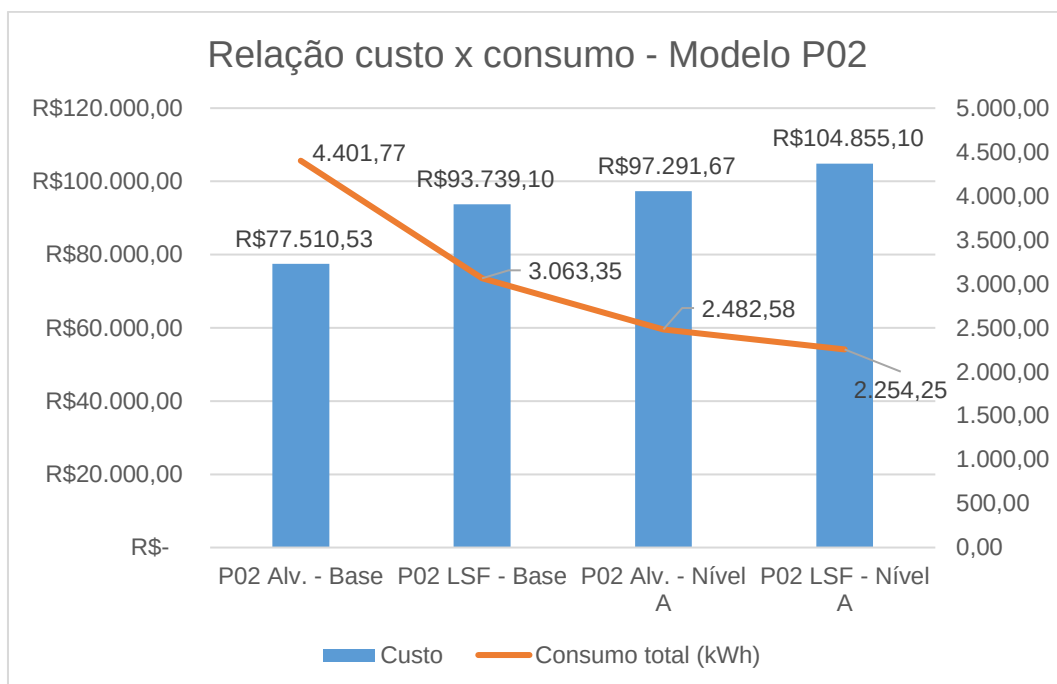


Figura 15 – Relação entre o custo e o consumo de energia para os modelos P02
Fonte: Autora.

4.4.3.3 Custo-benefício para o modelo P03

Para os modelos P03 e P03A, a já discutida complexidade na forma para disposição dos ambientes de permanência prolongada provoca uma discussão interessante com relação as vantagens das duas estratégias construtivas.

Para análise da norma de desempenho NBR 15.575, mais uma vez, os modelos em LSF apresentaram condições de atendimento melhores no que diz respeito as temperaturas internas nos dias típicos de verão e inverno. Já para o RTQ-R, o mesmo comportamento foi observado, acrescido da já discutida condição do consumo para aquecimento, que se mostrou um ponto crítico para os modelos em alvenaria que atingiram apenas os níveis D e E em todos os cenários. Para os modelos em LSF, os níveis C e D foram obtidos nas soluções. Este cenário reforça a discussão sobre a fragilidade da NBR 15.575 na avaliação das condições frias apontada no item anterior. Novamente, as soluções LSF embora com melhor desempenho, apresentaram custos maiores nos seus modelos iniciais quando comparadas com os modelos P03 convencionais. R\$ 186.928,82 contra R\$ 166.373,01 do modelo em alvenaria. Aqui cabe salientar que a diferença entre as soluções considerando a proporção do empreendimento é a menor entre os três modelos estudados.

Para avaliação das condições de intervenção, um acréscimo de 30,97% é necessário para o atendimento do nível A no modelo P03 convencional, resultando em um custo de R\$ 217.901,69. Para o modelo em LSF, um acréscimo de 9,66% é necessário para o atendimento das condições em Nível A, resultando em um custo total de R\$ 228.771,02 para o modelo em LSF, uma diferença de R\$ 10.869,33 ou 4,75% do custo total orçado.

Para avaliação do *payback* nas duas soluções, os períodos para o retorno do investimento de 34 anos para alvenaria cerâmica e 37 anos para LSF foram obtidos, sendo os maiores entre as três soluções testadas.

Assim como visto nas Figuras 14 e 15, a relação entre custo e consumo dos modelos P03, apresentada na Figura 16, destaca o mesmo comportamento visto nos modelos P01 e P02. Ainda que o modelo base P03 em alvenaria apresente um custo inicial menor que o mesmo modelo em LSF, além do consumo energético menor do LSF em relação ao modelo convencional, existe uma diferença de custo de R\$ 9.686,48 a mais para o modelo convencional em relação LSF nas intervenções necessárias para o atendimento do nível A do RTQ-R.

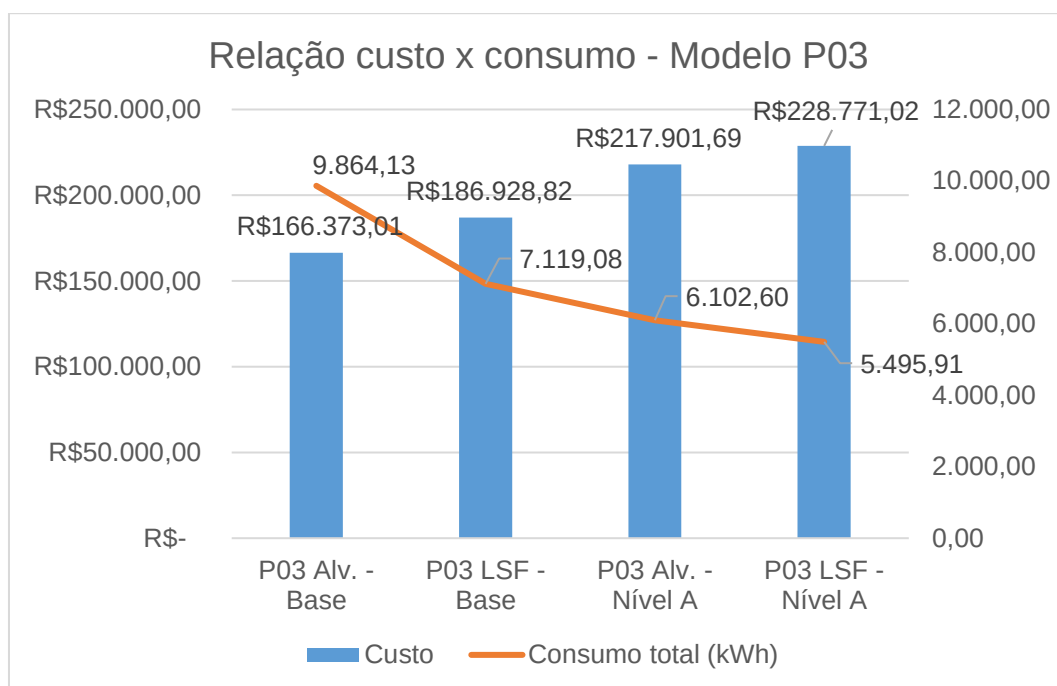


Figura 16 – Relação entre o custo e o consumo de energia para os modelos P03
Fonte: Autora.

4.4.3.4 Discussão geral sobre a análise custo-benefício

A partir das discussões promovidas nas subseções acima, percebe-se a viabilidade dos dois sistemas construtivos tanto no aspecto do desempenho térmico quando nos custos de suas implantações.

Os modelos em alvenaria cerâmica convencional, caracterizados pelo estudo como edificações de menor custo (embora com menor desempenho em suas composições iniciais), alcançam uma melhor relação custo-benefício nas condições nível A após as estratégias de intervenção. Todavia, os modelos em LSF, sobretudo em produtos edifícios maiores (P02 e P03), apresenta desde a sua composição inicial melhores níveis de desempenho, embora com um custo maior.

A relação custo-benefício, portanto, está diretamente relacionada com as premissas e objetivos do empreendimento a ser construído. Um número menor de intervenções é necessário para melhorar o desempenho satisfatório para os regulamentos do LSF, entretanto, com um custo menor, é possível bons níveis de desempenho nos modelos convencionais a partir de uma série de intervenções.

A Figura 17 aponta o comportamento dos três modelos analisados relacionando os consumos de energia e os custos atrelados aos modelos base e nível A do RTQ-R. A partir dela é possível evidenciar os pontos discutidos ao longo da avaliação custo-benefício, de modo que no que tange o desempenho das edificações avaliadas, em geral, as soluções em LSF apresentaram consumos energéticos menores. Contudo, os modelos em alvenaria cerâmica apresentam custos menores em seus empreendimentos, sendo estes custos menores também nas estratégias de intervenção. Todavia, as relações de custo x desempenho entre as duas estratégias se aproxima quando se busca resultados semelhantes em uma das duas condições, assim como visto nas discussões das subseções anteriores.

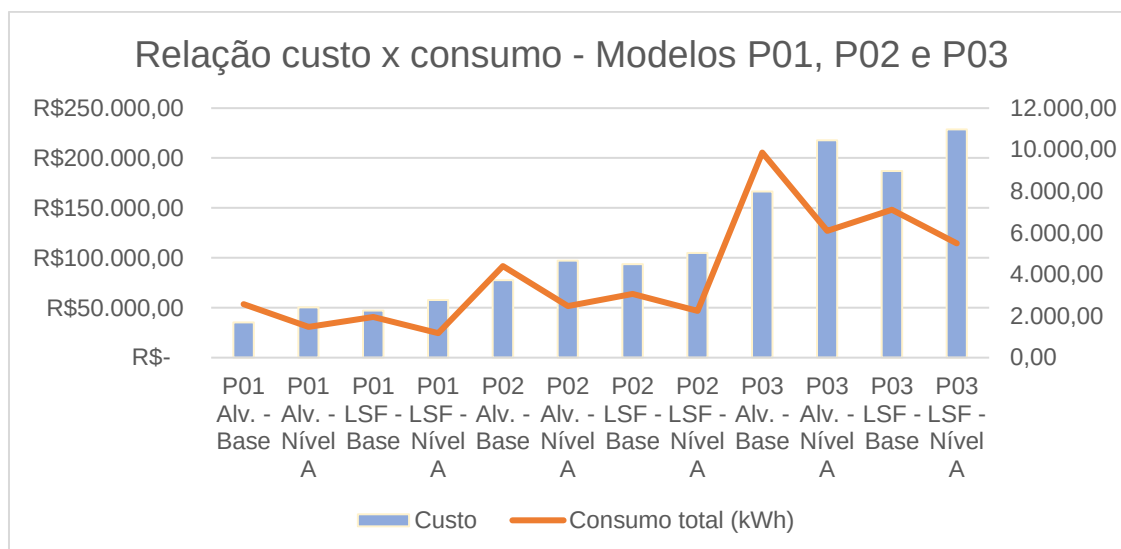


Figura 17 – Relação entre o custo e o consumo de energia para os modelos P01, P02 e P03

Fonte: Autora.

Diante do exposto, a relação custo-benefício nas condições avaliadas por este trabalho evidencia a necessidade de identificar preliminarmente o que se busca para o empreendimento construtivo, sendo as estratégias de composição leve ou em alvenaria cerâmica viáveis para Zona Bioclimática 2, já que as condições de competitividade e de tomada de decisão entre os dois sistemas, estão atreladas ao nível de desempenho e o consumo de energia desejado.

A Tabela 31 apresenta a relação de competitividade entre soluções que atingiriam o nível A do RTQ-R e apresentaram o consumo total de energia semelhantes. O que se observa nestes casos, é que além de uma relação inversamente proporcional no sentido do consumo para CA e nos GHr, os custos dos empreendimentos P01 e P02 nível A foram menores nos modelos em alvenaria convencional do que os modelos nível A em LSF, contudo, para o modelo P03, considerando o mesmo cenário de comparação entre o consumo total para escolha dos modelos, o em LSF apresentou um custo total menor do que o modelo em alvenaria. Desta forma, considerando cenários relacionados no que diz respeito ao consumo de energia, é possível apontar que existe competitividade entre os sistemas, já que além de custos finais próximos, as relações de desempenho térmico e energético também se aproximam em função das tomadas de decisão de cada intervenção.

Tabela 31 – Relação de competitividade entre dois sistemas nível A do RTQ-R com consumos próximos

Modelo	Consumo total (kWh)	CA	GHr	Custo (R\$)
P01 Conv. – IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP2	1.285,43	57,29	1.393,28	51.268,23
P01 LSF – Vidro Duplo + Piso isolado	1.177,24	47,57	3.446,96	57.711,34
P02 Conv. - IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP2	2.283,33	53,48	3.574,76	99.361,70
P02 LSF – Vidro Duplo	2.254,25	74,09	2.324,10	104.855,10
P03 Conv. – IC + Vidro Duplo + IPE2 + IP1	5.485,66	107,19	5.072,31	232.553,82
P03 LSF – Vidro Duplo	5.495,91	149,51	2.802,86	228.771,02

Fonte: Autora.

5. Conclusões

A partir da análise dos projetos-padrão de edificações unifamiliares da NBR 12.721, no que estabelece a NBR 15.575 e o RTQ-R para avaliação das condições de desempenho térmico e energético dos modelos edificadas, foi possível avaliar o atendimento dos sistemas construtivos *Light steel framing* e convencional em alvenaria cerâmica.

Quanto ao objetivo principal do trabalho, as análises realizadas por meio de simulação junto à análise econômica mostram a viabilidade da utilização do sistema construtivo *light steel framing* para as três condições construtivas avaliadas.

Com relação aos objetivos específicos, a semelhança no comportamento das soluções testadas nos projetos nos padrões baixo (P01), médio (P02) e alto (P03), não permite afirmar que um dos sistemas construtivos construtivos analisadas é melhor do que outra, desde que considerando todas as variáveis de custo do empreendimento, desempenho e consumo total de energia elétrica. Em geral, para os três modelos testados, o sistema LSF apresentou melhores níveis de desempenho pelo RTQ-R, assim como no método estatístico de significância realizado para avaliar os resultados da NBR 15.575. Da mesma forma, o consumo total de energia dos modelos em LSF foi menor quando comparado aos modelos convencionais. Contudo, no que diz respeito ao custo dos empreendimentos, os modelos em alvenaria apresentaram valores menores, tanto nos modelos iniciais, quanto após as intervenções.

A escolha da zona bioclimática 2 foi importante para as condições de avaliação do trabalho, tendo visto que salientou a ambiguidade climática e os conflitos entre as estratégias analisadas, além das condições de consumo e do nível de atendimento ao RTQ-R.

Este trabalho destaca também a inadequação térmica das edificações e das técnicas construtivas para questão do frio no contexto climático avaliado.

Quanto à análise pela NBR 15575, a avaliação pela norma de desempenho não se mostrou uma boa estratégia, pois praticamente todos os projetos e condições foram

aprovados, em função da baixa exigência desta norma, especialmente com relação ao inverno. Testar investimentos para qualificar o nível pela NBR 15575, com os critérios atuais, sem consumo de energia, sem cargas internas e avaliação para todo o ano, não fez sentido, como era previsto. Por esta razão também se adotou o RTQ-R como parâmetro de comparação.

A análise estatística dos resultados da NBR, no entanto, aponta com grau de significância um melhor desempenho do sistema LSF.

Para análise do RTQ-R, observando que este regulamento estabelece critérios empíricos de valores CA e GHr para cada nível de eficiência energética, pôde-se observar que algumas vezes a situação de menor consumo não correspondia ao mais alto nível de eficiência energética. No entanto, ficou evidente uma correlação positiva entre consumo e ENCE.

Dos aspectos gerais acerca dos resultados obtidos, destaca-se o atendimento com melhores níveis de desempenho para os modelos em LSF, muito em função das rígidas condições de composição (e isolamento) estabelecidas pela diretriz SiNAT no que tange a elaboração de produtos edífícios em composição leve (*steel frame*).

Alguns padrões puderam ser observados ao longo das avaliações. Os modelos em alvenaria P01, P02 e P03, obtiveram custos menores e desempenhos piores quando comparado com os mesmos modelos em LSF. Após a aplicação das estratégias de intervenção, o que se vê é uma necessidade percentual menor de intervenções nos modelos LSF quando comparados com os modelos convencionais, porém com custos finais maiores. Cabe destacar também a diminuição da diferença entre custo das composições quando avaliadas as condições de maior padrão construtivo, sendo a diferença entre os modelos P03 com nível A do RTQ-R, inferior a 5% do custo total desta edificação.

A condição de proximidade entre os resultados obtidos nas soluções testadas reforça aspectos de competitividade e possibilidade de avaliação de outros pontos como o tempo requerido para construção, condições de manutenibilidade e demais aspectos referentes a vida útil da edificação. Esta situação pode ser entendida como uma limitação deste trabalho, embora o sentido de direcionamento da análise proposta não tenha considerado condições para além das avaliações térmicas, energéticas e econômicas dos dois sistemas construtivos.

Como possibilidade de ampliação deste estudo, existe possibilidade da inserção de uma avaliação atrelada a geração de energia nos modelos, visando

ampliar a análise de payback em um sentido de integração das intervenções realizadas com o propósito de mitigação das demandas energéticas às estratégias de geração. Também é possível destacar que outras variações construtivas poderiam estar inseridas no contexto deste trabalho, como por exemplo o *wood frame*.

Como trabalhos futuros é possível apontar a ampliação das discussões aqui propostas para outros sistemas construtivos, a avaliação das condições testadas em edificações residenciais, podem ser avaliadas em outras tipologias, além da inserção de novas tecnologias construtivas nas intervenções dos modelos deficitários em LSF.

Também é possível interpretar a possibilidade de uso dos *Phase Change Materials* (PCMs) para condição limitante da massa térmica. Ainda, o aprofundamento da análise para outros contextos climáticos, já que a ZB2, por demandar isolamento no inverno, atribui competitividade ao sistema LSF.

Outra sugestão é usar o modelo P01 para estabelecer um foco em Habitações de Interesse Social (HIS), buscando alternativas de baixo custo que pudessem apresentar desempenhos semelhantes, tal como o uso de persianas de PVC para aumentar a resistência térmica das aberturas em substituição ao vidro duplo.

Referências

- ALMEIDA, J. E. C.; CABÚS, R. C. **Conforto térmico em apartamentos de um conjunto habitacional em Maceió/AL**. In: VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC. Maceió/AL: ANTAC, 2005.
- ÁLVAREZ, A. B.; PÉREZ, P. S. La empresa sustentable en una sociedad de riesgo. Iztapalapa: **Revista de Ciencias Sociales y Humanidades**, n.48, p.163–182, 2000.
- ALVES FILHO, A. G.; PIRES, S. R.; VANALLE, R. M. Sobre as prioridades competitivas da produção: compatibilidades e sequências de implementação. **Gestão & Produção**, v.2, n.2, p.173–180, 1995.
- ALVES, L. P. **Comparativo do custo benefício entre o sistema construtivo em alvenaria e os sistemas steel frame e wood frame**. Uberlândia, 2015.
- AMANCIO, R. et al. **O sistema brasileiro de avaliação técnica de produtos inovadores para a Construção Civil**. Porto Alegre/RS: ANTAC, 2015.
- AMERICAN IRON AND STEEL INTITUTE – AISI. **AISI Standard S100/16**: North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members. 2016. Disponível em: https://cfsei.memberclicks.net/assets/docs/publications/aisi-standards/aisi%20s100-16%20%20s100-16-c_e_s.pdf. Acesso em: 02 out. 2020.
- ARAÚJO, C.; ALMEIDA, M.; BRAGANÇA, L.; BARBOSA, J. A. Cost–benefit analysis method for building solutions. **Applied energy**, v.173, p.124–133, 2016.
- ARAÚJO, H.; MUTTI, C. **Análise da competitividade da Indústria da Construção Civil a partir da Teoria da Firma no Setor**. In: XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP. Porto Alegre, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12721**: Avaliação de custos unitários e preparo de orçamento de construção para incorporação de edifício em condomínio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2006. v.1.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13.531**: elaboração de projetos de edificações técnicas. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1995. v.1.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2005. v.7.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15575**: Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Partes 1-6. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013. v.2.
- AZEVEDO, R. C. et al. Avaliação de desempenho do processo de orçamento: estudo de caso em uma obra de construção civil. **Ambiente Construído**. (Online). p.85–104, 2011.

BALARINE, O. F. O. **Contribuições metodológicas ao estudo de viabilidade econômico-financeira das incorporações imobiliárias.** In: XVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEPE, 1997.

BARZELLAY, B. C.; LONGO, O. **SINAPI como instrumento balizador de custos para a contratação de obras e serviços de engenharia realizados com recursos públicos.** In: Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Niterói, 2011.

BASTOS, M. A. R. **Avaliação de sistemas construtivos semi e/ou industrializados de edifícios de andares múltiplos através da perspectiva de seus usuários.** 2004. 458p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

BEVILAQUA, R. **Estudo comparativo do desempenho estrutural de prédios estruturados em perfis formados a frio segundo os sistemas aportugado e lights steel framing.** 2015. 247p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

BLACHERE, G. **Saber Construir:** Habitabilidad, Durabilidad, Economia de los Edifícios. Barcelona, 1967.

BRASILIT/SAINT-GOBAIN. **Catálogos de produtos.** Disponível em: <https://www.brasilit.com.br/produtos/placa-cimenticia>. Acesso em: 01 de out. 2020.

BRÜSEKE, F. J. A modernidade técnica. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v.17, n.49, p.135–144, 2002.

CAETANO, R. C. D. S.; DE OLIVEIRA, R. C.; GONZALEZ, E. F.; XAVIER, I. **Comparativo de custo entre alvenaria convencional e Drywall.** In: FUPAM: Orçamento, Planejamento e Custos de Obras. São Paulo/SP, 2008.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO - CBIC. **Informativo Econômico.** Brasília, 2020.

CARDOSO, S. S. **Tecnologia construtiva de fachada em chapas delgadas estruturadas em light steel framing.** 2016. 256p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade de São Paulo.

CARVALHO, A. R.; CUNHA, E. G.; OLIVEIRA, A. L. C. Discussão sobre retrofit energético em edificações históricas: Estado da Arte. **Projectare: Revista de Arquitetura e Urbanismo**, v. 1, n. 10, 2020.

CASTRO, R. C. M. **Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: light steel framing.** 2005. 231f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO - CBCA. **Estatísticas.** Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/construcao-em-aco-estatisticas.php>. Acesso em: 02 out. 2020.

CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES - **CB3E.** Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/>. Acesso em: 02 out. 2020.

CONTI, P.; SCHITO, E.; TESTI, D. Cost-Benefit analysis of hybrid photovoltaic/thermal collectors in a nearly zero-energy building. **Energies**, v.12, n.8, p.1582, 2019.

CUSTO UNITÁRIO BÁSICO - CUB/RS. **Preço e Custos da Construção** - Composição. Porto Alegre, 2021.

DALBEM, R.; FREITAS, J. M. R.; CUNHA, E. G. Conceito Passivhaus aplicado ao clima brasileiro. **Revista de Arquitetura IMEDS**, v.4, n.1, p.26–36, 2015.

DUARTE, R. B. **Recomendações para o projeto e execução de edifícios de alvenaria estrutural**. ANICER, 1999.

FABRÍCIO, M. **Industrialização das construções**: Uma abordagem contemporânea. Livre Docência. Universidade de São Paulo, 2008.

FIESS, J. R. F.; OLIVEIRA, L. A.; BIANCHI, A. C.; THOMAZ, E. **Causas da ocorrência de manifestações patológicas em conjuntos habitacionais do estado de São Paulo**. In: Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável. São Paulo/SP, 2004.

FOLIENTE, G. C. Developments in performance-based building codes and standards. **Forest Products Journal**, v.50, n.7/8, p.12, 2000.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. T. R. **Manual de conforto térmico**. Studio Nobel, 2001.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS – FGV. Comitê de Datação de Ciclos Econômicos - CODACE. **Cronologia trimestral do ciclo de negócios brasileiros**. Disponível em: <https://portalibre.fgv.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=8A7C82C54DB5CA9>. Acesso em: 01 out. 2020.

GALDÁMEZ, E. V. C.; CARPINETTI, L. C. R.; GEROLAMO, M. C. Proposta de um sistema de avaliação do desempenho para arranjos produtivos locais. **Gestão & Produção**, v.16, n.1, p.133–151, 2009.

GOMES, A. P. **Avaliação do desempenho térmico de edificações unifamiliares em light steel framing**. 2007. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais.

GOMES, C. E. M.; VIVIAN, A.; SICHIERI, E. P.; PALIARI, J. C. **Light Steel Frame**: Construção industrializada a seco para habitação popular. Práticas sustentáveis. In: Encontro Latino Americano de Edificações e Comunidades Sustentáveis. Curitiba/PR, 2013.

GONÇALVES, I. P. **Relação custo-benefício de medidas de conservação de energia em Retrofit de edifício de escritórios na zona bioclimática 02**. 2017. Dissertação (Mestrado Arquitetura e Urbanismo) — Universidade Federal de Pelotas.

GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. **Edifício ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

GONZÁLES, M.; FORMOSO, C. **Análise de Viabilidade Econômico-Financeira de Construções**. In: Encontro Nacional da ANPUR, 2001. p.1548–1553.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. – IBGE. **PIB - Brasil: Produto Interno Bruto Brasileiro**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa anual da indústria da construção – PAIC**. Disponível em: <https://questionarios.ibge.gov.br/downloads-questionarios/paic-pesquisa-anual-da-industria-da-construcao>. Acesso em: 01 out. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil - SINAPI**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9270-sistema-nacional-de-pesquisa-de-custos-e-indices-da-construcao-civil.html?=&t=conceitos-e-metodos>. Acesso em: 01 out. 2020.

JANSSEN, H.; CARMELIET, J.; HENS, H. The influence of soil moisture transfer on building heat loss via the ground. **Building and Environment**, v.39, n.7, p.825– 836, 2004.

KANDA, W.; KIVIMAA, P. What opportunities could the COVID-19 outbreak offer for sustainability transitions research on electricity and mobility?. **Energy Research & Social Science**, v. 68, p. 101666, 2020.

KOOL, W.; GERSHMAN, S. J.; CUSHMAN, F. A. Cost-benefit arbitration between multiple reinforcement-learning systems. **Psychological science**, v.28, n.9, p.1321– 1333, 2017.

LACERDA, M. M. S.; FLORÊNCIO, Á. C.; SILVA, W. A. da; DELALIBERA, R. G. Avaliação dos critérios para análise da estabilidade global em edifícios de concreto armado: estudo de caso. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 9, n. 2, 2014.

LAWSON, R.; OGDEN, R. 'Hybrid' light steel panel and modular systems. **ThinWalled Structures**, v.46, n.7-9, p.720–730, 2008.

LEMOES, N. G.; ALENCAR, D. As crises de 2008 e Covid-19: uma análise comparativa a partir da teoria pós-keynesiana. **A Economia em Revista - AERE**, v. 28, n. 2, 2020.

LINNER, T.; BOCK, T. Evolution of large-scale industrialisation and service innovation in Japanese prefabrication industry. **Construction Innovation**, 2012.

LIU, Y.; LIU, T.; YE, S.; LIU, Y. Cost-benefit analysis for Energy Efficiency Retrofit of existing buildings: a case study in China. **Journal of Cleaner Production**, v.177, p.493–506, 2018.

LOTURCO, B. Excelência atestada: para comprovar a qualidade das soluções inovadoras desenvolvidas e abrir caminho para obtenção de financiamentos, empresas buscam a avaliação técnica de desempenho. **Revista Técnica**, v.136, 2008.

LPBP - Building Products. **Catálogo Técnico OSB**: Placas estruturais para construção CES. Disponível em: https://www.lpbrasil.com.br/wp-content/uploads/2017/06/Catalogo_Tecnico_LP-OSB-APA.pdf. Acesso em: 01 out. 2020.

MARUOKA, L. M. A. **As estratégias de produção adotadas pelas construtoras no ambiente contemporâneo**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Paulo.

MASCARO, J. L.; MASCARO, L. E. A. R. d. Habitação e inclusão: a prancheta participativa. **Arq Texto**, n. 7 (2005), p. 74-79, 2005.

MATTOS, A. D. **Como preparar orçamentos de obras**: dicas para orçamentistas, estudos de caso, exemplos. São Paulo, Editora Pini, 2009.

MILAN, G. S.; NOVELLO, R.; DOS REIS, Z. C. A viabilidade do sistema light steel frame para construções residenciais. **Revista Gestão Industrial**, v. 7, n. 1, 2011.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Sistema Nacional de Avaliação Técnica – SiNAT. **Diretrizes para avaliação técnica de produtos (Diretriz SiNAT - Nº 003 - Revisão 2)**: Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço zincado conformados a frio, com fechamento em chapas delgadas (sistemas leves tipo Light Steel Framing). Disponível em: http://pbqp-h.mdr.gov.br/projetos_sinat.php. Acesso em: 01 out. 2020.

MONTEIRO, S. Sair do papel. **Revista Conjuntura Econômica**, v. 74, n. 3, p. 38-46, 2020.

NICOLETTI, F. et al. Energy efficiency measures uncoupled from human perception: the control of solar shading systems in residential buildings. **Proceeding of the International Conference SBE** (Sustainable Built Environment). Itália, p. 35, 2019.

NORTH AMERICAN STEEL FRAMING ALLIANCE - NASFA. **Prescriptive Method for residential cold-formed steel framing**. 2000. Disponível em: www.steel framingalliance.com. Acesso em: 01 out. 2020.

Nunes, J. M.; Longo, O. C.; Alcoforado, L. F.; Pinto, G. O. O setor da Construção Civil no Brasil e a atual crise econômica. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, e393997274. ISSN 2525-3409. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7274>. 2020.

OLIVEIRA, G. S. **Light steel frame**: potencial do sistema construtivo para customização de habitações pré-fabricadas. 2018. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

OLIVEIRA, L. K. S.; MORAES RÊGO, R.; ARAÚJO FRUTUOSO, M. N. M.; RODRIGUES, S. S. F. B. Simulação computacional da eficiência energética para uma arquitetura sustentável. **HOLOS**, v.4, p.217–230, 2016.

OLIVIERI, H. et al. A utilização de novos sistemas construtivos para a redução no uso de insumos nos canteiros de obras: Light Steel Framing. **Ambiente Construído**, v.17, n.4, p.45–60, 2017.

PESQUISA ANUAL DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO – PAIC. **Programa Anual das Pesquisas Estruturais por Empresa do IBGE**. Rio de Janeiro, 2018.

PARISOTTO, J. **Análise de estimativas paramétricas para formular um modelo de quantificação de serviços, consumo de mão-de-obra e custos de edificações residenciais - Estudo de Caso para uma Empresa Construtora**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PEARCE, D.; ATKINSON, G.; MOURATO, S. Cost-benefit analysis and the environment: recent developments. **Organisation for Economic Co-operation and development**, 2006.

POPO-OLA, S.; BIDDLE, A.; LAWSON, R. Building Design using Cold Formed Steel Sections Durability of Light Steel Framing in Residential Building. **SCI PUBLICATION**, 2000.

PORTER, M. E. P. M. Competition in global industries. **Harvard Business Press**, 1986.

POUEY, J. A. **Projeto de edificação residencial unifamiliar para a zona bioclimática 2 com avaliação termo energética por simulação computacional**. 2011. 162p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) — Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

PRADO, A. K. J. A. P.; RÔMERO, M. A. **Avaliação do custo-benefício do Retrofit da envoltória em um edifício público, com suporte de simulação computacional**. 2016.

RIBEIRO, M. S.; MICHALKA JR, C. A contribuição dos processos industriais de construção para adoção de novas tecnologias na construção civil no Brasil. Campos dos Goytacazes: **Vértices**, v.1, n.3, p.89–107, 2003.

ROSA, E. B. **Indicadores de desempenho e sistema ABC: o uso de indicadores para uma gestão eficaz do custeio e das atividades de manutenção**. 2006. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

SALES, U. C. **Mapeamento dos problemas gerados na associação entre sistemas de vedação e estrutura metálica e caracterização acústica e vibratória de painéis de vedação**. 2001. 271p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Escola de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais.

SANTIAGO, A. K.; ARAÚJO, E. C. **Sistema light steel framing como fechamento externo vertical industrializado**. In: Congresso Latino Americano da construção metálica. Disponível em: <http://www.abcem.org.br/construmetal/2008/contribuicoes2.php>. 2008.

SILVA, F.; LIMA, M. C.; MACIEL, R. G. **Efeito barganha e cotação**: Fenômenos que permitem a ocorrência de superfaturamento com preços inferiores às referências oficiais. In: SINAOP - Simpósio Nacional de Auditoria de Obras Públicas, 13, 2010.

SILVA, A.; CASTRO, J. M.; MONTEIRO, R. Practical considerations on the design of concentrically-braced steel frames to Eurocode 8. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 158, p. 71-85, 2019.

SOARES, M. M. **Avaliação dos Parâmetros de Desempenho Térmico da NBR 15575/2013**: habitações de interesse social na zona bioclimática 2. 2014. 159p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) — Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

SPADETO, T. F. **Industrialização na construção civil**: uma contribuição à política de utilização de estruturas pré-fabricadas em concreto. Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico. Vitória, p.193, 2011.

SUNSTEIN, C. R. Cognition and cost-benefit analysis. **The Journal of Legal Studies**, v.29, n.S2, p.1059–1103, 2000.

TEIXEIRA, L.; SIMPLICIO, M. da C. A. A Modernização da Construção Civil Através do Uso do Steel Frame. **Boletim do Gerenciamento**, v. 2, n. 2, 2018.

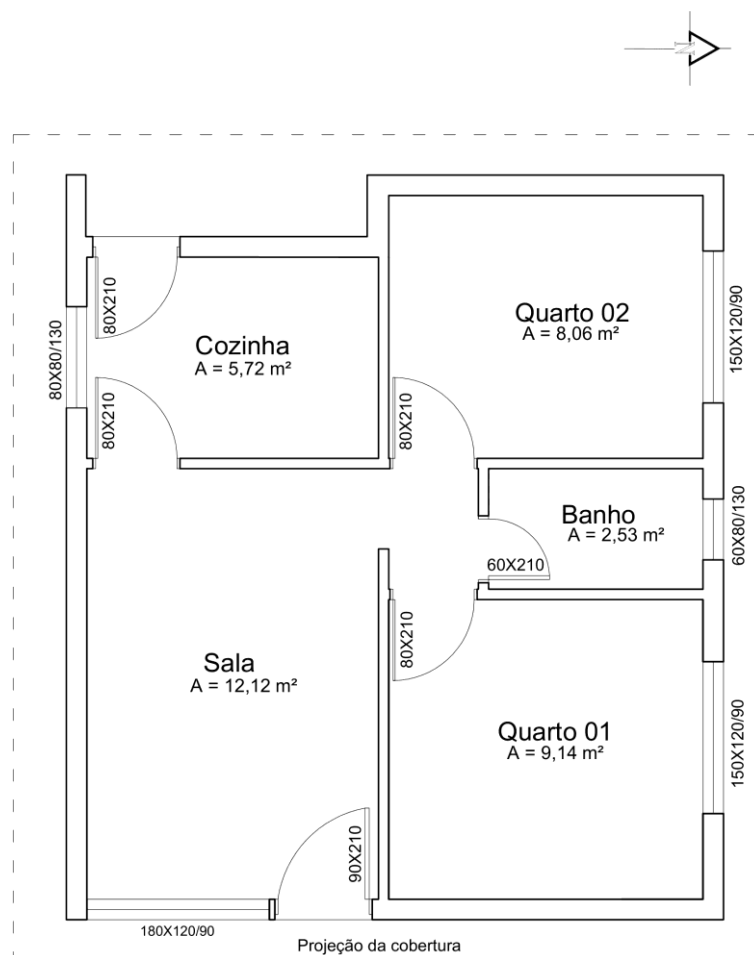
VILHENA, A. **Reabilitação habitacional e o setor da construção civil**. Seminário “O Parque Habitacional e a sua Reabilitação”. Retrato e Prospectiva, 2013.

VIVAN, A. L.; PALIARI, J. C. Design for Assembly aplicado ao projeto de habitações em Light Steel Frame. **Ambiente Construído**, v.12, n.4, p.101–115, 2012.

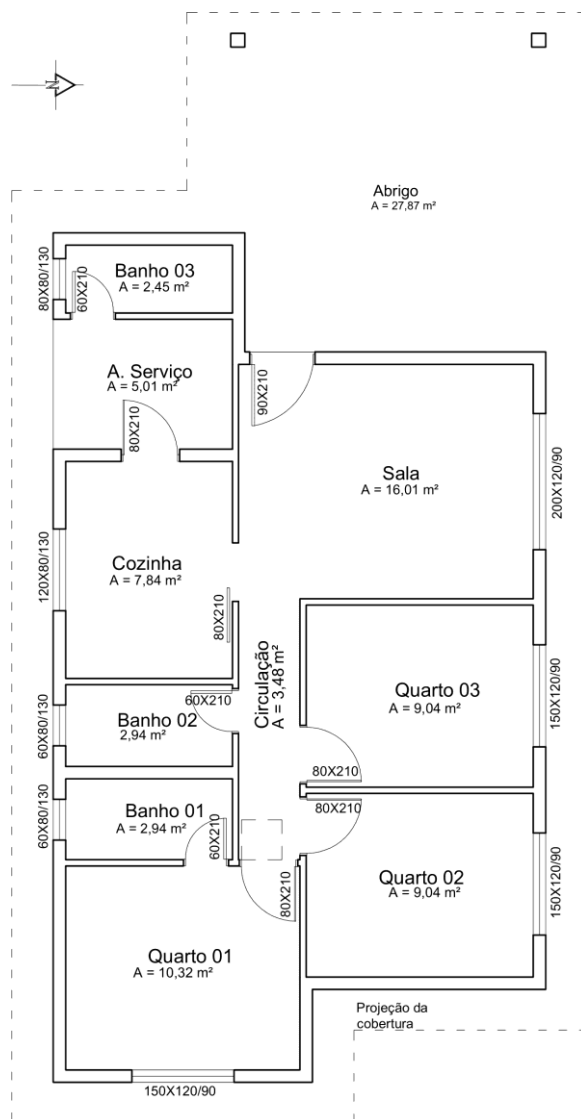
WANG, X.; CHONG, H.-Y. Setting new trends of integrated Building Information Modelling (BIM) for construction industry. **Construction Innovation**, 2015.

Apêndices

APÊNDICE A – Modelo reorientado com base no projeto P01.



APÊNDICE B – Modelo reorientado com base no projeto P02.



APÊNDICE C – Modelo reorientado com base no projeto P03.

