



MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



EEDUS

**Eficiência Energética para Desenvolvimento
Urbano Sustentável**

Produto elaborado para:

Secretaria Nacional de Habitação/ Ministério do Desenvolvimento Regional

Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Análise de custo/benefício de parâmetros de eficiência energética em Habitações de Interesse Social

Produto 5 – Tarefa VII - Análise de custo/benefício de parâmetros de EE em HIS

Elaborado por:

lab**EEE**

Roberto Lamberts

Ana Paula Melo

Maria Andrea Triana

Rayner Maurício e Silva Machado

Artur Martins Kamimura

Matheus Körbes Bracht

PRODUTO 5 - ANÁLISE DE CUSTO/BENEFÍCIO DE PARÂMETROS DE EE EM HIS

Produto Elaborado para:

Secretaria Nacional de Habitação/ Ministério do Desenvolvimento Regional

Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Elaborado por: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

Autores: Roberto Lamberts
Ana Paula Melo
Maria Andrea Triana
Rayner Maurício e Silva Machado
Artur Martins Kamimura
Matheus Körbes Bracht

Esse documento foi elaborado no âmbito do projeto Eficiência Energética para o Desenvolvimento Urbano Sustentável (EEDUS), resultado de uma articulação bilateral entre os governos do Brasil e da Alemanha. O projeto EEDUS envolve diretamente a *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH*, agência executora da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável e os nomes dos parceiros governamentais brasileiros, bem como outros parceiros institucionais.

Coordenação: Daniel Wagner (GIZ),
Philipp Höppner (GIZ).

Janeiro 2021

Informações Legais

1. Todas as indicações, dados e resultados deste estudo foram compilados e cuidadosamente revisados pelo(s) autor(es). No entanto, erros com relação ao conteúdo não podem ser evitados. Consequentemente, nem a GIZ ou o(s) autor(es) podem ser responsabilizados por qualquer reivindicação, perda ou prejuízo direto ou indireto resultante do uso ou confiança depositada sobre as informações contidas neste estudo, ou direta ou indiretamente resultante dos erros, imprecisões ou omissões de informações neste estudo.

2. A duplicação ou reprodução de todo ou partes do estudo (incluindo a transferência de dados para sistemas de armazenamento de mídia) e distribuição para fins não comerciais é permitida, desde que a GIZ seja citada como fonte da informação. Para outros usos comerciais, incluindo duplicação, reprodução ou distribuição de todo ou partes deste estudo, é necessário o consentimento escrito da GIZ.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	TAREFA VII – ANÁLISE DE CUSTO/BENEFÍCIO DE PARÂMETROS DE EE EM HIS 9	
2.1	CUSTO NO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO	12
2.1.1	Fase de uso: Custo da energia operacional	12
2.2	RESULTADOS	15
2.2.1	Zona bioclimática 1	15
2.2.2	Zona bioclimática 2	24
2.2.3	Zona bioclimática 3	32
2.2.4	Zona bioclimática 4	41
2.2.5	Zona bioclimática 5	50
2.2.6	Zona bioclimática 6	61
2.2.7	Zona bioclimática 7	73
2.2.8	Zona bioclimática 8	82
2.2.9	Resumo geral.....	93
3.	CONCLUSÕES	95
4.	REFERÊNCIAS	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Custo no ciclo de vida e PHFT de medidas de EE para a tipologia unifamiliar – ZB1	15
Figura 2. Custo inicial vs custo operacional de medidas de EE para a tipologia unifamiliar - ZB1	16
Figura 3. Custo operacional vs PHFT de medidas de EE para a tipologia unifamiliar - ZB1	17
Figura 4. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia geminada na ZB1.....	19
Figura 5. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia multifamiliar – ZB1	22
Figura 6. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia unifamiliar – ZB2.....	25
Figura 7. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia geminada – ZB2.....	27
Figura 8. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia multifamiliar – ZB2	30
Figura 9. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia unifamiliar – ZB3.....	33
Figura 10. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia geminada – ZB3	35
Figura 11. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia multifamiliar – ZB3	38
Figura 12. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia unifamiliar – ZB4.....	42
Figura 13. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia geminada – ZB4	45
Figura 14. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia multifamiliar – ZB4	47
Figura 15. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia unifamiliar – ZB5.....	50
Figura 16. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia de casa geminada – ZB5.....	54
Figura 17. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia edifício multifamiliar – ZB5.....	58
Figura 18. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia unifamiliar – ZB6.....	62
Figura 19. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia casa geminada – ZB6.....	67
Figura 20. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia edifício multifamiliar – ZB6.....	71
Figura 21. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia unifamiliar – ZB7	74
Figura 22. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia casa geminada – ZB7	76
Figura 23. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia edifício multifamiliar – ZB7	79
Figura 24. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia unifamiliar – ZB8.....	82

Figura 25. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia casa geminada – ZB8	86
Figura 26. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia edifício multifamiliar – ZB8	89
Figura 27. Custos no ciclo de vida energético por etapas para a tipologia edifício multifamiliar – ZB8	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resumo das estratégias adotadas com as suas variáveis.....	10
Tabela 2. Fases e etapas da avaliação econômica.....	12
Tabela 3. Valores das tarifas de energia para as cidades avaliadas	13
Tabela 4. Resultados de casos otimizados e caso base para a tipologia unifamiliar – ZB1	18
Tabela 5. Casos otimizados com estratégias para a tipologia unifamiliar – ZB1.....	18
Tabela 6. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB1.....	19
Tabela 7. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia geminada – ZB1.	20
Tabela 8. Casos otimizados com estratégias para a tipologia geminada – ZB1	21
Tabela 9. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia geminada – ZB1	21
Tabela 10. Casos otimizados com resultados de PHFT e CCV ZB1 para a tipologia multifamiliar – ZB1	23
Tabela 11. Casos otimizados com estratégias para a tipologia multifamiliar – ZB1	24
Tabela 12. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia multifamiliar – ZB1	24
Tabela 13. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB2	26
Tabela 14. Casos otimizados com estratégias para a tipologia unifamiliar – ZB2.....	26
Tabela 15. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia de casa unifamiliar – ZB2 ...	27
Tabela 16. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia geminada – ZB2	28
Tabela 17. Casos otimizados com estratégias para a tipologia geminada – ZB2	29
Tabela 18. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia de casa geminada – ZB2....	29
Tabela 19. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia multifamiliar - ZB2	31
Tabela 20. Casos otimizados com estratégias para a tipologia multifamiliar – ZB2.....	31
Tabela 21. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia multifamiliar – ZB2	32
Tabela 22. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB3	33
Tabela 23. Casos otimizados com estratégias para a tipologia unifamiliar – ZB3.....	34
Tabela 24. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB3.....	35
Tabela 25. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia geminada – ZB3	36
Tabela 26. Casos otimizados com estratégias para a tipologia geminada – ZB3	37
Tabela 27. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia casa geminada – ZB3.....	38
Tabela 28. Resultados caso base e casos otimizados para a tipologia multifamiliar - ZB3	39
Tabela 29. Casos otimizados com estratégias para a tipologia multifamiliar – ZB3.....	40
Tabela 30. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia multifamiliar – ZB3	41
Tabela 31. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB4	43
Tabela 32. Casos otimizados com estratégias para a tipologia unifamiliar – ZB4.....	43
Tabela 33. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB4.....	44
Tabela 34. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia geminada – ZB4	46
Tabela 35. Casos otimizados com estratégias para a tipologia geminada – ZB4	46
Tabela 36. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia geminada – ZB4	47
Tabela 37. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia multifamiliar – ZB4	48

Tabela 38. Casos otimizados com estratégias para a tipologia multifamiliar – ZB4	49
Tabela 39. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia multifamiliar – ZB4	49
Tabela 40. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB5	51
Tabela 41. Casos otimizados com estratégias para a tipologia unifamiliar – ZB5.....	52
Tabela 42. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB5.....	54
Tabela 43. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia casa geminada – ZB5	55
Tabela 44. Casos otimizados com estratégias para a tipologia casa geminada – ZB5.....	57
Tabela 45. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia geminada – ZB5	58
Tabela 46. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia edifício multifamiliar – ZB5	59
Tabela 47. Casos otimizados com estratégias para a tipologia edifício multifamiliar – ZB5	60
Tabela 48. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia edifício multifamiliar – ZB5..	61
Tabela 49. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB6	63
Tabela 50. Casos otimizados com estratégias para a tipologia unifamiliar – ZB6.....	64
Tabela 51 (continuação). Casos otimizados com estratégias para a tipologia unifamiliar – ZB6	65
Tabela 52. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB6.....	66
Tabela 53. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia casa geminada – ZB6	68
Tabela 54. Casos otimizados com estratégias para a tipologia casa geminada – ZB6.....	69
Tabela 55. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia geminada – ZB6	70
Tabela 56. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia edifício multifamiliar – ZB6	72
Tabela 57. Casos otimizados com estratégias para a tipologia edifício multifamiliar – ZB6	72
Tabela 58. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia edifício multifamiliar – ZB6..	73
Tabela 59. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB7	74
Tabela 60. Casos otimizados com estratégias para a tipologia unifamiliar – ZB7.....	75
Tabela 61. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB7.....	76
Tabela 62. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia casa geminada – ZB7	77
Tabela 63. Casos otimizados com estratégias para a tipologia casa geminada – ZB7.....	78
Tabela 64. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia casa geminada – ZB7.....	78
Tabela 65. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia edifício multifamiliar – ZB7	80
Tabela 66. Casos otimizados com estratégias para a tipologia edifício multifamiliar – ZB7	81
Tabela 67. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia edifício multifamiliar – ZB7..	82
Tabela 68. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB8	83
Tabela 69. Casos otimizados com estratégias para a tipologia unifamiliar – ZB8.....	84
Tabela 70. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB8.....	85
Tabela 71. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia casa geminada – ZB8	87
Tabela 72. Casos otimizados com estratégias para a tipologia casa geminada – ZB8.....	88

Tabela 73. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia casa geminada – ZB8.....	89
Tabela 74. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia edifício multifamiliar – ZB8	91
Tabela 75. Casos otimizados com estratégias para a tipologia edifício multifamiliar – ZB8	91
Tabela 76. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia edifício multifamiliar – ZB8..	92
Tabela 77. Limites de desempenho com relação à pé-direito, paredes e coberturas por tipologia e zona bioclimática para os casos otimizados e casos com desempenho superior na ABNT NBR 15575 – Desempenho térmico e menor ou similar custo no ciclo de vida.	94
Tabela 78 (continuação). Limites de desempenho com relação à pé-direito, paredes e coberturas por tipologia e zona bioclimática para os casos otimizados e casos com desempenho superior na ABNT NBR 15575 – Desempenho térmico e menor ou similar custo no ciclo de vida.....	95

1 INTRODUÇÃO

Este documento apresenta a entrega do último produto referente ao projeto “*Análise de custo/benefício de parâmetros de eficiência energética em HIS*”. O Produto V contempla o desenvolvimento da Tarefa VII – Análise de custo/benefício de parâmetros de eficiência energética em habitações de interesse social (HIS).

Ao total, o projeto contemplou a entrega de cinco produtos:

Produto I – Plano de trabalho: Preparação, estruturação e revisão literária (Tarefa I);

Produto II – Definição de 3 unidades-base habitacionais (Tarefa II), e Definição de linhas de base simuladas de desempenho térmico e energético (Tarefa III);

Produto III - Aplicação de parâmetros relevantes a EE nas 3 “unidades-base” (Tarefa IV), e Estudo paramétrico de desempenho térmico e energético (Tarefa V);

Produto IV - Estudo de custo de implementação de melhorias (Tarefa VI);

Produto V - Análise de custo/benefício de parâmetros de EE em HIS (Tarefa VII).

2 TAREFA VII – ANÁLISE DE CUSTO/BENEFÍCIO DE PARÂMETROS DE EE EM HIS

No Produto II foram definidas para as análises três tipologias consideradas como representativas do setor de habitação de interesse social na faixa de menor renda, sendo elas, casa unifamiliar, casa geminada e edifício multifamiliar em H. As tipologias foram definidas com base em Triana, Lamberts e Sassi (2015) e adequadas com as características presentes para o caso base (de referência) conforme descrito na ABNT NBR 15575 aprovada em 2021. Para este estudo, foram definidas como unidades-base habitacionais.

No Produto III foram realizadas simulações computacionais com o programa EnergyPlus para avaliar o desempenho termo energético dos projetos. Inicialmente, foram simuladas as três tipologias de unidades-base de acordo com os requisitos da nova proposta da NBR 15575, avaliando o desempenho termo-energético obtido para as oito zonas bioclimáticas brasileiras. Neste produto também foram avaliadas a influência de diferentes medidas de eficiência energética no desempenho térmico e energético das três tipologias base. Primeiramente, foi realizada uma avaliação paramétrica de 41 medidas de eficiência energética relacionadas à envoltória da edificação, sendo avaliados diversos tipos de paredes, coberturas e esquadrias para duas tipologias em cinco zonas bioclimáticas que apresentam maior diferença. Posteriormente, foram avaliadas de forma combinada, algumas estratégias selecionadas que de maneira geral representaram melhores resultados por tipologia e por zona bioclimática. Os indicadores de avaliação de desempenho térmico foram os previstos na nova metodologia da ABNT NBR 15575: o Percentual das Horas na Faixa de Temperatura (PHFT), que mostra o comportamento da unidade habitacional com o uso de ventilação natural, e o indicador de Carga Térmica (CgTT), que apresenta o desempenho da unidade habitacional com o uso de condicionamento artificial. Foi também avaliado o comportamento das DATECs vigentes com relação às 8 zonas bioclimáticas brasileiras.

No Produto IV, as 41 medidas de eficiência energética relacionadas à envoltória da edificação foram analisadas em função dos seus custos incorporados na vida útil da edificação, considerada em 50 anos conforme a ABNT NBR 15575. Isto é, foi determinado o custo inicial da medida, o seu custo relacionado à manutenção e o seu custo relacionado à desconstrução no fim da vida útil. Os custos foram avaliados em função dos insumos e

mão de obra relacionada a cada medida avaliada. Foi introduzida a ideia de macro-componente, associado às medidas de eficiência energética, para facilitar as análises. Dessa forma, o Produto IV determinou os custos dos macro-componentes. Os custos levantados das medidas de eficiência energética levaram somente em consideração os componentes da envoltória que influenciam no desempenho termo energético da habitação: paredes, cobertura, esquadrias e piso/laje. A estrutura, embora não foi considerada nas simulações, foi incorporada na análise de custos. Os custos relacionados à energia operacional obtidos no Produto III, e resultantes do consumo previsto com condicionamento ambiental na unidade habitacional quando aplicada a medida ao caso base (ou conjunto de medidas), não foram considerados na análise do Produto IV.

Este Produto V mostra a análise relacionando, não somente o custo incorporado para cada medida, conforme apresentado no Produto IV, mas o custo de energia operacional relacionado ao consumo energético da unidade habitacional durante os seus 50 anos de vida útil quando da aplicação da medida, resultando no “custo total no ciclo de vida energético” (incorporado e operacional). Para isto, os resultados de carga térmica (CgTT) foram transformados em consumo, obtendo-se o custo operacional. Com o uso dos macro-componentes, foram determinados os custos dos casos com medidas de eficiência energética combinadas obtidos como resultado do Produto III e estabelecidas análises entre o indicador PHFT e o custo total no ciclo de vida energético. Considerando todas as zonas bioclimáticas e tipologias foram avaliados 24.000 casos. Os casos incluem resultados de avaliações relacionadas a desempenho com ventilação natural e com uso previsto de condicionamento de ar, assim como dos custos associados. Os casos com medidas de eficiência energética que apresentaram melhor desempenho com relação ao custo no ciclo de vida, ao indicador de Percentual das Horas na Faixa de Temperatura (PHFT) e ao menor custo inicial e operacional, foram identificados como casos otimizados, com as suas estratégias de maior frequência de ocorrência, o que possibilitou o estabelecimento de diretrizes para projetos de habitações de interesse social por tipologia e zona bioclimática.

A Tabela 1 mostra o resumo das estratégias que foram adotadas nesta etapa com as suas variáveis e identificação.

Tabela 1. Resumo das estratégias adotadas com as suas variáveis

Estratégia	Descrição	U	CT	ID*
Mudança no pé direito	Pé direito 2,50m (caso base)			T1
	Pé direito 2,60m			T2
	Pé direito 2,80m			T3
Paredes em concreto	Concreto 10 cm (externas e internas) (caso base)	4,40	240	P0
	Concreto 10cm com isolante EPS 2,5cm+reboco externo 2cm (Parede externa) e parede em concreto 10 cm (internas)	1,1	281	P1
	Bloco de concreto 19x19x39 + 2cm de reboco externo e interno (total 23cm) (Paredes ext+ int.) autoportante	2,70**	238	P2
	Bloco de concreto celular para vedação (60x30x20 – C x L x Espessura) – 450 kg/m ³	0,72	106	P3
Paredes em tijolo	Tijolo 9 furos 14x19x29 (total 18cm) com reboco interno e externo (Paredes externas e internas)	1,83	161	P4
	Tijolo 9 furos com isolante. (total 20,5cm). Parede externa com tijolo de 14x19x29 + isolante EPS e reboco 2,5cm externo e interno. Parede interna em tijolo 9 furos 14x19x29 com reboco externo e interno (total 18cm)	0,9	130	P5
	Parede dupla de tijolo 6 furos 9x14x24 com câmara de ar 3cm (c/reboco int. e ext.) (total 25 cm)	1,3	160,5	P6
Paredes em madeira	Parede dupla de madeira plantada de 2,2cm+ isolante lã de rocha 5cm (Par ext + int)	0,64	34	P7
Paredes em tijolo maciço	Tijolo maciço 10cm	3,6	157,6	P8

Estratégia	Descrição	U	CT	ID*
Cobertura em telha de fibrocimento	Telha de fibrocimento com câmara de ar e forro de laje em concreto em 10 cm. Para a ZB8 deve-se considerar sobre a laje o uso de isolamento com resistência térmica igual a 0,67 (m ² .K)/W (caso base)	2,06	233	C0
Cobertura em telha de barro	Telha de barro (α 0,60) com lâ de rocha 5cm+ câmara de ar + forro de madeira 1cm	0,6	30	C1
	Telha de barro (α 0,60) com lâ de rocha 5,0cm + câmara de ar+ forro laje concreto c/ EPS (12 cm)	0,6	202	C2
	Telha de barro (α 0,45) + câmara de ar + forro de madeira 1cm	2,02	26	C3*
	Telha de barro (α 0,60) + câmara de ar + forro de madeira 1cm	2,02	26	C4*
Cobertura em laje de concreto	Laje concreto - Cerâmica 1cm α 0,5 + contrapiso 5cm + isolante 5cm EPS + concreto 10cm	0,60	360	C5
Cobertura em telha metálica sanduiche	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	0,7	19,2	C6
	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro laje concreto c/ EPS	0,6	191,6	C7
Cobertura verde	Cobertura verde extensiva	2,18	363	C8

Pt,APP	Descrição das esquadrias	FV	FI	Vene- ziana	Sacada /brise (prof. em cm)	ID*
17% (todas consideram beiral de 50 cm nas tipologias unifamiliar e geminada)	FV 0,45 sem veneziana (caso base)	0,45	0,80	não	0	E0
	FV 0,45 veneziana nos dormitórios	0,45	0,80	Dorm.	0	E1
	FV 0,45 – veneziana nos dormitórios + peitoril ventilado	0,45	0,80	Dorm.	0	E2
	FV 0,45 – veneziana nos dormitórios e sala	0,45	0,80	Dorm./sala	0	E3
	FV 0,45 – brise/sacada na sala com veneziana nos dormitórios + sala	0,45	0,80	Dorm. /sala	120	E4
	FV 0,90 – veneziana nos dormitórios	0,90	0,80	Dorm.	0	E5
	FV 0,90 – veneziana nos dormitórios + peitoril ventilado	0,90	0,80	Dorm.	0	E6
	FV 0,90 –veneziana nos dormitórios e sala	0,90	0,80	Dorm. /sala	0	E7
	FV 0,90 – brise/sacada na sala com veneziana nos dormitórios e estar	0,90	0,80	Dorm. /sala	120	E8

Pt,APP	Descrição	FV	FI	Vene- ziana	Sacada /brise (prof. em cm)	ID*
23% (todas consideram beiral de 50 cm nas tipologias unifamiliar e geminada)	FV 0,45 – veneziana nos dormitórios	0,45	0,80	Dorm.	0	E9
	FV 0,45 – veneziana nos dormitórios + peitoril ventilado	0,45	0,80	Dorm.	0	E10
	FV 0,45 – veneziana nos dormitórios e sala	0,45	0,80	Dorm. /sala	0	E11
	FV 0,45 – brise/sacada na sala com veneziana nos dormitórios e sala	0,45	0,80	Dorm. /sala	120	E12
	FV 0,90 – veneziana nos dormitórios	0,90	0,80	Dorm.	0	E13
	FV 0,90 – veneziana nos dormitórios + peitoril ventilado	0,90	0,80	Dorm.	0	E14
	FV 0,90 –veneziana nos dormitórios e sala	0,90	0,80	Dorm. /sala	0	E15
	FV 0,90 – brise/sacada na sala com veneziana nos dormitórios e sala	0,90	0,80	Dorm./sala	120	E16

Obs: Os *IDs mostram a letra inicial de identificação da estratégia nas simulações. P_{t,APP} = percentual de elementos transparentes; FV = fator de ventilação; FI = fator de iluminação.

** Considerou-se um valor de transmitância térmica de 2,70 W/m²K para abranger o bloco de concreto de 14 cm com reboco externo e interno nas análises do estudo.

As oito cidades analisadas com as suas zonas bioclimáticas representativas foram: Curitiba, Zona Bioclimática 1; Santa Maria, Zona Bioclimática 2; Florianópolis, Zona Bioclimática 3; Uberlândia, Zona Bioclimática 4; Duque de Caxias, Zona Bioclimática 5; Itumbiara, Zona Bioclimática 6; Palmas, Zona Bioclimática 7; e São Luís, Zona Bioclimática 8. A orientação foi adotada única para cada um dos casos, conforme definido no Produto 3.

O objetivo deste Produto V é apresentar uma análise de custo/benefício da incorporação de medidas de eficiência energética em habitações de interesse social e fornece diretrizes para projetos de três tipologias representativas de HIS considerando o desempenho termo energético da edificação e o seu custo no ciclo de vida energético.

2.1 CUSTO NO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO

Conforme apresentado no Produto IV, a metodologia aplicada para obter o custo das medidas de eficiência energética foi com base na adotada por Triana Montes (2016) e Triana, Lamberts, Sassi (2021) para o custo no ciclo de vida energético da edificação, com algumas adaptações. Foi considerado o custo do investimento inicial na fase de pré-uso, custo de energia operacional e custo da manutenção na fase de uso e, o custo da desconstrução na fase de pós-uso, conforme **Tabela 2**.

Tabela 2. Fases e etapas da avaliação econômica

FASE	ETAPA	CUSTO
Pré-uso	Custo inicial dos materiais e mão de obra (inclui desperdício inicial)	Custo do investimento inicial
	Custo do transporte dos materiais até o local	
	Custo inicial do transporte dos materiais de desperdício	
Uso	Custo do consumo previsto para condicionamento ambiental	Custo da energia operacional
	Custo de consumo para iluminação e eletrodomésticos	
	Custo dos materiais e mão de obra para manutenção/reposição	Custo da manutenção
	Custo do transporte dos materiais de manutenção/ reposição	
	Custo no transporte do desperdício dos materiais de manutenção/ reposição	
Pós-uso	Custo da desconstrução do edifício (demolição)	Custo da desconstrução
	Custo do transporte dos materiais de demolição	

Fonte: Triana Montes (2016) e Triana, Lamberts e Sassi (2021) com adaptações

O custo incorporado das medidas de eficiência energética, considerando o custo de investimento inicial, custo da manutenção e custo da desconstrução foi levantado para os macros-componentes ou medidas de eficiência energética no Produto IV.

Para o Produto V, além dos valores de custo dos macros-componentes já levantados foi estimado e somado o custo na fase de uso da etapa da energia operacional, permitindo obter o custo total no ciclo de vida energético das unidades-base e dos casos com medidas de eficiência energética, considerando as oito cidades representativas das zonas bioclimáticas conforme a NBR 15575. A seguir, destaca-se o procedimento adotado para o levantamento dos custos da energia operacional, na fase de uso.

2.1.1 Fase de uso: Custo da energia operacional

Para a energia operacional, os custos foram calculados considerando os resultados da simulação de energia para a edificação com uso de condicionamento de ar, presentes no Produto III, com base no Valor Presente Líquido (VPL) ajustado para os 50 anos da vida útil da edificação. Os resultados de carga térmica (CgTT) das simulações do Produto III foram divididos por um valor de coeficiente de desempenho (COP) de 3,24, considerado para um condicionador de ar nível A, obtendo-se o consumo em kWh/ano. Para obter o custo relacionado ao consumo por condicionamento do ar previsto, foram adotados os

valores da tarifa residencial de energia considerando valores médios por Estado, onde se localizam as oito cidades avaliadas. Também foram acrescentados na medida do possível, os valores de tributos federais do Programa de Integração Social (PIS) e da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), assim como os tributos estaduais do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). Os valores das tarifas de energia adotadas para as oito cidades foram conforme **Tabela 3**.

Tabela 3. Valores das tarifas de energia para as cidades avaliadas

Zona bioclimática	Cidade	Tarifa (R\$)
1	Curitiba	0,7869
2	Santa Maria	0,9100
3	Florianópolis	0,7423
4	Uberlândia	0,9800
5	Duque de Caxias	0,8300
6	Itumbiara	0,8941
7	Palmas	0,7915
8	São Luís	0,8323

Para o valor presente líquido foram adotadas a $CF = VP \cdot (1+f)^n$

$$\text{Equação 1 e a } VPL = CF / (1+d)^n$$

Equação 2 conforme metodologia

adotada por Islam et al. (2015).

$$CF = VP \cdot (1+f)^n$$

Equação 1

$$VPL = CF / (1+d)^n$$

Equação 2

Onde:

CF = Custo futuro em R\$;

VPL = Valor presente descontado em R\$;

VP = Valor presente (inicial) em R\$;

f = Taxa de inflação em decimal;

d = Taxa de desconto em decimal; e

n = Número de anos.

Para a taxa de inflação foi adotado um valor de 0,0696 com base no Índice Nacional de Custos da Construção (INCC–DI). O INCC do IBGE considera a produção de custos e índices da construção civil, os preços de materiais e salários pagos na construção civil, no setor residencial. Por outro lado, a taxa SELIC foi adotada como a taxa de desconto, sendo usado o valor de 0,07. Ambos os valores se referem à média dos últimos 5 anos.

A etapa de operação da edificação foi então calculada pela $C_{opp} = \sum VPL ((E_{op \text{ outros}} + E_{ca}) \cdot T_{res})$

Equação 3.

Sendo,

$$C_{opp} = \sum VPL ((E_{op \text{ outros}} + E_{ca}) \cdot T_{res})$$

Equação 3

Onde:

C_{opp} = Custo da energia operacional total em VPL na vida útil em R\$;

$E_{op \text{ outros}}$ = Consumo de energia anual para equipamentos e iluminação em kWh;

E_{ca} = Consumo de energia anual para condicionamento ambiental previsto em kWh; e

T_{res} = Preço em R\$ do kWh por estado para a tarifa residencial.

A fase de uso foi então calculada considerando os custos associados à manutenção da edificação e à operação da edificação nos seus 50 anos de vida útil conforme Fase de

$$\text{uso} = C_{opp} + C_m$$

Equação 4.

$$\text{Fase de uso} = C_{\text{opp}} + C_m$$

Equação 4

Onde:

C_{opp} = Custo da energia operacional total em VPL na vida útil em R\$;

C_m = Custo da manutenção total na vida útil em VPL em R\$;

O cálculo do custo total no ciclo de vida energético foi realizado com base na fórmula de Fuller e Petersen (1995), conforme a $C_{\text{CVE}} = C_i + C_m + C_{\text{opp}} + C_d$

Equação 5.

$$C_{\text{CVE}} = C_i + C_m + C_{\text{opp}} + C_d$$

Equação 5

Onde:

C_{CVE} = Custo total no ciclo de vida energético de dada alternativa em valor presente descontado em R\$;

C_i = Custo total no valor presente líquido/descontado do investimento inicial R\$;

C_m = Custo total da manutenção no valor presente líquido/descontado em R\$;

C_{opp} = Custo total da energia operacional valor presente líquido/descontado-R\$; e

C_d = Custo total no valor presente líquido/descontado da desconstrução em R\$.

Com os dados de cada um dos componentes construtivos apresentados no Produto IV, (chamados de macro-componentes), foram estabelecidas rotinas em Python para a computação dos resultados de cada combinação proposta nesse estudo. As rotinas em Python foram baseadas nas combinações propostas no Produto 3 e nos quantitativos de metragem quadrada ou metragem cúbica dos componentes, levantados a partir dos modelos construídos em BIM. A partir desses dados, e com as demais informações contidas nos macro-componentes, foram realizados os somatórios, por tipologia e por zona, dos custos em cada uma das etapas do ciclo de vida das edificações analisadas. Além da obtenção desses resultados, também foi possível, por meio do Python, filtrar aquelas soluções que apresentaram desempenho superior conforme a classificação da nova proposta da NBR 15575.

O número de casos avaliados por zona bioclimática foram: 271 para ZB1, 1.323 para a ZB2, 1.003 para a ZB3, 563 para a ZB4, 563 para a ZB5, 563 para a ZB6, 399 para a ZB7 e 1.179 para a ZB8. Esses números incluem os casos base e os casos com estratégias de eficiência energética combinadas nas três tipologias avaliadas, para um total de 5.864 casos avaliados. A programação em Python, permitiu fazer o levantamento de custo incorporado de todos os casos avaliados por meio do uso dos macro-componentes. Já as simulações termo energéticas realizadas no Produto III permitiram ter o conhecimento dos dados de desempenho e consumo previsto para todos os casos. Desta forma, foi possível estimar o custo-benefício das medidas aplicadas de eficiência energética em habitações de interesse social e identificar as medidas com maior eficiência e menor custo no ciclo de vida energético da edificação.

O objetivo foi estabelecer casos ótimos em função do desempenho termo energético da habitação e de custos no ciclo de vida. Para tanto foram primeiro avaliados todos os casos simulados, posteriormente foram escolhidos os casos que apresentavam desempenho superior em relação à NBR 15575/2021 e em seguida foram selecionados os casos que tinham também custo inferior ou similar ao caso base considerando o ciclo de vida. Os casos otimizados foram aqueles que mostraram ainda menor custo inicial e operacional, sendo escolhidos em torno de 10 casos por tipologia e zona bioclimática. Os resultados são apresentados para as 8 zonas bioclimáticas, em função de quatro indicadores: custo total no ciclo de vida energético (em R\$), custo inicial (em R\$), custo operacional (em R\$) e PHFT (em %). O custo total no ciclo de vida energético considera o custo previsto para consumo energético com o uso do sistema de condicionamento de ar (que incorpora o indicador de carga térmica C_{gTT} obtido no Produto III); enquanto o indicador de PHFT (também obtido no produto III) mostra o desempenho da unidade habitacional com o uso exclusivo de ventilação natural.

Inicialmente são mostrados os resultados de todos os casos analisados com destaque para o caso base, posteriormente são mostrados os casos que apresentam nível superior na ABNT NBR 15575 (ou seja, mostram PHFT superior e menor carga térmica) e possuem custo no ciclo de vida similar ou inferior ao caso base. Finalmente são mostrados os casos otimizados. Dos casos otimizados são apresentadas as estratégias presentes neles a partir das quais são dadas recomendações de projeto por tipologia e zona bioclimática.

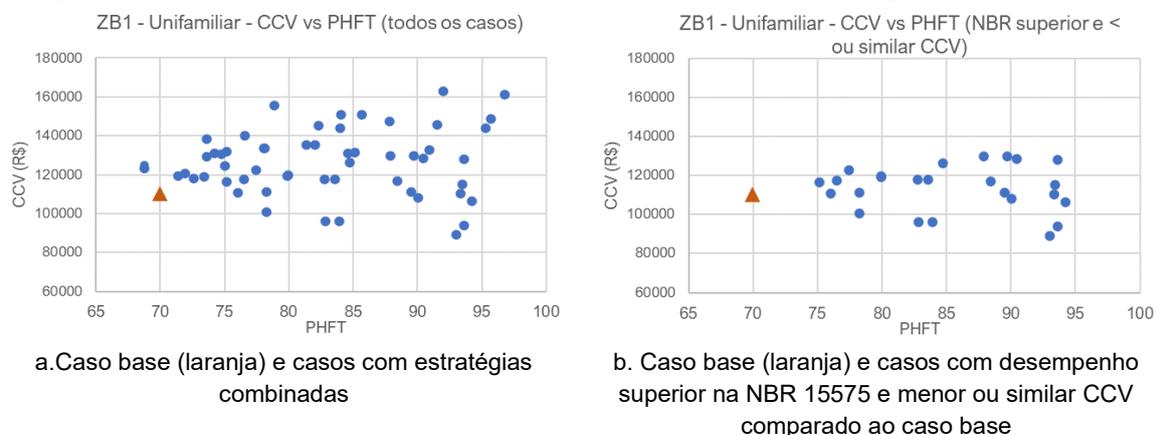
2.2 RESULTADOS

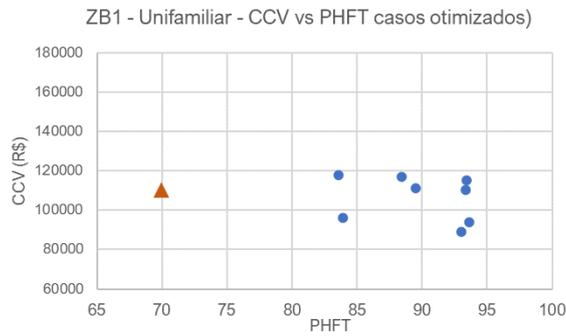
Os resultados obtidos são apresentados por zona bioclimática e para cada uma das três tipologias adotadas. Os casos otimizados são os que apresentam um melhor desempenho nos indicadores avaliados. Em todas as imagens o caso base é identificado na cor laranja, permitindo observar a melhoria dos casos com medidas de eficiência energética em relação ao caso base. Para a zona bioclimática 1 serão mostradas as análises incluindo todos os casos, os casos com desempenho superior na NBR e menor ou similar custo no ciclo de vida e os casos otimizados para os 4 indicadores analisados, custo no ciclo de vida, custo inicial, custo operacional e PHFT. Para as outras zonas bioclimáticas serão mostradas as análises da sequência dos casos somente para o indicador de custo no ciclo de vida e será mostrada a comparação dos casos otimizados em função também do indicador de custo inicial. As recomendações para os projetos são mostradas para as tipologias de casa (unifamiliar e geminada) e, para a tipologia multifamiliar. No Anexo 1 estão identificados com suas estratégias de eficiência energética presentes tanto os casos otimizados, quanto os casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor ou similar custo no ciclo de vida em relação ao caso base.

2.2.1 Zona bioclimática 1

A **Figura 1** mostra os resultados da zona bioclimática 1 (cidade Curitiba) para a **tipologia unifamiliar**. São apresentados resultados para os indicadores de custo no ciclo de vida e PHFT, para o caso base frente a todos os casos avaliados (Figura 1a), o caso base e os casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor ou similar custo no ciclo de vida em relação ao caso base (Figura 1b), e os casos otimizados (Figura 1c).

Figura 1. Custo no ciclo de vida e PHFT de medidas de EE para a tipologia unifamiliar – ZB1





c. Caso base (laranja) e casos otimizados

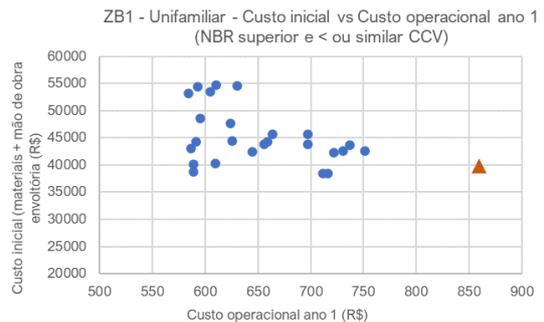
Observa-se que a maior parte dos casos avaliados apresenta um desempenho superior ao caso base, em relação ao indicador de PHFT. Os casos que têm um desempenho superior na NBR 15575 e menor ou similar custo no ciclo de vida do que o caso base apresentam um PHFT igual ou superior à 75% e custo similar ao caso base no CCV, com alguns mostrando considerados tendo um aumento de até 15%. Vale lembrar que o custo aqui não está sendo abordado como custo total da edificação, pois somente entram na composição do custo os componentes da envoltória que estão sendo avaliados. Os casos otimizados mostram PHFT entre 83% a 93%, enquanto o caso base possui um PHFT de 70%.

A Figura 2 mostra a análise com relação ao indicador de custo inicial e custo operacional. Mostram-se os resultados para os indicadores de custo inicial com relação ao custo operacional no primeiro ano, para o caso base e todos os casos avaliados (Figura 2a), o caso base e os casos com estratégias com desempenho superior na NBR 15575 e menor ou similar custo no ciclo de vida frente ao caso base (Figura 2b), e os casos otimizados (Figura 2c).

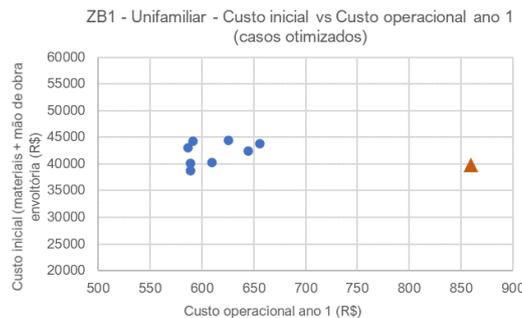
Figura 2. Custo inicial vs custo operacional de medidas de EE para a tipologia unifamiliar - ZB1



a. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas



b. Caso base (laranja) e casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor ou similar CCV comparado ao caso base

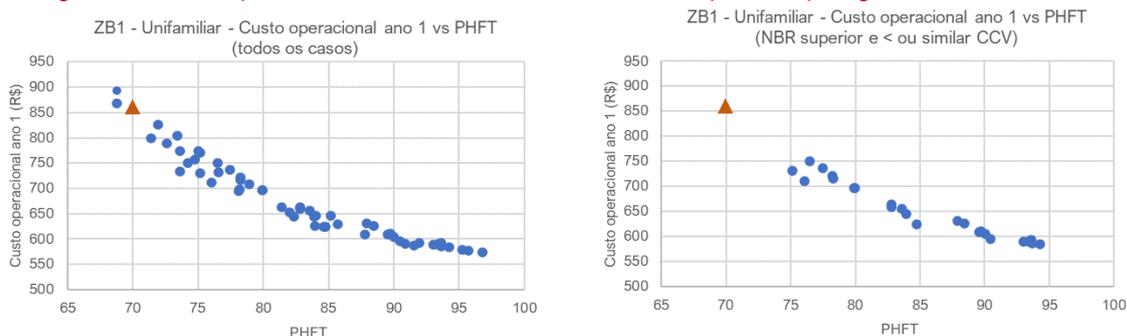


c. Caso base (laranja) e casos otimizados

Com relação aos indicadores de custo inicial e custo operacional (no ano 1), a Figura 2a mostra a maioria dos casos com custo superior ao caso base chegando alguns até 40% superior, e a grande maioria com custo operacional menor do que o caso base. Na Figura 2b os casos com desempenho superior na ABNT NBR 15575 e menor ou similar custo no ciclo de vida energético apresentam todos os custos operacionais inferiores e custo inicial que varia entre muito similar ao caso base até 40% superior. Já na Figura 2c, os casos otimizados mostram todos um custo operacional inferior ao caso base, sendo entre R\$580 a \$665 enquanto no caso base é de R\$ 860 e, o custo inicial varia tendo alguns custos inferiores ou muito similares ao caso base até outros custo superior aproximado em R\$ 5.000 a mais do que o caso base.

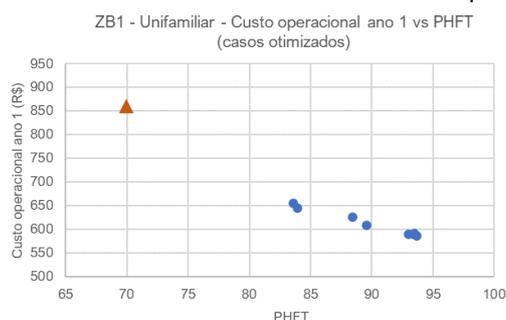
A Figura 3 apresenta a análise dos indicadores de custo operacional no primeiro ano e PHFT. Os resultados são mostrados para o caso base e todos os casos avaliados (Figura 3a), o caso base e casos com estratégias com desempenho superior na ABNT NBR 15575 e menor ou similar custo no ciclo de vida em relação ao caso base (Figura 3b), e os casos otimizados (Figura 3c).

Figura 3. Custo operacional vs PHFT de medidas de EE para a tipologia unifamiliar - ZB1



a. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas

b. Caso base (laranja) e casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor ou similar CCV comparado ao caso base



c. Caso base (laranja) e casos otimizados

A maioria dos casos com medidas de eficiência energética avaliados apresentam PHFT superior e custo operacional inferior ao caso base, com uma relação lineal. Os casos otimizados são os que se encontram com PHFT igual ou superior a 83% e custo operacional inferior a R\$ 700 no primeiro ano (Figura 3c). A Tabela 4 mostra o caso base e os casos considerados como otimizados na tipologia unifamiliar localizada na zona bioclimática 1 (ZB1), com suas estratégias de eficiência energética presentes e resultados no PHFT (em %), custo inicial (considerando mão de obra e materiais em R\$), custo total nas etapas de construção, manutenção e desconstrução (em R\$), consumo energético anual (em kWh/ano), custo operacional da eletricidade na vida útil (em R\$) e custo total no ciclo de vida (CCV em R\$). Em cinza é destacado o caso base. Os casos são apresentados em ordem decrescente com relação ao custo inicial sendo do caso com menor custo inicial ao de maior valor.

Para uma melhor compreensão, os casos são apresentados na **Tabela 5** associando por parede os componentes de cobertura e esquadria presentes nos casos otimizados. Comum a todos os casos, observa-se o pé direito de 2,50 m igual ao caso base (estratégia T1). Os casos mostram paredes com média a baixa transmitância térmica (algumas com uso de isolamento) com capacidade térmica média a alta. Contudo, a maioria dos casos apresenta o uso de paredes com baixa transmitância térmica. As coberturas têm em comum o uso de isolante. A necessidade de edificações com menor transmitância térmica na envoltória e maior isolamento se deve à necessidade de maior aquecimento do clima da ZB1. Nas esquadrias, observa-se a mesma esquadria do caso base com relação ao percentual de elementos transparentes ($P_{t,APP}^1$) sendo de 17% e sem veneziana para todos os casos. Contudo, com relação ao não uso de veneziana, ressalta-se a importância de pensar no clima futuro e no aquecimento observado nas mudanças climáticas, onde o sombreamento nos meses de temperaturas mais altas (verão) se faz necessário.

Tabela 4. Resultados de casos otimizados e caso base para a tipologia unifamiliar – ZB1

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
terrea_uni_ZB1_T1_P1_C5_E0	93.02	38812.21	60045.85	745.72	29187.61	89233.45
terrea_uni_ZB1_T1_P0_C0_E0	69.99	39718.23	67304.13	1088.65	42610.23	109914.37
terrea_uni_ZB1_T1_P1_C2_E0	93.36	40129.85	81136.88	745.72	29187.61	110324.49
terrea_uni_ZB1_T1_P1_C1_E0	89.54	40250.35	81095.90	771.58	30199.99	111295.89
terrea_uni_ZB1_T1_P4_C5_E0	83.92	42449.99	64182.31	816.34	31951.76	96134.07
terrea_uni_ZB1_T1_P5_C5_E0	93.64	42985.09	64778.58	742.23	29051.11	93829.69
terrea_uni_ZB1_T1_P4_C2_E0	83.58	43767.62	85273.34	830.58	32509.14	117782.48
terrea_uni_ZB1_T1_P5_C2_E0	93.45	44302.72	85869.61	748.62	29301.36	115170.97
terrea_uni_ZB1_T1_P5_C1_E0	88.45	44423.22	85828.64	791.63	30984.88	116813.51

Tabela 5. Casos otimizados com estratégias para a tipologia unifamiliar – ZB1

P1	Concreto 10cm com isolante EPS 2,5cm (Par. ext) e parede em concreto 10 cm (internas)	C1	Telha de barro (α 0,60) + lâ de rocha 5cm+ câmara de ar + forro de madeira	E0	$P_{t,APP}$ (17%) FV 0,45 sem veneziana
		C2	Telha de barro + lâ de rocha 5,0cm + câmara de ar+ forro laje concreto c/ EPS		
		C5	Laje concreto - Cerâmica 1cm abs 0,5 + contrapiso 5cm + isolante 5cm EPS + concreto 10cm		
P4	Tijolo 9 furos 14x19x29 (total 18cm) com reboco interno e externo	C2	Telha de barro + lâ de rocha 5,0cm + câmara de ar+ forro laje concreto c/ EPS	E0	$P_{t,APP}$ (17%) FV 0,45 sem veneziana
		C5	Laje concreto - Cerâmica 1cm abs 0,5 + contrapiso 5cm + isolante 5cm EPS + concreto 10cm		
P5	Tijolo 14x19x29 com isolante EPS 2,5cm no lado externo (Par.ext) + Tijolo 14x19x29 com reboco externo e interno (Par. int)	C1	Telha de barro (α 0,60) + lâ de rocha 5cm+ câmara de ar + forro de madeira	E0	$P_{t,APP}$ (17%) FV 0,45 sem veneziana
		C2	Telha de barro (α 0,60) + lâ de rocha 5,0cm + câmara de ar+ forro laje concreto c/ EPS		
		C5	Laje concreto - Cerâmica 1cm abs 0,5 + contrapiso 5cm + isolante 5cm EPS + concreto 10cm		

Os resultados dos casos otimizados permitiram a elaboração de diretrizes de projeto para a tipologia unifamiliar na zona bioclimática 1 conforme Tabela 6. O pé direito mínimo coloca-se como sendo 2,50 m para todos os ambientes de longa permanência. A cobertura deve

¹ $P_{t,APP}$ é o percentual de elementos transparentes, ou seja, a razão entre a área de superfície dos elementos transparentes do ambiente de permanência prolongada e a sua área de piso. (Fonte: ABNT, NBR 15575, Emenda)

possuir transmitância térmica máxima de 0,60 W/m²K, o que implica no uso de isolamento. As paredes externas devem possuir transmitância térmica máxima de 1,85 W/m²K com capacidade térmica mínima de 130 kJ/m²K. A absorptância máxima a ser especificada em paredes externas e coberturas deve ser de 0,60 (cores médias), incluindo a telha de barro não vitrificada. Para as esquadrias dos ambientes de longa permanência, o percentual de elementos transparentes (P_{t,App}) deve ser mínimo de 17%, o fator de ventilação das esquadrias mínimo é de 45% (tipo correr) e precisam de sombreamento somente nos dormitórios.

Tabela 6. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB1

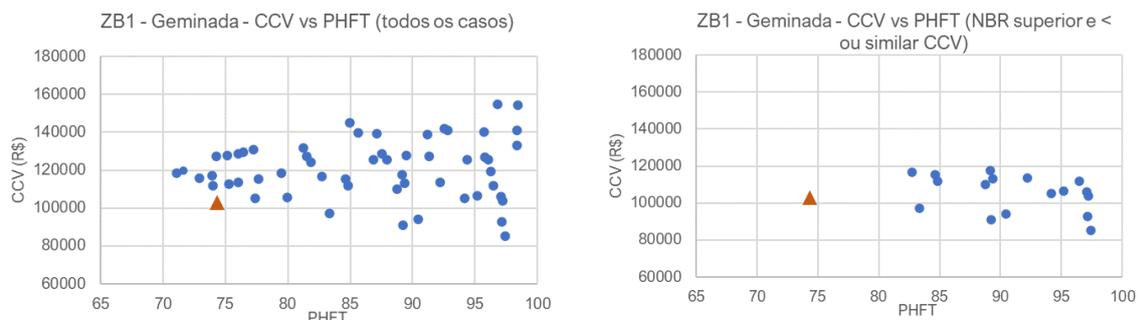
ITENS		CRITÉRIOS		
Pé-direito mínimo	2,50 m	C1		
Sistemas de cobertura	$U \leq 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$	C2		
Sistema de vedação vertical	$U \leq 1,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $CT \geq 130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$	C5		
Absortância máxima para paredes e coberturas	0,6 (inclui cobertura em telha de barro não vitrificada)	P1		
Esquadrias	P _{t,APP}	Sombreamento	Fator de ventilação	P4 P5 E1
	17%	Venezianas nos dormitórios	45%	

Obs. Transmitância térmica (U) em W/m²K, Capacidade térmica (CT) em kJ/m²K.

Conforme colocado anteriormente, a partir deste momento, os resultados serão mostrados somente em função da análise de custo no ciclo de vida e PHFT para todos os casos, assim como de custo inicial somente para os casos otimizados.

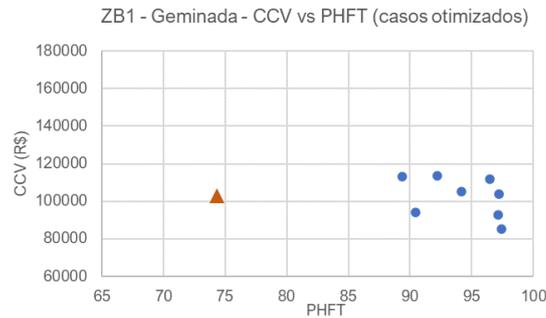
Para a **tipologia geminada** na ZB1, os resultados podem ser vistos na Figura 4 em função do custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional. Nota-se o caso base com um custo menor no ciclo de vida e um PHFT superior quando comparado ao caso base da tipologia unifamiliar. Os casos otimizados na tipologia casa geminada alcançam valores de PHFT superiores aos observados para a tipologia unifamiliar (Figura 4c).

Figura 4. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia geminada na ZB1

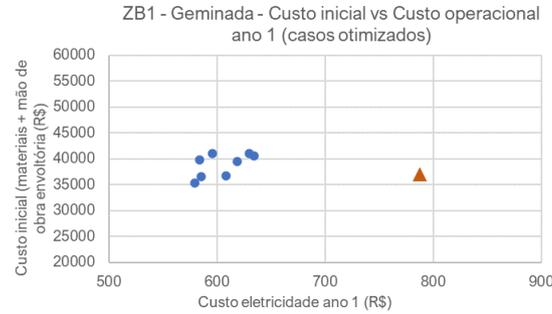


a. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas (azul)

b. Caso base (laranja) e casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor ou similar CCV comparado ao caso base



c. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo no ciclo de vida (CCV) e PHFT



d. Caso base (laranja) e casos otimizados com custo inicial e custo operacional (no ano 1)

Os valores no ciclo de vida dos casos otimizados (Figura 4c) chegam a custos no ciclo de vida similares ao caso base, porém com valores superiores de PHFT chegando até 97%, quando o caso base obteve 74%. O custo inicial dos casos otimizados mostra ao igual que na tipologia unifamiliar valores muito similares ao caso base, sendo alguns inferiores ou com pouco incremento (Figura 4d).

A Tabela 7 mostra os casos otimizados com suas estratégias (ou macro-componentes) e seus resultados de PHFT, custo inicial, consumo energético anual, custo operacional na vida útil considerando os 50 anos, custo para construção, manutenção e desconstrução (de mão de obra e materiais) e o custo total no ciclo de vida energético (CCV). Ressalta-se em cinza o caso base.

Tabela 7. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia geminada – ZB1.

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
geminada_ZB1_T1_P1_C5_E0	97.40	35406.83	56358.28	733.01	28690.44	85048.72
geminada_ZB1_T1_P1_C2_E0	97.22	36563.29	74862.31	740.72	28991.88	103854.20
geminada_ZB1_T1_P1_C1_E0	94.15	36668.91	74826.11	770.07	30140.77	104966.88
geminada_ZB1_T1_P0_C0_E0	74.40	36933.91	63641.99	997.05	39024.73	102666.72
geminada_ZB1_T1_P4_C5_E0	90.45	39468.62	63408.25	783.00	30646.96	94055.21
geminada_ZB1_T1_P5_C5_E0	97.12	39803.30	63781.19	739.41	28940.70	92721.89
geminada_ZB1_T1_P4_C2_E0	89.37	40625.07	81912.28	802.76	31420.47	113332.75
geminada_ZB1_T1_P5_C2_E0	96.44	40959.76	82285.23	754.08	29515.14	111800.37
geminada_ZB1_T1_P5_C1_E0	92.18	41065.38	82249.02	797.39	31210.03	113459.05

A Tabela 8 mostra os casos otimizados com a descrição dos seus componentes. Observa-se muitas semelhanças com os casos otimizados para a tipologia unifamiliar. Todos possuem pé-direito de 2,50 m (estratégia T1), assim como a mesma esquadria do caso base (E0) a qual tem um percentual de elementos transparentes ($P_{t,APP}$) de 17% em relação à área do ambiente, fator de ventilação de 0,45 (de correr) sem o uso de veneziana. As

paredes dos casos otimizados são as mesmas consideradas na tipologia unifamiliar (P1, P4 e P5), com transmitância térmica média a baixa e capacidade térmica média a alta. Com relação à veneziana considera-se a mesma observação já mencionada na tipologia unifamiliar com relação às mudanças climáticas. Nas coberturas, destacam-se, novamente, as coberturas com isolamento (C1, C2 e C5).

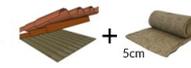
Tabela 8. Casos otimizados com estratégias para a tipologia geminada – ZB1

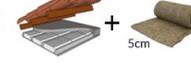
P1	Concreto 10cm com isolante EPS 2,5cm (Par. ext) e parede em concreto 10 cm (internas)	C1	Telha de barro (α 0,60) + lâ de rocha 5cm+ câmara de ar + forro de madeira	E0	$P_{t,APP}$ (17%) FV 0,45 sem veneziana
		C2	Telha de barro + lâ de rocha 5,0cm + câmara de ar+ forro laje concreto c/ EPS		
		C5	Laje concreto - Cerâmica 1cm abs 0,5 + contrapiso 5cm + isolante 5cm EPS + concreto 10cm		
P4	Tijolo 9 furos 14x19x29 (total 18cm) com reboco interno e externo	C2	Telha de barro + lâ de rocha 5,0cm + câmara de ar+ forro laje concreto c/ EPS	E0	$P_{t,APP}$ (17%) FV 0,45 sem veneziana
		C5	Laje concreto - Cerâmica 1cm abs 0,5 + contrapiso 5cm + isolante 5cm EPS + concreto 10cm		
P5	Tijolo 14x19x29 com isolante EPS 2,5cm no lado externo (Par.ext) + Tijolo 14x19x29 com reboco externo e interno (Par. int)	C1	Telha de barro (α 0,60) + lâ de rocha 5cm+ câmara de ar + forro de madeira	E0	$P_{t,APP}$ (17%) FV 0,45 sem veneziana
		C2	Telha de barro (α 0,60) + lâ de rocha 5,0cm + câmara de ar+ forro laje concreto c/ EPS		
		C5	Laje concreto - Cerâmica 1cm abs 0,5 + contrapiso 5cm + isolante 5cm EPS + concreto 10cm		

Os resultados para a tipologia de casa geminada na zona bioclimática 1 são iguais às da tipologia de casa geminada conforme coloca-se na Tabela 9. O pé direito mínimo é de 2,50 m para todos os ambientes de longa permanência. A cobertura deve possuir transmitância térmica máxima de 0,60 W/m²K. As paredes externas devem possuir transmitância térmica máxima de 1,85 W/m²K com capacidade térmica mínima de 130 kJ/m²K. A absorvância máxima a ser especificada em paredes externas e coberturas deve ser de 0,60 (cores médias), incluindo a telha de barro não vitrificada. Para as esquadrias dos ambientes de longa permanência, o percentual de elementos transparentes ($P_{t,APP}$) é de 17% com fator de ventilação das esquadrias mínimo de 45% (tipo correr) e sombreamento somente nos dormitórios.

Tabela 9. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia geminada – ZB1

ITENS	CRITÉRIOS		
Pé-direito mínimo	2,50 m		
Sistemas de cobertura	$U \leq 0,60$ W/m ² K		
Sistema de vedação vertical	$U \leq 1,85$ W/m ² K e CT ≥ 130 kJ/m ² K		
Absortância máxima para paredes e coberturas	0,6. Inclui a cobertura em telha de barro não vitrificada.		
Esquadrias	$P_{t,APP}$	Sombreamento	Fator de ventilação
	17%	Venezianas nos dormitórios	45%

C1 

C2 

C5 

P1 

P4 

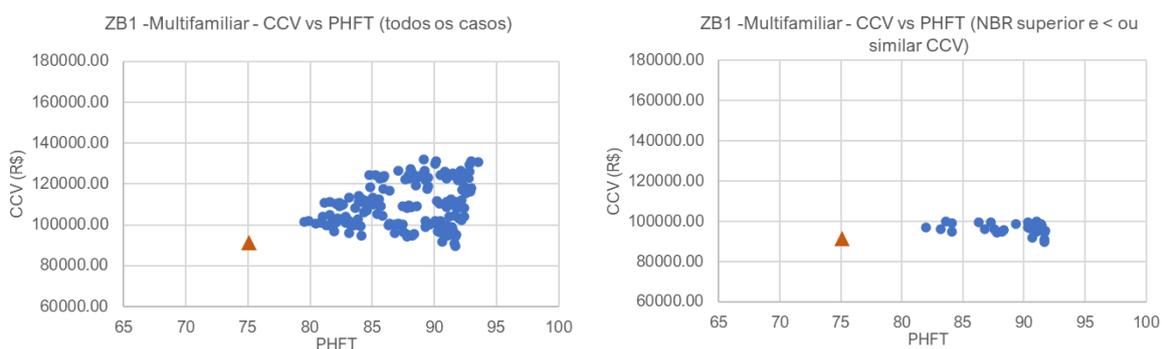
P5 

E1 

Obs. Transmitância térmica (U) em W/m²K, Capacidade térmica (CT) em kJ/m²K.

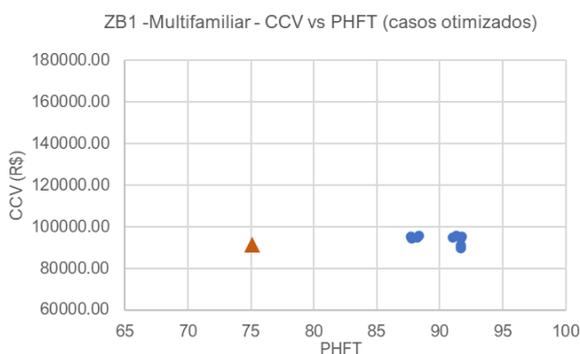
Os resultados para a **tipologia multifamiliar** da ZB1 são mostrados na Figura 5. Observa-se que todos os casos simulados têm melhor desempenho no indicador de PHFT, porém a maioria têm um custo superior no indicador de CCV (Figura 5a). Nesta tipologia, o caso base possui o menor custo no ciclo de vida entre os casos base das três tipologias avaliadas e PHFT similar ao do caso base da casa geminada. Os casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor ou similar custo no ciclo de vida, possuem PHFT superior a 80% chegando até aproximadamente 92% (Figura 5b). Dos casos otimizados, dois possuem custos no ciclo de vida inferior ao caso base e os outros superior mas similar ao caso base (Figura 5c). O custo inicial é somente um pouco superior ao do caso base (Figura 5d). Vale lembrar que os resultados aqui mostrados representam uma média de todas as unidades, sendo que normalmente as unidades localizadas no pavimento térreo possuem um melhor desempenho e as unidades localizadas na cobertura normalmente possuem o pior desempenho em razão da exposição solar da cobertura.

Figura 5. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia multifamiliar – ZB1

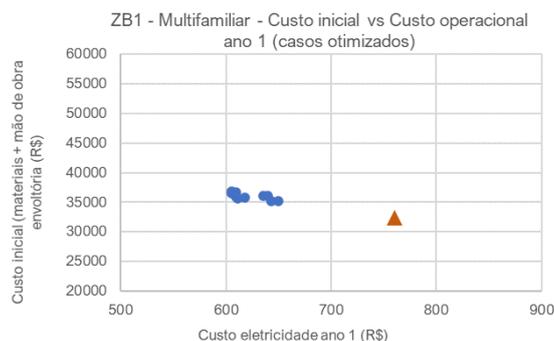


a. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas

b. Caso base (laranja) e casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor ou similar CCV comparado ao caso base



c. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo no ciclo de vida (CCV) e PHFT



d. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo inicial e operacional (ano 1)

Os casos otimizados e o caso base da tipologia multifamiliar na ZB1 são mostrados na Tabela 10 com seus resultados nos diversos indicadores avaliados. Algumas semelhanças e diferenças são observadas com relação às outras tipologias. As semelhanças encontram-se em que todos os casos continuam possuindo o pé direito igual ao caso base no valor de 2,50 m (estratégia T1). Por outro lado, está presente em todos os casos otimizados a parede P1 (concreto com isolante). As coberturas C1 (Telha de barro com isolante e forro de madeira), C2 (telha de barro isolada com laje com EPS) e C5 (laje de concreto com isolante) continuam presentes, aparecendo também as coberturas C3 (Telha de barro de α 0,45 com forro de madeira) e C4 (Telha de barro α 0,60 com forro de madeira). Nesta tipologia o caso com maior PHFT apresenta esquadrias com uso de venezianas nos dormitórios e sala (E3) com $P_{t,APP}$ de 17% e fator de ventilação de 45%.

Tabela 10. Casos otimizados com resultados de PHFT e CCV ZB1 para a tipologia multifamiliar – ZB1

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
multi_h_ZB1_T1_P0_C0_E0	75.15	32270.12	53621.92	963.02	37692.95	91314.87
multi_h_ZB1_T1_P1_C3_E9	87.78	35250.37	62607.50	814.55	31881.69	94489.19
multi_h_ZB1_T1_P1_C4_E9	88.22	35250.37	62607.50	822.25	32183.13	94790.63
multi_h_ZB1_T1_P1_C2_E9	91.67	35659.24	63968.27	773.91	30291.31	94259.58
multi_h_ZB1_T1_P1_C1_E9	91.06	35800.87	64270.73	781.96	30606.26	94876.99
multi_h_ZB1_T1_P1_C5_E9	91.68	35932.61	59607.03	771.99	30215.95	89822.98
multi_h_ZB1_T1_P1_C3_E3	87.73	36114.52	63928.15	804.25	31478.59	95406.74
multi_h_ZB1_T1_P1_C4_E3	88.35	36114.52	63928.15	810.32	31716.04	95644.20
multi_h_ZB1_T1_P1_C2_E3	91.74	36523.38	65288.92	766.12	29986.32	95275.24
multi_h_ZB1_T1_P1_C1_E3	91.31	36665.02	65591.39	771.48	30196.04	95787.44
multi_h_ZB1_T1_P1_C5_E3	91.64	36796.75	60927.68	766.34	29994.85	90922.53

De forma mais específica a Tabela 11 mostra os casos otimizados com as características dos componentes e suas combinações adotando como referência as paredes. De forma geral, a parede possui menor transmitância térmica e capacidade térmica média a alta. Entre as esquadrias se apresentam casos com esquadrias menores com $P_{t,APP}$ de 17% e fator de ventilação de 0,45 (janela de correr). As esquadrias têm venezianas nos dormitórios e sala (E3). Outros casos apresentam esquadrias com $P_{t,APP}$ de 23%, fator de ventilação de 0,45 (janela de correr) e veneziana nos dormitórios (E9), contudo para as diretrizes adota-se o menor valor de área encontrada para as esquadrias.

Com base nos resultados dos casos otimizados são propostas as diretrizes de projeto para a tipologia multifamiliar para a zona bioclimática 1 conforme colocado na Tabela 12. O pé direito mínimo deve ser de 2,50 m para os ambientes de longa permanência. A transmitância térmica máxima da cobertura é de 2,02 W/m²K. As paredes externas devem possuir transmitância térmica máxima de 1,10 W/m²K com capacidade térmica mínima de 130 kJ/m²K. A absorvância máxima a ser especificada em paredes externas e coberturas deve ser de 0,60 (cores médias), incluindo a telha de barro não vitrificada. O percentual de elementos transparentes para as esquadrias dos ambientes de longa permanência, ($P_{t,APP}$) deve ser mínimo de 17%, esquadrias com fator de ventilação mínimo de 45% (tipo correr) e sombreamento nos dormitórios e sala.

Tabela 11. Casos otimizados com estratégias para a tipologia multifamiliar – ZB1

P1	Concreto 10cm com isolante EPS 2,5cm (Parede externa) e parede em concreto 10 cm (internas)	C1	Telha de barro (α 0,60) + lâ de rocha 5cm+ câmara de ar + forro de madeira 1cm	E3	P _{t,APP} (17%) Fator de ventilação de 0,45 (correr) com veneziana nos dormitórios e sala
				E9	P _{t,APP} (23%) Fator de ventilação de 0,45 (correr) com veneziana nos dormitórios
		C2	Telha de barro (α 0,60) + lâ de rocha 5,0cm + câmara de ar+ forro laje concreto c/ EPS	E3	P _{t,APP} (17%) Fator de ventilação de 0,45 (correr) com veneziana nos dormitórios e sala
				E9	P _{t,APP} (23%) Fator de ventilação de 0,45 (correr) com veneziana nos dormitórios
		C3	Telha de barro (α 0,45) + câmara de ar + forro de madeira 1cm	E3	P _{t,APP} (17%) Fator de ventilação de 0,45 (correr) com veneziana nos dormitórios e sala
				E9	P _{t,APP} (23%) Fator de ventilação de 0,45 (correr) com veneziana nos dormitórios
		C4	Telha de barro (α 0,60) + câmara de ar + forro de madeira 1cm	E3	P _{t,APP} (17%) Fator de ventilação de 0,45 (correr) com veneziana nos dormitórios e sala
				E9	P _{t,APP} (23%) Fator de ventilação de 0,45 (correr) com veneziana nos dormitórios
		C5	Laje concreto - Cerâmica 1cm abs 0,5 + contrapiso 5cm + isolante 5cm EPS + concreto 10cm	E3	P _{t,APP} (17%) Fator de ventilação de 0,45 (correr) com veneziana nos dormitórios e sala
				E9	P _{t,APP} (23%) Fator de ventilação de 0,45 (correr) com veneziana nos dormitórios

Tabela 12. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia multifamiliar – ZB1

ITENS	CRITÉRIOS			
Pé-direito mínimo	2,50 m			
Sistemas de cobertura	$U \leq 2,02 \text{ W/m}^2\text{K}$			
Sistema de vedação vertical	$U \leq 1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $CT \geq 130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$			
Absortância máxima para paredes e coberturas	0,6 (inclui-se a telha de barro não vitrificada)			
Esquadrias	P _{t,APP}	Sombreamento	Fator de ventilação	
	17%	Venezianas nos dormitórios e sala	45%	

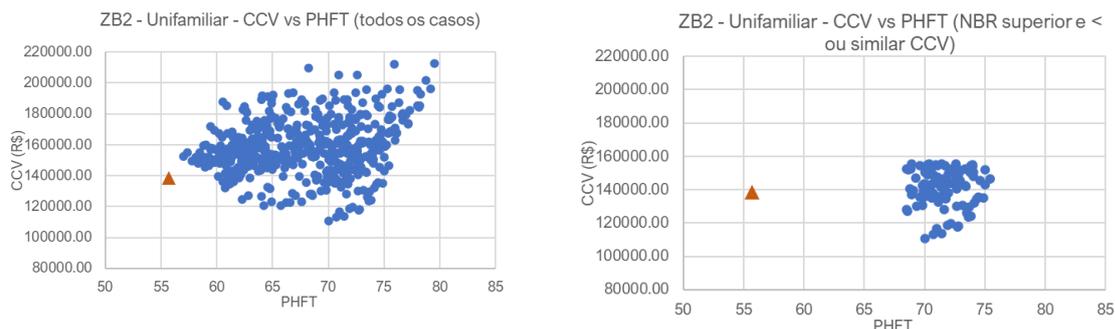
Obs. Transmitância térmica (U) em W/m²K, Capacidade térmica (CT) em kJ/m²K.

2.2.2 Zona bioclimática 2

Os casos analisados na **tipologia unifamiliar** para a zona bioclimática 2 são mostrados na Figura 6. O caso base aparece em laranja em todas as imagens. Os casos com desempenho superior na NBR 15575 e com menor ou similar custo no ciclo de vida em relação ao caso base mostram-se na Figura 6b e alcançam um valor de PHFT de aproximadamente 68% a 76%. Os casos otimizados (Figura 6c) têm um PHFT entre 70% a 75% (o caso base é de aproximadamente 55%), e menor custo no ciclo de vida do que o caso base. Com relação ao custo inicial todos os casos otimizados apresentam custo inicial

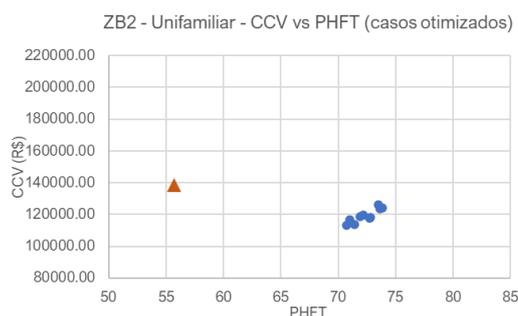
maior do que o caso base com incremento variando entre aproximadamente R\$ 2.500 a R\$ 11.500 (Figura 6d).

Figura 6. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia unifamiliar – ZB2

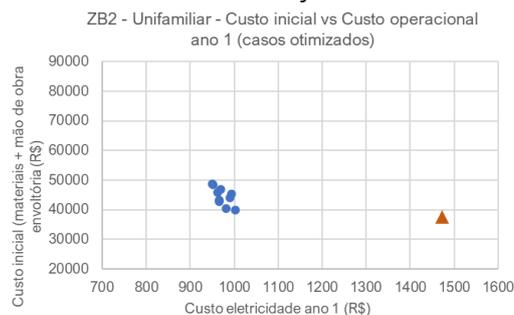


a. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas

b. Caso base (laranja) e casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor ou similar CCV comparado ao caso base



c. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo no ciclo de vida (CCV) e PHFT



d. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo inicial e operacional (ano 1)

A Tabela 13 mostra o caso base (com destaque em cinza) e os casos otimizados com os resultados de PHFT e os relacionados ao custo no ciclo de vida. O pé direito de 2,50 m continua sendo uma constante em todos os casos otimizados (estratégia T1).

A Tabela 14 mostra os casos otimizados com a descrição das suas características. Os casos mostram a presença de dois tipos de parede, ambas externas com isolamento e capacidade térmica média a alta, a P1 (concreto com isolante) e a P5 (tijolo com isolante). Apresenta-se um único tipo de cobertura nos casos otimizados com isolamento e capacidade térmica alta (C5). Das esquadrias, algumas possuem venezianas somente nos dormitórios, e outras nos dormitórios e sala, tendo a maioria fator de ventilação de 0,45 (tipo de correr) com os dois tipos de porcentagem de elementos transparentes – $P_{t,APP}$ 17% e 23%. Porém também se apresenta esquadria com fator de ventilação de 0,90 (tipo de abrir) tanto para $P_{t,APP}$ 17% quanto de $P_{t,APP}$ 23%.

Tabela 13. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB2

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
terrea_uni_ZB2_T1_P0_C0_E0	55.69	37326.76	65396.72	1619.91	73034.91	138431.63
terrea_uni_ZB2_T1_P1_C5_E9	71.44	39809.89	63800.71	1100.86	49633.00	113433.71
terrea_uni_ZB2_T1_P1_C5_E3	70.74	40355.10	64607.71	1079.06	48650.28	113257.99
terrea_uni_ZB2_T1_P1_C5_E11	72.72	42878.31	69820.01	1061.33	47851.00	117671.01
terrea_uni_ZB2_T1_P1_C5_E5	72.77	43255.97	70506.28	1060.46	47811.69	118317.97
terrea_uni_ZB2_T1_P5_C5_E1	70.98	44146.97	67793.99	1088.07	49056.47	116850.46
terrea_uni_ZB2_T1_P5_C5_E9	72.15	45278.47	70442.00	1092.72	49266.12	119708.12
terrea_uni_ZB2_T1_P5_C5_E3	71.92	45910.54	71230.92	1056.97	47654.45	118885.37
terrea_uni_ZB2_T1_P1_C5_E13	73.50	46902.07	77995.52	1064.24	47982.03	125977.55
terrea_uni_ZB2_T1_P5_C5_E11	73.64	48333.49	76464.10	1045.35	47130.33	123594.43
terrea_uni_ZB2_T1_P5_C5_E5	73.84	48811.41	77129.49	1044.19	47077.92	124207.41

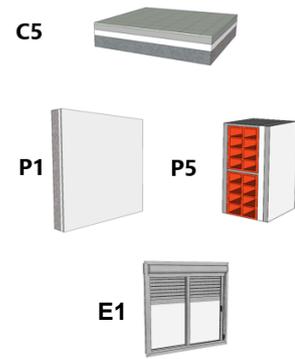
Tabela 14. Casos otimizados com estratégias para a tipologia unifamiliar – ZB2

P1	Concreto 10cm com isolante EPS 2,5cm (Par, ext) e parede em concreto 10 cm (internas)	C5	Laje concreto - Cerâmica 1cm abs 0,5 + contrapiso 5cm + isolante 5cm EPS + concreto 10cm	E3	P _{t,APP} (17%) FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
				E5	P _{t,APP} (17%) FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
				E9	P _{t,APP} (23%) FV 0,45 com veneziana nos dormitórios
				E11	P _{t,APP} (23%) FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
P5	Tijolo 14x19x29 com isolante EPS 2,5cm no lado externo (Par,ext) + Tijolo 14x19x29 com reboco externo e interno (Par, int)	C5	Laje concreto - Cerâmica 1cm abs 0,5 + contrapiso 5cm + isolante 5cm EPS + concreto 10cm	E1	P _{t,APP} (17%) FV 0,45 com veneziana nos dormitórios
				E3	P _{t,APP} (17%) FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
				E5	P _{t,APP} (17%) FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
				E9	P _{t,APP} (23%) FV 0,45 com veneziana nos dormitórios
				E11	P _{t,APP} (23%) FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
				E13	P _{t,APP} (23%) FV 0,90 com veneziana nos dormitórios

As diretrizes para projetos da tipologia de casa unifamiliar na ZB2 são colocadas na Tabela 15. O pé direito mínimo deve ser de 2,50m, a transmitância térmica das coberturas deve ser de máximo de 0,60 W/m²K, enquanto a transmitância térmica das paredes deve ser menor ou igual a 1,10 W/m²K com capacidade térmica maior ou igual a 130 kJ/m²K. A absorvância máxima para paredes e coberturas deve ser de 0,60 (cores médias), exceção feita às coberturas em telha de barro não vitrificada. Para esquadrias podem ter P_{t,APP} mínimo de 17% ou 23% com diferentes critérios a observar conforme colocado na Tabela 14. Contudo, o critério mínimo deve ser de esquadrias com P_{t,APP} de 17% com sombreamento nos dormitórios e fator de ventilação mínimo de 45% (ex. tipo correr). Outras configurações de esquadrias que considerem sombreamento em mais ambientes e fator de ventilação ou tamanho maior tendem a aumentar o PHFT conforme observado nos resultados dos casos otimizados.

Tabela 15. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia de casa unifamiliar – ZB2

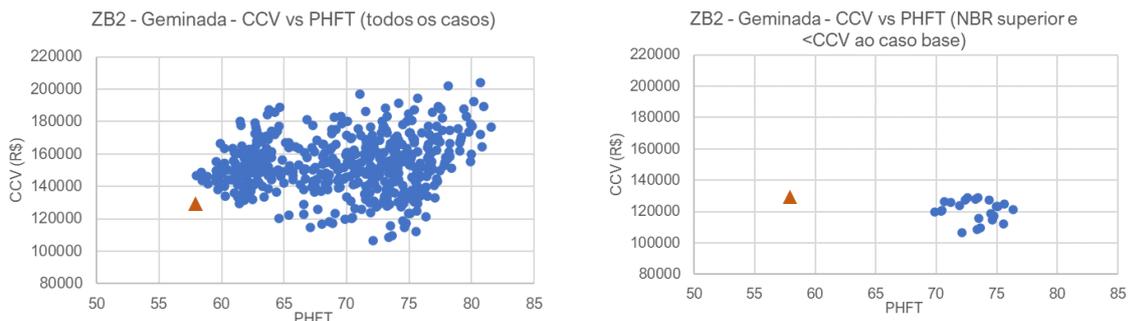
ITENS	CRITÉRIOS		
Pé-direito mínimo	2,50 m		
Sistemas de cobertura	$U \leq 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$		
Sistema de vedação vertical	$U \leq 1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $CT \geq 130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$		
Absortância máxima para paredes e coberturas	0,6. Inclui a cobertura em telha de barro não vitrificada.		
Esquadrias	$P_{t,APP}$	Sombreamento	Fator de ventilação
	17%	Venezianas nos dormitórios	FV45



Obs. Transmittância térmica (U) em $\text{W/m}^2\text{K}$, Capacidade térmica (CT) em $\text{kJ/m}^2\text{K}$

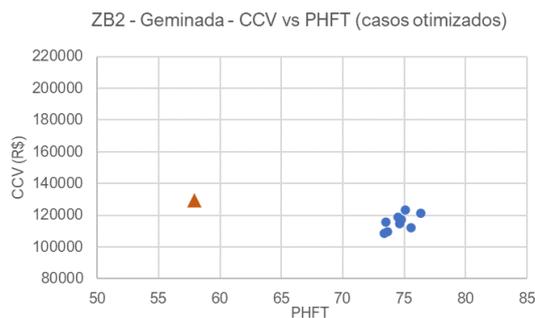
Os resultados para a **tipologia geminada** na ZB2 podem ser observados na Figura 7. O caso base mostra melhor desempenho em relação ao caso base da tipologia unifamiliar. Os resultados para todos os casos (Figura 7a) mostram casos com PHFT chegando ao redor de 82%, contudo os resultados com desempenho superior na NBR 15575 e custo menor no ciclo de vida (Figura 7b) apresentam, PHFT superior a 69% até 77%. O caso base apresenta um PHFT de 58%. Os casos otimizados têm PHFT ao redor de 75% e custo no ciclo de vida menor do que o caso base (Figura 7c). Os casos otimizados mostram também uma economia significativa no custo de energia operacional, sendo em torno de 30% (Figura 7d).

Figura 7. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia geminada – ZB2

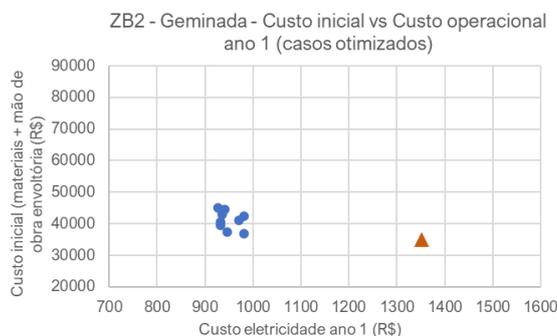


a. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas

b. Caso base (laranja) e casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor CCV comparado ao caso base



c. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo no ciclo de vida (CCV) e PHFT



d. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo inicial e operacional (ano 1)

A Tabela 16 mostra o caso base e os casos otimizados com os resultados nos diversos indicadores analisados. O pé direito de 2,50 m (estratégia T1) está presente em todos os casos otimizados.

Tabela 16. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia geminada – ZB2

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
geminada_ZB2_T1_P0_C0_E0	57.95	34840.33	62163.37	1486.16	67004.84	129168.21
geminada_ZB2_T1_P1_C5_E9	73.62	36866.03	61031.78	1078.71	48634.47	109666.25
geminada_ZB2_T1_P1_C5_E3	73.40	37249.23	61516.05	1039.62	46872.12	108388.17
geminada_ZB2_T1_P1_C5_E11	75.53	39494.81	66154.85	1024.36	46184.22	112339.07
geminada_ZB2_T1_P1_C5_E5	74.60	40617.74	68348.35	1023.64	46151.46	114499.81
geminada_ZB2_T1_P5_C5_E1	73.53	41091.18	67392.63	1066.79	48097.25	115489.88
geminada_ZB2_T1_P5_C5_E9	74.48	42322.13	70247.26	1077.69	48588.61	118835.87
geminada_ZB2_T1_P5_C5_E3	74.78	42794.56	70712.95	1028.29	46361.11	117074.05
geminada_ZB2_T1_P1_C5_E13	75.11	44605.03	76523.11	1033.52	46596.96	123120.07
geminada_ZB2_T1_P5_C5_E11	76.33	44950.91	75370.33	1019.13	45948.36	121318.70

As características de todos os casos otimizados são apresentadas na Tabela 17, em função das paredes presentes nos casos. Os casos otimizados são muito similares aos presentes na tipologia unifamiliar. As paredes presentes são a P1 e a P5, ambas com isolante nas paredes externas. A cobertura presente em todos os casos otimizados é C5, com isolante e capacidade térmica alta. Nas esquadrias têm algumas com 17% de percentual de elementos transparentes ($P_{t,APP}$) dos ambientes de permanência prolongada e outras com 23%, assim como algumas com fator de ventilação de 45% e 90%, sendo algumas com venezianas nos dormitórios e sala e outras somente nos dormitórios.

A análise dos casos otimizados possibilitou a elaboração de diretrizes para a tipologia de casa geminada na ZB2. Os critérios presentes nas diretrizes de projeto são colocados na Tabela 18. O pé direito mínimo é de 2,50m, a transmitância térmica das coberturas deve ser máxima de 0,60 W/m²K, enquanto a transmitância térmica das paredes deve ser menor ou igual a 1,10 W/m²K com capacidade térmica maior ou igual a 130 kJ/m²K. A absorvância máxima para paredes e coberturas deve ser de 0,60 (cores médias), exceção às coberturas em telha de barro não vitrificada. Para a tipologia de casa geminada, as esquadrias devem ter limites mínimos com $P_{t,APP}$ de 17%, possuir sombreamento ao menos nos dormitórios com fator de ventilação mínimo de 45% (ex. janela de correr).

Tabela 17. Casos otimizados com estratégias para a tipologia geminada – ZB2

P1	Concreto 10cm com isolante EPS 2,5cm (Parede externa) e parede em concreto 10 cm (internas)	C5	Laje concreto - Cerâmica 1cm abs 0,5 + contrapiso 5cm + isolante 5 cm EPS + concreto 10cm	E3	P _{t,APP} (17%) FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
				E5	P _{t,APP} (17%) FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
				E9	P _{t,APP} (23%) FV 0,45 com veneziana nos dormitórios
				E11	P _{t,APP} (23%) FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
				E13	P _{t,APP} (23%) FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
P5	Tijolo 14x19x29 com isolante EPS 2,5cm no lado externo (Parede externa) + Tijolo 14x19x29 com reboco externo e interno (Parede interna)	C5	Laje concreto - Cerâmica 1cm abs 0,5 + contrapiso 5cm + isolante 5 cm EPS + concreto 10cm	E1	P _{t,APP} (17%) FV 0,45 com veneziana nos dormitórios
				E3	P _{t,APP} (17%) FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
				E9	P _{t,APP} (23%) FV 0,45 com veneziana nos dormitórios
				E11	P _{t,APP} (23%) FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala

Tabela 18. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia de casa geminada – ZB2

ITENS	CRITÉRIOS		
Pé-direito mínimo	2,50 m		
Sistemas de cobertura	$U \leq 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$		
Sistema de vedação vertical	$U \leq 1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $CT \geq 130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$		
Absortância máxima para paredes e coberturas	0,6. Inclui a cobertura em telha de barro não vitrificada.		
Esquadrias	P _{t,APP}	Sombreamento	Fator de ventilação
	17%	Venezianas nos dormitórios	FV 45

C5 

P1 

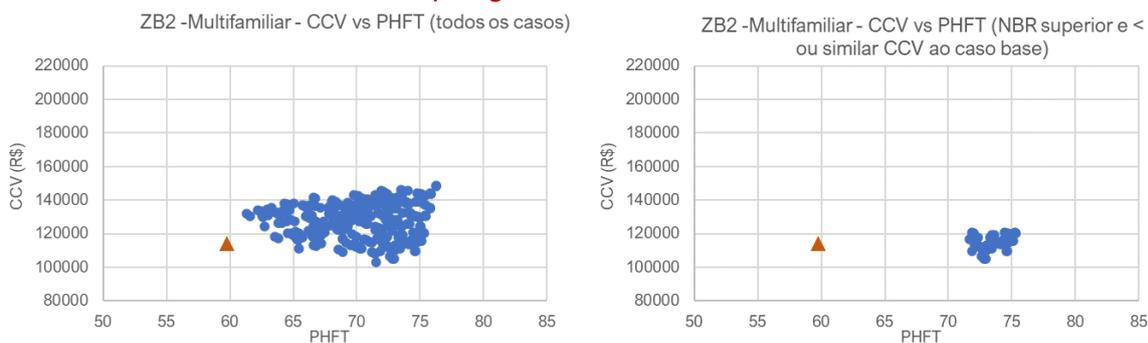
P5 

E1 

Obs. Transmitância térmica (U) em $\text{W/m}^2\text{K}$, Capacidade térmica (CT) em $\text{kJ/m}^2\text{K}$

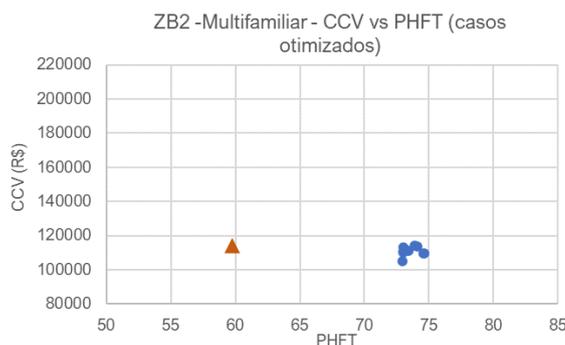
Para a **tipologia multifamiliar** na zona bioclimática 2 os resultados podem ser vistos na Figura 8. O caso base apresenta um PHFT em torno de 60% enquanto nos casos com desempenho superior na NBR 15575 e custo no ciclo de vida menor ou similar em relação ao caso base, o PHFT se encontra entre 71% a 76% (Figura 8b). Foram selecionados os casos otimizados com maior PHFT, menor custo no ciclo de vida e menor custo inicial. O custo inicial do caso base se encontra em torno de R\$ 30.000 enquanto os casos otimizados variam entre aproximadamente R\$ 35.000 a R\$ 39.000 (Figura 8d).

Figura 8. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia multifamiliar – ZB2

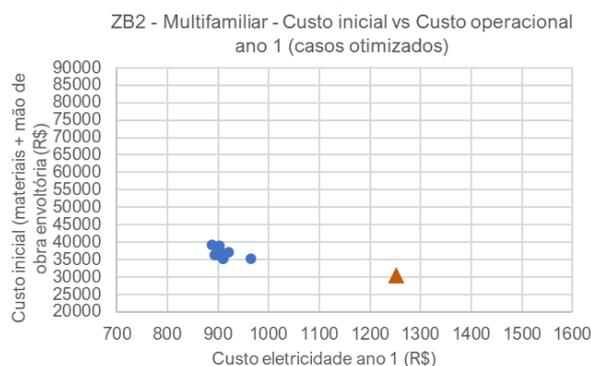


a. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas

b. Caso base (laranja) e casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor ou similar CCV comparado ao caso base



c. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo no ciclo de vida (CCV) e PHFT



d. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo inicial e operacional (ano 1)

A Tabela 19 mostra os resultados de PHFT, custo inicial, consumo energético, custo da construção, manutenção e desconstrução, custo operacional na vida útil e custo no ciclo de vida para o caso base (em cinza) e os casos otimizados. Também mostra a composição das estratégias dos casos otimizados. O pé direito de 2,50 m (estratégia T1) se mantém presente em todos os casos otimizados.

A Tabela 20 mostra a composição dos casos otimizados de forma mais detalhada. Como nas tipologias anteriores, a parede P1 (concreto com isolamento) está presente, contudo, está também presente a parede P7 que é em madeira com isolamento. Ambas são paredes isoladas, porém, enquanto a P1 tem alta capacidade térmica, a P7 tem baixa capacidade térmica. Na cobertura, observa-se principalmente a presença do isolamento, em coberturas com capacidade térmica tanto baixa quanto alta. Com relação às aberturas, a maioria possui percentual de abertura de elementos transparentes ($P_{t,APP}$) de 17%, todas possuem fator de ventilação de 45% (janela de correr) e a maioria apresentam veneziana nos

dormitórios e sala, sendo que algumas possuem brise/sacada na sala de 1,20 m como forma de sombreamento na sala. Somente 3 casos têm esquadrias com ($P_{t,APP}$) de 23%, sendo um deles com sombreamento somente nos quartos.

Tabela 19. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia multifamiliar - ZB2

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
multi_h_ZB2_T1_P0_C0_E0	59.79	30293.34	52042.03	1376.92	62079.55	114121.58
multi_h_ZB2_T1_P1_C5_E4	72.95	35214.51	59728.21	1000.22	45095.64	104823.85
multi_h_ZB2_T1_P1_C7_E9	72.98	35270.77	65248.91	1061.18	47843.99	113092.90
multi_h_ZB2_T1_P1_C2_E4	73.04	35378.43	64975.72	1000.11	45090.73	110066.45
multi_h_ZB2_T1_P1_C7_E3	73.24	36042.02	66426.73	997.69	44981.81	111408.54
multi_h_ZB2_T1_P1_C6_E4	72.98	36071.90	65704.12	994.06	44818.02	110522.14
multi_h_ZB2_T1_P1_C7_E4	73.42	36425.44	67016.88	982.84	44311.92	111328.81
multi_h_ZB2_T1_P1_C5_E11	74.58	37183.85	64048.48	1011.46	45602.56	109651.04
multi_h_ZB2_T1_P1_C5_E12	74.67	37557.17	64622.20	992.64	44754.15	109376.35
multi_h_ZB2_T1_P7_C6_E3	73.90	38882.08	69342.48	992.10	44729.58	114072.06
multi_h_ZB2_T1_P7_C6_E4	74.07	39222.54	69843.45	974.92	43954.87	113798.32

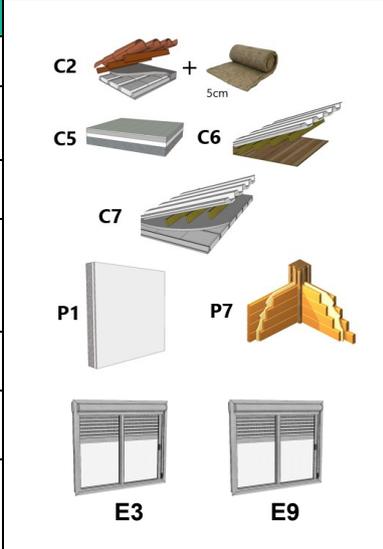
Tabela 20. Casos otimizados com estratégias para a tipologia multifamiliar – ZB2

P1	Concreto 10cm com isolante EPS 2,5cm (Par, ext) e parede em concreto 10 cm (internas)	C2	Telha de barro + lâ de rocha 5,0cm + câmara de ar+ forro laje concreto c/ EPS	E4	$P_{t,APP}$ (17%) FV 0,45 com brise/sacada de 1,20 m na sala e veneziana nos dormitórios e sala
		C5	Laje concreto composta por cerâmica 1cm com absorvância 0,5, contrapiso de 5cm, isolante EPS 5cm e concreto 10cm	E4	$P_{t,APP}$ (17%) FV 0,45 com brise/sacada de 1,20 m na sala e veneziana nos dormitórios e sala
				E11	$P_{t,APP}$ (23%) FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
				E12	$P_{t,APP}$ (23%) FV 0,45 com brise/sacada de 1,20 m na sala e veneziana nos dormitórios e sala
		C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira 1 cm	E4	$P_{t,APP}$ (17%) FV 0,45 com brise/sacada de 1,20 m na sala e veneziana nos dormitórios e sala
C7	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro laje concreto c/ EPS	E3	$P_{t,APP}$ (17%) FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala		
		E4	$P_{t,APP}$ (17%) FV 0,45 com brise/sacada de 1,20 m na sala e veneziana nos dormitórios e sala		
		E9	$P_{t,APP}$ (23%) FV 0,45 com veneziana nos dormitórios		
P7	Chapa dupla de madeira plantada de 2,2cm+ isolante lâ de rocha 5cm (Par ext + int)	C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira 1 cm	E3	$P_{t,APP}$ (17%) FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
				E4	$P_{t,APP}$ (17%) FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala e brise/sacada no estar

As diretrizes para a tipologia multifamiliar na zona bioclimática 2 são resultado das características presentes nos casos otimizados e podem ser observadas na Tabela 21. O pé direito mínimo é de 2,50m. Para as coberturas a transmitância térmica máxima deve ser de 0,70 W/m²K. As paredes devem ter transmitância térmica menor ou igual a 1,10 W/m²K e capacidade térmica igual ou superior a 130 kJ/m²K e, para paredes com capacidade térmica maior ou igual a 30 kJ/m²K, a transmitância térmica deve ser menor ou igual a 0,70 W/m²K. A absorvância solar máxima para paredes e coberturas deve ser de 0,60 (cores médias), inclui-se a telha de barro não vitrificada. O percentual de elementos transparentes (P_{t,APP}) pode ser mínimo de 17% com sombreamento para todos os ambientes de longa permanência (dormitórios e sala) e fator de ventilação mínimo de 45% (ex. janela de correr), ou (P_{t,APP}) de 23% com fator de ventilação de 45% e nesse caso, o sombreamento pode ser somente nos dormitórios.

Tabela 21. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia multifamiliar – ZB2

ITENS	CRITÉRIOS		
Pé-direito mínimo	2,50 m		
Sistemas de cobertura	U ≤ 0,70 W/m ² K		
Sistema de vedação vertical	U ≤ 1,10 W/m ² K e CT ≥ 130 kJ/m ² K U ≤ 0,70 W/m ² K e CT ≥ 30 kJ/m ² K		
Absortância máxima para paredes e coberturas	0,6. Com exceção da cobertura em telha de barro não vitrificada.		
Esquadrias – limites mínimos	P_{t,APP}	Sombreamento	Fator de ventilação
	17%	Veneziana nos dormitórios + sala	FV45
	23%	Veneziana nos dormitórios	FV45

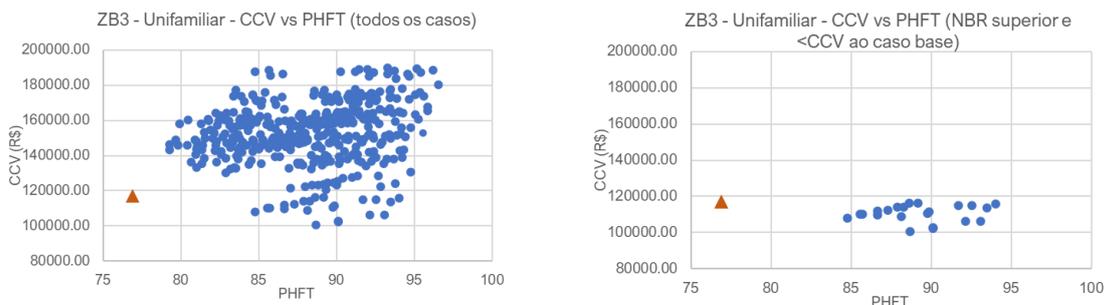


Obs. Transmitância térmica (U) em W/m²K, Capacidade térmica (CT) em kJ/m²K

2.2.3 Zona bioclimática 3

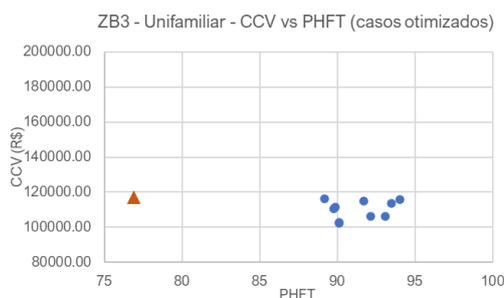
Os resultados dos casos analisados para a **tipologia unifamiliar** da ZB3 são mostrados na Figura 9. Observa-se que os casos otimizados alcançam um aumento expressivo no PHFT, passando de 77% no caso base para um PHFT entre 89% a 94%, ou seja, um aumento de até 23% (Figura 9c). Também nos casos otimizados, o custo no ciclo de vida é menor do que no caso base. Nos custos iniciais, o caso base mostra um custo de aproximadamente R\$ 41.000 enquanto os casos otimizados apresentam custo inicial entre aproximadamente R\$ 44.000 a R\$ 53.000. Ou seja, que para alguns casos, por um custo inicial muito similar ao caso base é possível obter um desempenho superior relacionado ao conforto do usuário e economias ao longo do ciclo de vida da edificação.

Figura 9. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia unifamiliar – ZB3

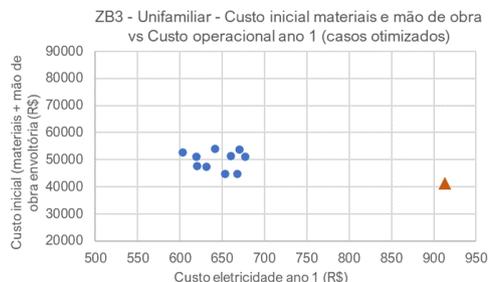


a. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas

b. Caso base (laranja) e casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor CCV comparado ao caso base



c. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo no ciclo de vida (CCV) e PHFT



d. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo inicial e operacional (ano 1)

A Tabela 22 mostra os resultados para os diversos indicadores analisados para o caso base (ressaltado em cinza) e para os casos otimizados com as estratégias presentes em cada caso.

Tabela 22. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB3

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
terrea_uni_ZB3_T1_P0_C0_E0	76.90	41254.46	71699.71	1234.84	45272.93	116972.64
terrea_uni_ZB3_T1_P1_C5_E9	90.12	44640.48	69813.09	902.94	33104.74	102917.82
terrea_uni_ZB3_T1_P1_C5_E3	90.11	44827.92	69897.60	882.89	32369.53	102267.13
terrea_uni_ZB3_T1_P1_C5_E11	92.17	47363.17	75133.08	853.54	31293.36	106426.44
terrea_uni_ZB3_T1_P1_C5_E5	93.08	47574.66	75503.18	838.13	30728.63	106231.81
terrea_uni_ZB3_T1_P1_C5_E13	93.50	51147.77	82853.88	836.97	30686.01	113539.89
terrea_uni_ZB3_T1_P5_C5_E9	89.89	51196.30	77778.67	915.44	33562.91	111341.58
terrea_uni_ZB3_T1_P5_C5_E3	89.78	51495.66	77868.92	891.61	32689.18	110558.10
terrea_uni_ZB3_T1_P1_C5_E7	94.03	52820.98	85939.26	814.88	29876.22	115815.48
terrea_uni_ZB3_T1_P4_C5_E5	89.16	53759.93	82936.78	906.43	33232.60	116169.37
terrea_uni_ZB3_T1_P5_C5_E11	91.72	53901.71	83097.78	866.91	31783.49	114881.28

A Tabela 23 mostra os casos otimizados com a sua composição em maior detalhe. Todos os casos otimizados possuem o mesmo pé-direito do caso base, de 2,50m. Os casos apresentam 3 tipos de paredes (P1, P4 e P5), todas com baixa a média transmitância térmica e capacidade térmica média a alta, sendo que duas delas possuem isolamento na parede externa (P1 - concreto, P5 – alvenaria de tijolo) e a outra é a parede com alvenaria de tijolo de 9 furos de 14x19x29 com reboco externo e interno (P4). Porém, a maior frequência de ocorrência se observa na parede P1. Contudo, destaca-se que para paredes com isolamento associado, especialmente para paredes com alta capacidade térmica, como é a P1, o comportamento do usuário no período de verão tem grande influência no desempenho da edificação. Somente um tipo de cobertura está presente nos casos otimizados, a C5, a qual é uma cobertura de laje em concreto com piso cerâmica, contrapiso e isolante de 5cm de EPS. Com relação às esquadrias, a metade dos casos apresenta esquadrias menores (com $P_{t,APP}$ de 17%), sendo as outras de 23%. Seis casos mostram esquadrias com fator de ventilação de 45%, enquanto quatro delas com 90%. Os casos mostram o uso tanto de venezianas nos dormitórios e sala quanto somente nos dormitórios.

Tabela 23. Casos otimizados com estratégias para a tipologia unifamiliar – ZB3

P1	Concreto 10cm com isolante EPS 2,5cm (Parede externa) e parede em concreto 10 cm (parede interna)	C5	Laje em concreto com cerâmica 1cm absorvância de 0,5, contrapiso de 5cm, isolante EPS de 5cm e concreto de 10cm	E3	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
				E5	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
				E9	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios
				E11	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
				E13	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
P4	Tijolo 9 furos de 14x19x29 (total 18cm) Com reboco interno e externo (Paredes externas e internas)	C5	Laje em concreto com cerâmica 1cm absorvância de 0,5, contrapiso de 5cm de isolante EPS de 5cm e concreto de 10cm	E5	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
P5	Tijolo 14x19x29 com isolante EPS 2,5cm no lado externo (Parede externa) + Tijolo 14x19x29 com reboco externo e interno (Parede interna)	C5	Laje em concreto com cerâmica 1cm absorvância de 0,5, contrapiso de 5cm de isolante EPS de 5cm e concreto de 10cm	E3	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
				E9	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios
				E11	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala

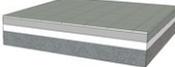
Como resultado da análise dos casos otimizados são propostas diretrizes para os projetos da tipologia unifamiliar para a zona bioclimática 3 conforme apresentado na Tabela 24.

O pé direito mínimo deve ser de 2,50m, a transmitância térmica da cobertura deve ser menor ou igual a 0,60 W/m²K e a absorvância máxima de paredes e coberturas deve ser de 0,6, incluindo as telhas de barro não vitrificadas. As paredes externas devem ter uma transmitância térmica máxima de 1,85 W/m²K com capacidade térmica igual ou superior a 130 kJ/m²K. Para as aberturas, podem ter uma porcentagem de elementos transparentes ($P_{t,APP}$) tanto de 17% ou 23%. No caso de ser mínimo de 17%, o fator de ventilação deve ser mínimo de 45% (tipo correr ou similar) e o sombreamento deve estar presente em todos os ambientes de permanência prolongada (dormitórios e sala). Para esquadrias maiores com $P_{t,APP}$ mínimo de 23%, pode ter-se sombreamento somente nos dormitórios e fator de ventilação de 45% (tipo correr).

Tabela 24. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB3

ITENS	CRITÉRIOS		
Pé-direito mínimo	2,50 m		
Sistemas de cobertura	$U \leq 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$		
Sistema de vedação vertical	$U \leq 1,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $CT \geq 130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$		
Absortância máxima para paredes e coberturas	0,6. Inclui cobertura em telha de barro não vitrificada.		
Esquadrias Limites mínimos	$P_{t,APP}$	Sombreamento	Fator de ventilação
	17%	Venezianas nos dormitórios + sala	FV45
	23%	Venezianas nos dormitórios	FV45

C5



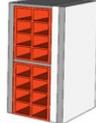
P1



P4



P5



E3



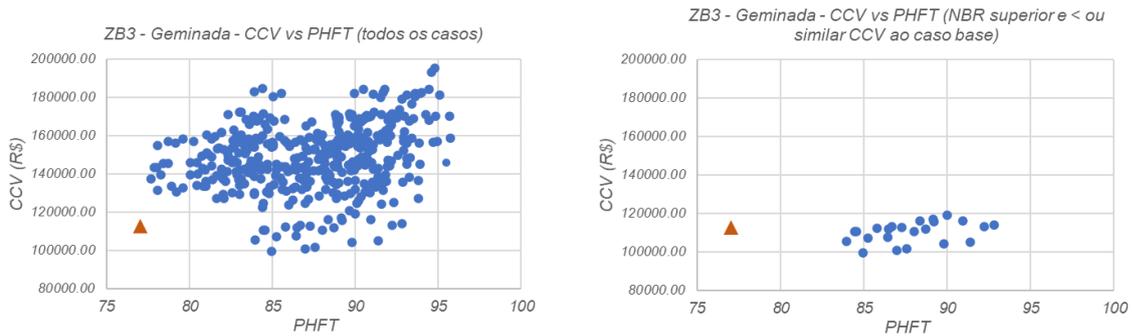
E9



Obs. Transmitância térmica (U) em $\text{W/m}^2\text{K}$, Capacidade térmica (CT) em $\text{kJ/m}^2\text{K}$

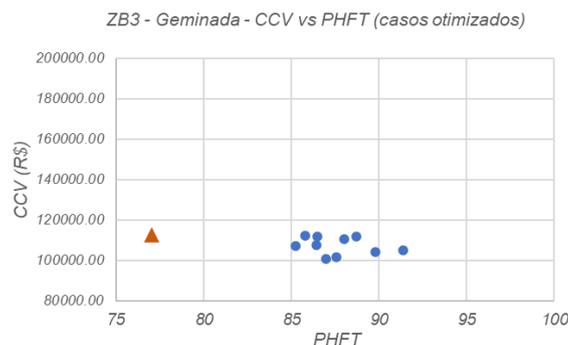
Os resultados para a **tipologia geminada** da zona bioclimática 3 são mostrados na Figura 10. O caso base da tipologia geminada apresenta um comportamento similar ao caso base na tipologia unifamiliar, com PHFT similar em torno de 77%. Os casos otimizados mostram um PHFT de aproximadamente 85% a 91% (Figura 10c). Alguns casos otimizados apresentam custo inicial similar ao caso base com outros tendo um aumento máximo de aproximadamente R\$ 12.000 com relação ao caso base (Figura 10d).

Figura 10. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia geminada – ZB3

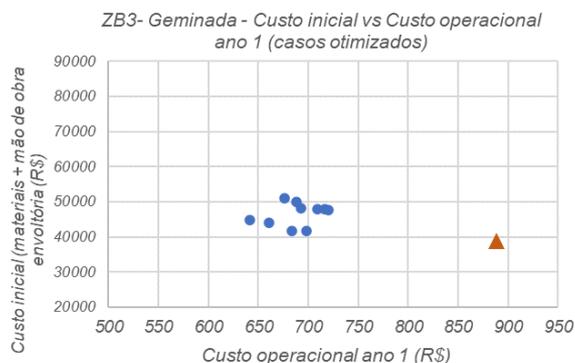


a. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas

b. Caso base (laranja) e casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor ou similar CCV comparado ao caso base



c. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo no ciclo de vida (CCV) e PHFT



d. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo inicial e operacional (ano 1)

Os resultados para PHFT e os indicadores relacionados às diversas etapas do custo no ciclo de vida mostram-se na Tabela 25, tanto para o caso base quanto para os casos otimizados. Os casos se apresentam em relação ao menor custo inicial, destacando-se o caso base (em cinza) com o menor custo inicial (para mão de obra e materiais da envoltória). Novamente, todos os casos mostram um pé direito de 2,50 m (estratégia T1).

Tabela 25. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia geminada – ZB3

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
geminada_ZB3_T1_P0_C0_E0	77.04	38796.17	68581.91	1201.50	44050.72	112632.63
geminada_ZB3_T1_P1_C5_E9	87.55	41633.49	67177.68	943.72	34599.59	101777.26
geminada_ZB3_T1_P1_C5_E3	87.00	41671.63	66965.21	923.66	33864.38	100829.60
geminada_ZB3_T1_P1_C5_E11	89.80	43927.93	71624.65	892.28	32713.62	104338.27
geminada_ZB3_T1_P1_C5_E5	91.38	44811.83	73357.38	866.70	31775.97	105133.35
geminada_ZB3_T1_P2_C5_E9	86.41	47713.02	71888.24	972.92	35670.43	107558.67
geminada_ZB3_T1_P2_C5_E3	85.24	47917.28	71779.36	967.98	35489.29	107268.65
geminada_ZB3_T1_P4_C5_E3	85.81	47935.74	77268.85	958.10	35127.02	112395.87
geminada_ZB3_T1_P5_C5_E3	86.46	48237.50	77605.17	935.58	34301.24	111906.42
geminada_ZB3_T1_P2_C5_E11	88.03	50007.46	76335.21	929.91	34093.47	110428.67
geminada_ZB3_T1_P2_C5_E5	88.72	51057.74	78171.69	913.64	33496.78	111668.47

Os casos otimizados com as suas composições podem ser vistos na Tabela 26. Três dos tipos de paredes que aparecem nesses casos são os mesmos presentes na tipologia unifamiliar, sendo eles P1 (concreto com isolante) com maior frequência de ocorrência, P4 (alvenaria de tijolo) e P5 (alvenaria de tijolo com isolante). Outro tipo de parede se fez presente nos casos otimizados é a parede P2 (bloco de concreto). Ao igual que na tipologia unifamiliar, a única cobertura em todos os casos otimizados é a C5 (laje de concreto com isolante) com baixa transmitância térmica e capacidade térmica alta. Entre as esquadrias, têm maior frequência de ocorrência as de menor porcentagem de abertura (Pt_{APP} de 17%) que são a E3 e E5 outras esquadrias têm Pt_{APP} de 23%, sendo elas a E9 e E11. Apresentam fator de ventilação tanto de 45% quanto de 90% e igualmente veneziana tanto nos dormitórios quanto nos dormitórios e sala.

Tabela 26. Casos otimizados com estratégias para a tipologia geminada – ZB3

P1	Concreto 10cm com isolante EPS 2,5cm (Parede externa) e parede em concreto 10 cm (parede interna)	C5	Laje em concreto com cerâmica 1cm absorvância de 0,5, contrapiso de 5cm, isolante EPS de 5cm e concreto de 10cm	E3	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
				E5	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
				E9	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios
				E11	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
P2	Bloco de concreto 19x19x39 + 2cm de reboco externo e interno (total 23cm) (Parede externa + interna) autoportante	C5	Laje em concreto com cerâmica 1cm absorvância de 0,5, contrapiso de 5cm, isolante EPS de 5cm e concreto de 10cm	E3	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
				E5	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
				E9	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios
				E11	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
P4	Tijolo 9 furos de 14x19x29 (total 18cm) Com reboco interno e externo (Paredes externas e internas)	C5	Laje em concreto com cerâmica 1cm absorvância de 0,5, contrapiso de 5cm de isolante EPS de 5cm e concreto de 10cm	E3	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
P5	Tijolo 9 furos 14x19x29 (total 20,5cm) com isolante EPS 2,5cm no lado externo (com reboco interno e externo) (Parede externa) + Tijolo 9 furos 14x19x29 com reboco externo e interno (total 18cm) (Parede interna)	C5	Laje em concreto com cerâmica 1cm absorvância de 0,5, contrapiso de 5cm de isolante EPS de 5cm e concreto de 10cm	E3	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala

As diretrizes propostas para os projetos da tipologia casa geminada para a zona bioclimática 3 são muito similares às da tipologia de casa unifamiliar e são apresentadas na Tabela 27. Os ambientes de longa permanência devem ter pé-direito mínimo de 2,50m, a transmitância térmica da cobertura deve ser menor ou igual a 0,60 W/m²K e a absorvância máxima de paredes e coberturas deve ser de 0,6, incluindo telhas de barro não vitrificadas. A transmitância térmica máxima das paredes externas pode ser de 2,70 W/m²K com capacidade térmica mínima de 130 kJ/m²K. Para as aberturas a porcentagem de elementos transparentes ($P_{t,APP}$) pode ser tanto de 17% ou 23%. No caso de ser de 17% as esquadrias devem ter fator de ventilação mínimo de 45% (tipo correr) e o sombreamento deve estar presente em todos os ambientes de permanência prolongada (dormitórios e sala). Para esquadrias maiores com $P_{t,APP}$ mínimo de 23%, pode ter-se sombreamento somente nos dormitórios e fator de ventilação de 45% (tipo correr).

Tabela 27. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia casa geminada – ZB3

ITENS	CRITÉRIOS		
Pé-direito mínimo	2,50 m		
Sistemas de cobertura	$U \leq 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$		
Sistema de vedação vertical	$U \leq 2,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $CT \geq 130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$		
Absortância máxima para paredes e coberturas	0,6. Com exceção da cobertura em telha de barro não vitrificada.		
Esquadrias Limites mínimos	$P_{t,APP}$	Sombreamento	Fator de ventilação
	17%	Venezianas nos dormitórios + sala	FV45
	23%	Venezianas nos dormitórios	FV45

C5 

P1  P2 

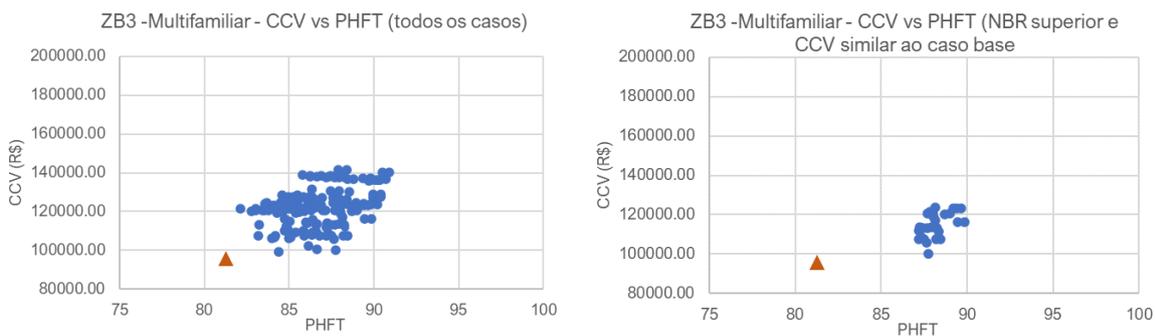
P4  P5 

E3-E9 

Obs. Transmitância térmica (U) em $\text{W/m}^2\text{K}$, Capacidade térmica (CT) em $\text{kJ/m}^2\text{K}$.

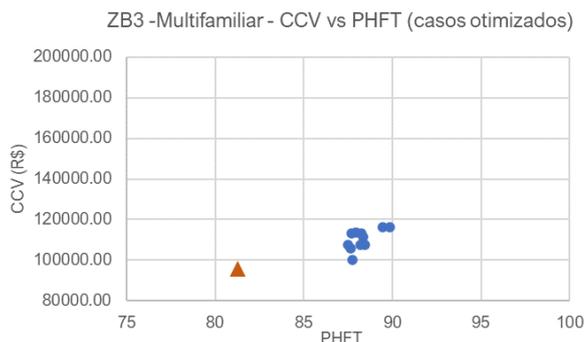
Para a **tipologia multifamiliar** da ZB3 os resultados são apresentados na Figura 11. Todos os casos simulados com estratégias de eficiência energética combinadas mostram desempenho superior ao caso base para o indicador de PHFT, mas com relação ao indicador de custos no ciclo de vida todos têm custo superior ao caso base. Os casos considerados ótimos nos indicadores avaliados mostram um PHFT superior a 87% e até perto de 90% (Figura 11c), enquanto o do caso base é de 81,29%, o maior entre os casos bases das três tipologias avaliadas na ZB3. Na análise de custo inicial com relação ao custo operacional no primeiro ano (Figura 11d), os casos otimizados apresentam um custo inicial superior ao caso base, e o aumento no custo varia aproximadamente entre R\$ 10.000 a R\$ 19.000.

Figura 11. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia multifamiliar – ZB3

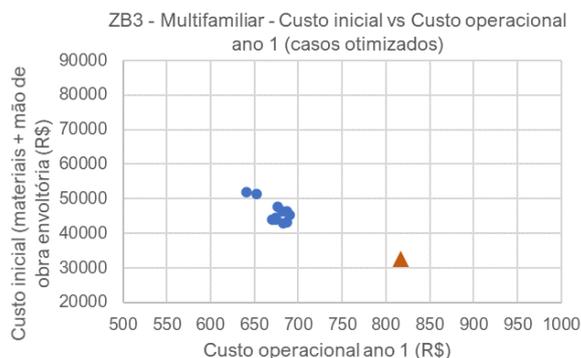


a. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas

b. Caso base (laranja) e casos com desempenho superior na NBR 15575 e similar CCV comparado ao caso base



c. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo no ciclo de vida (CCV) e PHFT



d. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo inicial e operacional (ano 1)

Os resultados para os indicadores avaliados considerando o caso base e os casos otimizados são colocados na Tabela 28. Observa-se que a diferença das análises apresentadas anteriormente, a tipologia multifamiliar na ZB3 o pé direito presente nos casos otimizados é de mínimo 2,60m (estratégia T2).

Tabela 28. Resultados caso base e casos otimizados para a tipologia multifamiliar - ZB3

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
multi_h_ZB3_T1_P0_C0_E0	81.29	32481.98	55141.60	1104.48	40493.72	95635.32
multi_h_ZB3_T2_P2_C5_E4	87.71	42898.89	66559.20	922.17	33809.60	100368.80
multi_h_ZB3_T2_P2_C2_E4	87.46	43238.84	73355.14	928.16	34029.37	107384.50
multi_h_ZB3_T2_P2_C6_E4	88.18	43943.02	73960.82	911.72	33426.68	107387.51
multi_h_ZB3_T2_P2_C7_E4	88.43	44030.75	74475.21	905.17	33186.28	107661.49
multi_h_ZB3_T2_P2_C8_E4	88.33	44377.72	78083.28	911.58	33421.36	111504.64
multi_h_ZB3_T2_P2_C5_E5	87.65	45343.79	71816.38	932.78	34198.52	106014.90
multi_h_ZB3_T2_P2_C6_E5	87.70	46387.93	79218.00	928.20	34030.70	113248.70
multi_h_ZB3_T2_P2_C7_E5	87.96	46475.65	79732.39	921.26	33776.31	113508.70
multi_h_ZB3_T2_P4_C5_E4	88.23	47577.77	79751.55	913.56	33493.95	113245.50
multi_h_ZB3_T2_P2_C5_E7	89.44	51383.64	83830.95	881.17	32306.56	116137.51
multi_h_ZB3_T2_P2_C5_E8	89.86	51830.05	84484.24	866.28	31760.48	116244.72

A descrição dos componentes que compõem os casos otimizados é mostrada na Tabela 29.

Tabela 29. Casos otimizados com estratégias para a tipologia multifamiliar – ZB3

Pé-direito 2,60m					
P2	Bloco de concreto 19x19x39 + 2cm de reboco externo e interno (total 23cm) (Parede externa + interna) autoportante	C2	Telha de barro (α 0,60) com lâ de rocha 5,0cm + câmara de ar+ forro de laje concreto com EPS (12 cm)	E4	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,45 – brise/sacada na sala com veneziana nos dormitórios + sala
		C5	Laje concreto: Cerâmica 1cm α 0,5 + contrapiso 5cm + isolante 5cm EPS + concreto 10cm	E4	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,45 – brise/sacada na sala com veneziana nos dormitórios + sala
				E5	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
				E7	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios e sala
				E8	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 – brise/sacada na sala com veneziana nos dormitórios + sala
		C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E4	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,45 – brise/sacada na sala com veneziana nos dormitórios + sala
				E5	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
		C7	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro laje concreto c/ EPS	E4	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,45 – brise/sacada na sala com veneziana nos dormitórios + sala
				E5	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
		C8	Cobertura verde extensiva	E4	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,45 – brise/sacada na sala com veneziana nos dormitórios + sala
P4	Tijolo 9 furos de 14x19x29 (total 18cm) Com reboco interno e externo (Paredes externas e internas)	C5	Laje concreto: Cerâmica 1cm α 0,5 + contrapiso 5cm + isolante 5cm EPS + concreto 10cm	E4	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,45 – brise/sacada na sala com veneziana nos dormitórios + sala

Na tipologia multifamiliar, a parede (P2) é a mais presente nos casos otimizados (bloco de concreto com transmitância e capacidade térmica média), embora tenha também um caso com a parede P4 (alvenaria de 14cm com 9 furos com reboco interno e externo) com menor transmitância térmica do que a P2. As coberturas presentes nos casos otimizados são a C2 (telha de barro natural com isolante e forro de laje com EPS), C5 (laje em concreto com isolante), C6 (telha metálica sanduiche de cor branca, câmara de ar e forro de madeira), C7 (telha metálica sanduiche branca câmara de ar e forro de laje de concreto com EPS) e C8 (cobertura verde extensiva). Várias das coberturas têm em comum a absorvância solar baixa presente nas coberturas C6 e C7. A cobertura C8 (cobertura verde) também apresenta uma baixa absorção solar com melhoria do microclima do local. O isolamento também está presente nas coberturas, com exceção da C8. Com relação às janelas, todas apresentam dimensão menor ($P_{t,APP}$ de 17%), a maioria possuem sombreamento nos dormitórios e sala e fator de ventilação variando de 45% e 90%. A estratégia das esquadrias (E4 e E8) estão também associadas ao uso de brise/sacada de 1,20 m de profundidade para sombreamento da sala.

Para a tipologia multifamiliar na zona bioclimática 3 as diretrizes de projeto são o pé direito mínimo nos ambientes de permanência prolongada de 2,60m; transmitância térmica da

cobertura máxima de 0,70 W/m²K ou até 2,20W/m²K no caso de cobertura verde; paredes externas com transmitância térmica (U) máxima de 2,70 W/m²K e capacidade térmica mínima de 130 kJ/m²K. A absortância solar máxima das paredes e coberturas deve ser de 0,6, com exceção da telha de barro não vitrificada. Para as esquadrias, a área de elementos transparentes em relação à área do ambiente (P_{t,APP}) mínima é de 17%, com necessidade de sombreamento nos dormitórios e sala e janelas com fator de ventilação mínimo de 45% (tipo correr), tendo também sombreamento na sala por brise/sacada. Os casos otimizados também mostraram esquadrias similares com sombreamento somente nos dormitórios, mas com fator de ventilação de 90% (Tabela 30).

Tabela 30. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia multifamiliar – ZB3

ITENS		CRITÉRIOS		
Pé-direito mínimo	2,60 m			
Sistemas de cobertura	U ≤ 0,70 W/m ² K e U ≤ 2,20 W/m ² K se cobertura verde			
Sistema de vedação vertical	U ≤ 2,70 W/m ² K e CT ≥ 130 kJ/m ² K			
Absortância máxima para paredes e coberturas	0,6. Com exceção da cobertura em telha de barro não vitrificada.			
Esquadrias Limites mínimos	P _{t,APP}	Sombreamento	Fator de ventilação	
	17%	Venezianas nos dormitórios + sala + brise/sacada na sala	FV45	
		Venezianas nos dormitórios	FV90	

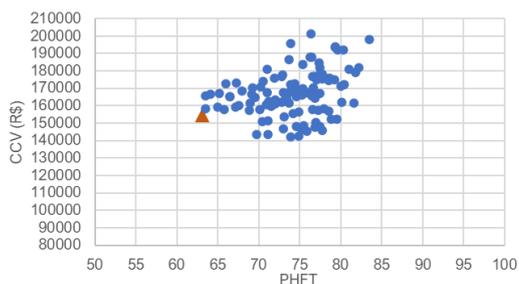
Obs. Transmitância térmica (U) em W/m²K, Capacidade térmica (CT) em kJ/m²K.

2.2.4 Zona bioclimática 4

A Figura 12 mostra os resultados para a **tipologia unifamiliar** na ZB4. O caso base mostra um PHFT de 63% e custo no ciclo de vida em torno de R\$ 154.000,00. Para esta tipologia os casos que tiveram desempenho superior na NBR 15575, com custo no ciclo de vida menor ou similar em relação ao caso base, foram já considerados todos como casos otimizados, por ser um número menor de casos. Para os casos otimizados, destacam-se um PHFT entre 76% a 81%, e custo no ciclo de vida aproximado entre R\$ 146.000,00 a R\$ 176.000,00 (Figura 12b). Com relação ao custo inicial o caso base apresenta um custo em torno de R\$ 37.000 e nos casos otimizados os custos aproximados iniciais variam ao redor de R\$ 44.000 até aproximadamente R\$ 64.000 (Figura 12c). Conforme já colocado anteriormente, os custos referem-se somente à mão de obra e materiais dos componentes da envoltória considerados na avaliação nas diversas etapas do ciclo de vida da edificação.

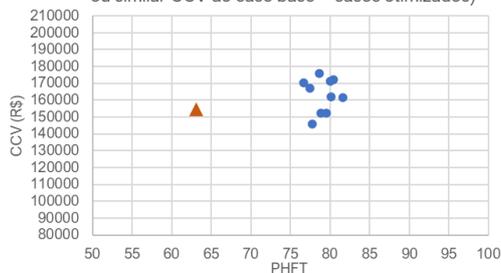
Figura 12. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia unifamiliar – ZB4

ZB4 - Unifamiliar - CCV vs PHFT (todos os casos)



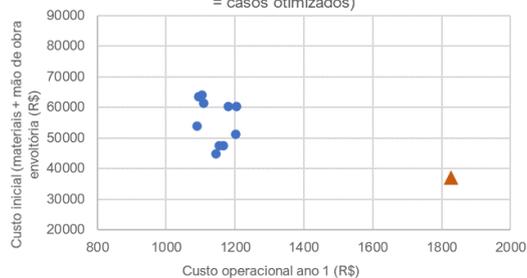
a. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas

ZB4 - Unifamiliar - CCV vs PHFT (NBR superior e < ou similar CCV ao caso base = casos otimizados)



b. Caso base (laranja) e casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor ou similar CCV comparado ao caso base igual a casos otimizados

ZB4 - Unifamiliar - Custo inicial materiais e mão de obra vs Custo operacional ano 1 (NBR superior e < ou similar CCV = casos otimizados)



c. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo inicial e operacional (ano 1)

Os casos otimizados e o caso base (em cinza) podem ser observados na Tabela 31, com os resultados para os diversos indicadores avaliados. Os resultados são mostrados a partir do menor custo inicial.

Tabela 31. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB4

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
terrea_uni_ZB4_T1_P0_C0_E0	63.16	37021.65	63623.26	1866.07	90604.90	154228.16
terrea_uni_ZB4_T1_P7_C6_E3	77.76	44767.70	89336.11	1167.99	56710.54	146046.65
terrea_uni_ZB4_T1_P7_C6_E5	79.52	47423.49	94744.48	1189.50	57754.75	152499.23
terrea_uni_ZB4_T1_P7_C6_E11	78.86	47490.22	94950.46	1178.74	57232.64	152183.10
terrea_uni_ZB4_T1_P7_C6_E13	80.16	51114.29	102326.02	1227.28	59589.16	161915.18
terrea_uni_ZB4_T1_P7_C6_E7	81.57	53831.42	107490.82	1111.32	53958.92	161449.73
terrea_uni_ZB4_T1_P3_C6_E9	76.66	60345.16	110851.41	1228.15	59631.49	170482.91
terrea_uni_ZB4_T1_P4_C6_E7	78.67	60350.20	117566.47	1204.90	58502.62	176069.10
terrea_uni_ZB4_T1_P3_C6_E3	77.41	61421.97	112285.90	1130.79	54904.35	167190.25
terrea_uni_ZB4_T1_P3_C6_E11	80.03	63575.82	117262.47	1116.84	54227.02	171489.50
terrea_uni_ZB4_T1_P3_C6_E5	80.45	64077.76	117694.28	1126.72	54706.79	172401.07

Os casos otimizados podem ser vistos em maior detalhe na Tabela 32. Para todos os casos otimizados o pé direito é de 2,50 m (estratégia T1) e as paredes são do tipo P7 (dupla de madeira com isolante), P3 (bloco de concreto celular) e P4 (tijolo 9 furos de 14x19x29 com reboco). As paredes mostram capacidade térmica média sem isolamento (P4), capacidade térmica média com transmitância térmica mais baixa (P3) e baixa capacidade térmica e isolamento (P7). A cobertura presente em todos os casos otimizados é a C6 (telha metálica sanduiche clara com câmara de ar e forro de madeira) com isolamento, baixa absorvância solar, e baixa transmitância e capacidade térmica. As esquadrias presentes nos casos otimizados são a E3, E5, E7, E9, E11 e E13. As esquadrias têm fator de ventilação tanto de 45% (tipo correr) quanto de 90% (abrir). Tem casos otimizados tanto com áreas de elementos transparentes de 17% quanto de 23%. Várias esquadrias têm sombreamento nos dormitórios e sala. As esquadrias que têm somente sombreamento nos dormitórios (E5 e E13) estão associadas a um fator de ventilação de 90% e a esquadria E9 a um $P_{t,APP}$ de 23% com fator de ventilação de 45%.

Tabela 32. Casos otimizados com estratégias para a tipologia unifamiliar – ZB4

P7	Chapa dupla de madeira plantada de 2,2cm+ isolante lã de rocha 5cm (Par ext + int)	C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E3	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,45 – veneziana nos dormitórios e sala
				E5	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 – veneziana nos dormitórios
				E7	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala
				E11	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
				E13	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios
P4	Tijolo 9 furos 14x19x29 c/reboco int, e ext, (Paredes externas e internas)	C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E7	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala
P3	Bloco de concreto celular para vedação (60x30x20 – C x L x Espessura) – 450 kg/m ³	C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E3	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,45 – veneziana nos dormitórios e sala
				E5	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 – veneziana nos dormitórios
				E9	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45– veneziana nos dormitórios
				E11	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala

As diretrizes para projetos na tipologia unifamiliar da zona bioclimática 4 são colocadas na Tabela 33. O pé direito mínimo é de 2,50m para os ambientes de permanência prolongada.

Tabela 33. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB4

ITENS	CRITÉRIOS			
Pé-direito mínimo	2,50 m			    
Sistemas de cobertura	$U \leq 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$			
Sistema de vedação vertical	$U \leq 1,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ CT $\geq 130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ $U \leq 0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$ CT $\geq 30 \text{ kJ/m}^2\text{K}$			
Absortância máxima para paredes e coberturas	0,6 para paredes sendo recomendada 0,4. Para coberturas 0,4 com exceção da cobertura em telha de barro não vitrificada.			
Esquadrias	$P_{t,APP}$	Sombreamento	Fator de ventilação	
	17%	Venezianas nos dormitórios + sala	FV45	
	23%	Venezianas nos dormitórios	FV45	

Obs. Transmitância térmica (U) em $\text{W/m}^2\text{K}$, Capacidade térmica (CT) em $\text{kJ/m}^2\text{K}$.

A cobertura deve ter transmitância térmica mínima de $0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$. Para as paredes externas a transmitância térmica mínima é de $1,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ com capacidade térmica mínima de $130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$. E no caso de paredes leves com capacidade térmica maior ou igual a $30 \text{ kJ/m}^2\text{K}$, a transmitância térmica deve ser no máximo de $0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$. A absortância solar máxima coberturas é de 0,4 o que inclui a telha de barro não vitrificada e coberturas vegetadas. Para as paredes externas a absortância solar máxima é de 0,6, sendo recomendada 0,4. E para as esquadrias é possível a especificação das mesmas com porcentagem de abertura ($P_{t,APP}$) de 17% ou 23%. No caso de $P_{t,APP}$ de 17% as esquadrias devem ter fator de ventilação mínimo de 45% (tipo correr ou similar) com venezianas em todos os ambientes de permanência prolongada (dormitórios e sala). Para esquadrias com $P_{t,APP}$ mínimo de 23%, podem ser usadas venezianas somente nos dormitórios, com fator de ventilação das janelas mínimo de 45% (tipo correr).

Para a **tipologia geminada** da ZB4 os resultados são mostrados na Figura 13. Nesta zona bioclimática o caso base da tipologia geminada mostra um PHFT inferior ao observado na tipologia unifamiliar, e o custo no ciclo de vida apresenta valor um pouco inferior ao observado na tipologia unifamiliar (Figura 13a). Os casos otimizados (Figura 13c) mostram um PHFT entre 72% a 77% e custo no ciclo de vida aproximado entre R\$ 142.000,00, a R\$ 155.000,00, tendo alguns casos valores inferiores no ciclo de vida quando comparados ao caso base. De forma geral, os casos otimizados têm desempenho similar aos da tipologia unifamiliar, mas o custo inicial apresenta valores menores ficando mais próximos do valor do caso base desta tipologia. O caso base tem custo inicial de R\$ 34.382 e os casos otimizados têm custo inicial ao redor de R\$ 38.000 a R\$ 47.000 (Figura 13d) com custo operacional até 35% menor do que o caso base.

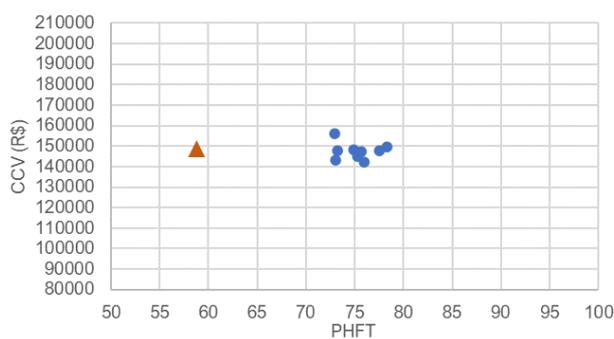
Figura 13. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia geminada – ZB4



a. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas

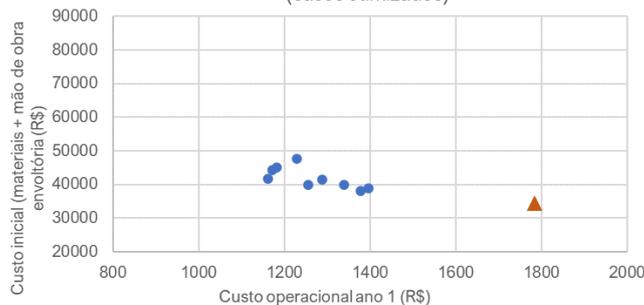
b. Caso base (laranja) e casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor ou similar CCV comparado ao caso base

ZB4 - Geminada - CCV vs PHFT (casos otimizados)



c. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo no ciclo de vida (CCV) e PHFT

ZB4- Geminada - Custo inicial vs Custo operacional ano 1 (casos otimizados)



d. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo inicial e operacional (ano 1)

A Tabela 34 mostra o caso base e casos otimizados em função dos indicadores de PHFT, consumo operacional e indicadores relacionados ao custo no ciclo de vida energético.

Tabela 34. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia geminada – ZB4

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
geminada_ZB4_T1_P0_C0_E0	58.86	34382.29	60078.81	1820.67	88400.69	148479.50
geminada_ZB4_T1_P7_C3_E11	75.25	38074.55	76949.38	1406.10	68271.50	145220.89
geminada_ZB4_T1_P7_C3_E5	75.68	38782.10	78308.86	1424.55	69167.55	147476.41
geminada_ZB4_T1_P7_C1_E5	73.26	39873.55	81620.18	1367.01	66373.59	147993.76
geminada_ZB4_T1_P7_C6_E1	73.04	40012.71	81194.53	1280.69	62182.65	143377.18
geminada_ZB4_T1_P7_C6_E9	74.92	41438.71	84244.97	1314.84	63840.68	148085.66
geminada_ZB4_T1_P7_C6_E3	75.92	41848.23	84778.85	1185.22	57547.23	142326.08
geminada_ZB4_T1_P7_C6_E11	77.49	44271.19	89775.47	1194.52	57998.77	147774.24
geminada_ZB4_T1_P7_C6_E5	78.34	44978.74	91134.95	1205.57	58534.99	149669.93
geminada_ZB4_T1_P4_C6_E3	72.97	47561.00	94997.50	1254.83	60926.78	155924.28

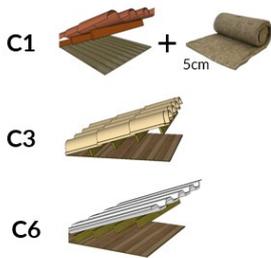
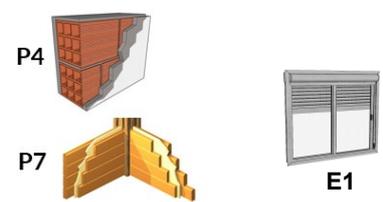
A Tabela 35 apresenta a descrição das estratégias encontradas nos casos otimizados. Todos os casos possuem pé direito de 2,50m (estratégias T1). As paredes presentes nos casos otimizados são a P4, com capacidade térmica média a baixa, e a parede P7, com baixa transmitância e capacidade térmica (P7). As coberturas presentes nos casos otimizados são a C1, C3 e C6, sendo a maioria dos casos com isolamento e baixa transmitância térmica (C1 e C6). Contudo, apresentam-se dois casos com cobertura C3, com baixa capacidade térmica, porém, sem isolamento. Das esquadrias, novamente, observa-se a presença de diferentes dimensões de porcentagem de abertura, com fatores de ventilação tanto de 45% quanto de 90%, sendo mais frequente o fator de ventilação de 45%. O sombreamento é presente tanto nos dormitórios quanto nos dormitórios e sala.

Tabela 35. Casos otimizados com estratégias para a tipologia geminada – ZB4

P7	Chapa dupla de madeira plantada de 2,2cm+ isolante lã de rocha 5cm (Par ext + int)	C1	Telha de barro (α 0,60) + lã de rocha 5cm+ câmara de ar + forro de madeira 1cm	E5	P _{t,APP} (17%), FV 0,90 veneziana nos dormitórios
		C3	Telha de barro (α 0,45) + câmara de ar + forro de madeira 1cm	E5	P _{t,APP} (17%), FV 0,90 veneziana nos dormitórios
				E11	P _{t,APP} (23%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
		C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E1	P _{t,APP} (17%), FV 0,45 veneziana nos dormitórios
				E3	P _{t,APP} (17%), FV 0,45 – veneziana nos dormitórios e sala
				E5	P _{t,APP} (17%), FV 0,90 veneziana nos dormitórios
				E9	P _{t,APP} (23%), FV 0,45 veneziana nos dormitórios
E11	P _{t,APP} (23%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala				
P4	Tijolo 9 furos 14x19x29 c/reboco int, e ext, (Paredes externas e internas)	C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E3	P _{t,APP} (17%), FV 0,45 – veneziana nos dormitórios e sala

As diretrizes para projetos da tipologia casa geminada na zona bioclimática 4 são mostradas na Tabela 36. O pé direito mínimo é de 2,50m nos ambientes de permanência prolongada. A transmitância térmica máxima da cobertura é de 2,02 W/m²K. Para as paredes externas a transmitância térmica máxima é de 1,85 W/m²K com capacidade térmica mínima de 130 kJ/m²K. Para paredes leves com capacidade térmica maior ou igual a 30 kJ/m²K, a transmitância térmica máxima é de 0,70 W/m²K. A absorvância solar máxima para coberturas é de 0,4 com exceção da telha de barro não vitrificada e coberturas vegetadas. Para paredes externas a absorvância solar máxima é de 0,6, contudo recomenda-se o limite de 0,4. Para as esquadrias o percentual mínimo de elementos transparentes (P_{t,APP}) é de 17% com uso de sombreamento/venezianas mínimo nos dormitórios e esquadrias com percentual de ventilação mínimo de 45% (tipo correr ou similar).

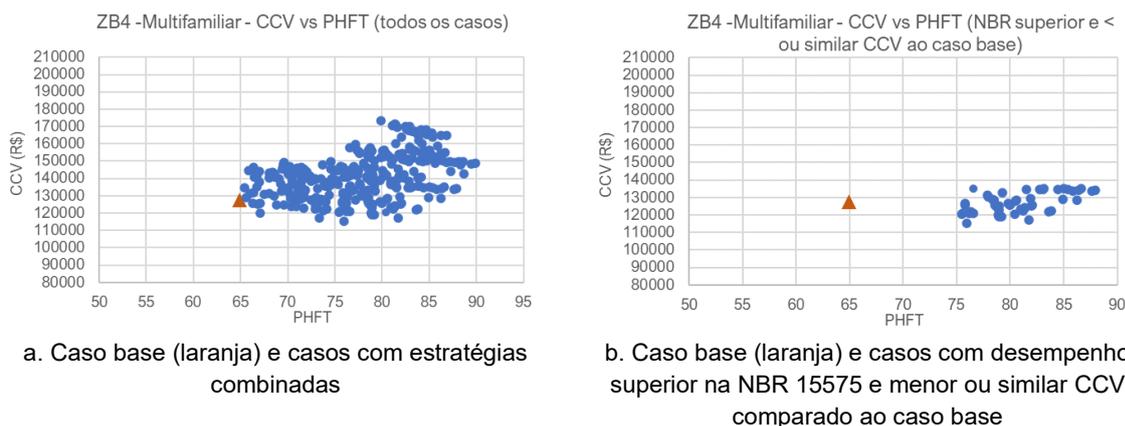
Tabela 36. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia geminada – ZB4

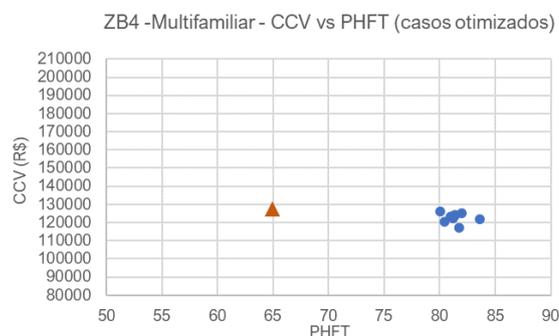
ITENS	CRITÉRIOS			
Pé-direito mínimo	2,50 m			
Sistemas de cobertura	$U \leq 2,02 \text{ W/m}^2\text{K}$			
Sistema de vedação vertical	$U \leq 1,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ CT $\geq 130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ $U \leq 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ CT $\geq 30 \text{ kJ/m}^2\text{K}$			
Absortância máxima para paredes e coberturas	0,6 para paredes sendo recomendada 0,4. Para coberturas 0,4 com exceção da cobertura em telha de barro não vitrificada.			
Esquadrias	P _{t,APP}	Sombreamento	Fator de ventilação	
	17%	Venezianas nos dormitórios	FV45	

Obs. Transmitância térmica (U) em W/m²K, Capacidade térmica (CT) em kJ/m²K.

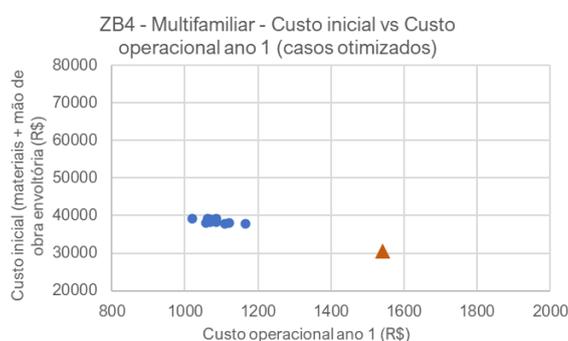
Os resultados para a **tipologia multifamiliar** de ZB4 apresentam-se na Figura 14. Observa-se o caso base com o maior PHFT visto em relação às outras tipologias da ZB4 e igualmente maior aumento do PHFT para os casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor ou similar custo no ciclo de vida em relação ao caso base (Figura 14b). Os casos otimizados alcançam um PHFT acima de 80% com custo no ciclo de vida menor ao caso base (Figura 14c) e custo inicial em torno de R\$ 38.000. O caso base tem um custo inicial ao redor de R\$ 30.000.

Figura 14. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia multifamiliar – ZB4





c. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo no ciclo de vida (CCV) e PHFT



d. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo inicial e operacional (ano 1)

Na Tabela 37 são apresentados os resultados para os indicadores avaliados no caso base (em cinza) e casos otimizados. Os casos são apresentados em função no menor custo inicial e têm identificadas as estratégias presentes em cada caso.

Tabela 37. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia multifamiliar – ZB4

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
multi_h_ZB4_T1_P0_C0_E0	64.96	30380.95	51035.15	1572.89	76370.05	127405.20
multi_h_ZB4_T2_P1_C3_E12	81.12	37912.29	68418.51	1131.16	54922.38	123340.89
multi_h_ZB4_T2_P1_C3_E5	80.02	37938.16	68527.00	1190.12	57785.12	126312.12
multi_h_ZB4_T2_P1_C5_E12	81.71	38037.23	64675.92	1079.89	52432.69	117108.61
multi_h_ZB4_T2_P1_C5_E5	80.42	38063.10	64784.41	1142.90	55492.10	120276.52
multi_h_ZB4_T2_P1_C2_E12	81.21	38239.51	69528.10	1091.37	52990.07	122518.16
multi_h_ZB4_T2_P1_C1_E12	80.94	38283.52	69544.78	1107.51	53774.10	123318.88
multi_h_ZB4_T2_P1_C6_E11	81.33	38872.43	70632.87	1093.80	53108.25	123741.12
multi_h_ZB4_T2_P1_C7_E11	81.38	39173.96	71780.27	1084.46	52654.93	124435.21
multi_h_ZB4_T2_P1_C6_E12	83.64	39258.18	71230.03	1042.11	50598.27	121828.30
multi_h_ZB4_T2_P1_C6_E5	81.95	39284.06	71338.52	1108.80	53836.72	125175.24

De forma ampliada, as características dos casos otimizados são mostradas na Tabela 38. Para todos os casos otimizados da tipologia multifamiliar na ZB4, o pé direito é 2,60 m (estratégia T2) e todas as paredes são do tipo P1 (concreto com isolamento). Por outro lado, têm vários tipos de coberturas presentes C1, C2, C3, C5, C6 e C7, tendo maior frequência de ocorrência as coberturas com isolante e menor transmitância térmica. Entre as coberturas têm algumas com maior capacidade térmica (C2, C5 e C7) e outras com baixa capacidade térmica (C1, C3 e C6). Somente a cobertura C3 não possui isolamento. Nas esquadrias presentes nos casos otimizados têm tanto fator de ventilação de 45%

quanto de 90% e a maior parte dela tem presença de venezianas nos dormitórios e sala, sendo algumas delas associadas à estratégia de brise/sacada na sala. Esquadrias apresentam tanto menor área ($P_{t,APP}$ de 17%) quanto maior área ($P_{t,APP}$ de 23%). Contudo a maior parte delas mostra maior área. Para esquadrias com área menor ($P_{t,APP}$ de 17%) e sombreamento somente nos dormitórios o fator de ventilação é de 90%.

Tabela 38. Casos otimizados com estratégias para a tipologia multifamiliar – ZB4

P1	Concreto 10cm com isolante EPS 2,5cm+reboco ext,2cm (Par, ext) e parede em concreto 10 cm (internas)	C1	Telha de barro (α 0,60) + lâ de rocha 5cm+ câmara de ar + forro de madeira 1cm	E12	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 – brise/sacada de 1,20m na sala com veneziana nos dormitórios + sala
		C2	Telha de barro + lâ de rocha 5,0cm + câmara de ar+ forro laje concreto c/ EPS (12 cm)		
		C3	Telha de barro (α 0,45) + câmara de ar + forro de madeira 1cm	E5	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 –com veneziana nos dormitórios
				E12	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 – brise/sacada de 1,20m na sala com veneziana nos dormitórios + sala
		C5	Laje concreto- Cerâmica 1cm abs 0,5 + contrapiso 5cm + isolante 5cm EPS + concreto 10cm	E5	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 –com veneziana nos dormitórios
				E12	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 – brise/sacada de 1,20m na sala com veneziana nos dormitórios + sala
		C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E5	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 –com veneziana nos dormitórios
				E11	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 –com veneziana nos dormitórios + sala
E12	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 – brise/sacada de 1,20m na sala com veneziana nos dormitórios + sala				
C7	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro laje concreto c/ EPS	E11	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 –com veneziana nos dormitórios + sala		

A Tabela 39 apresenta as diretrizes para projetos da tipologia multifamiliar na zona bioclimática 4.

Tabela 39. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia multifamiliar – ZB4

ITENS	CRITÉRIOS		
Pé-direito mínimo	2,60 m		
Sistemas de cobertura	$U \leq 2,02 \text{ W/m}^2\text{K}$		
Sistema de vedação vertical externa	$U \leq 1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $CT \geq 130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$		
Absortância máxima para paredes e coberturas	0,6 para paredes sendo recomendada 0,4. Para coberturas 0,4 com exceção da cobertura em telha de barro não vitrificada.		
Esquadrias	$P_{t,APP}$	Sombreamento	Fator de ventilação
	17%	Venezianas nos dormitórios	FV90
	23%	Venezianas nos dormitórios + sala	FV45

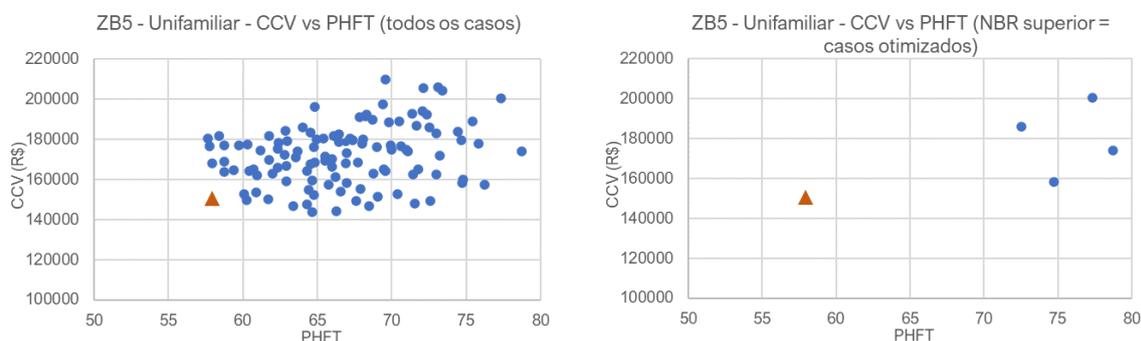
Obs. Transmissão térmica (U) em $\text{W/m}^2\text{K}$, Capacidade térmica (CT) em $\text{kJ/m}^2\text{K}$.

O pé direito mínimo para os espaços de permanência prolongada é de 2,60m. A cobertura deve ter uma transmitância máxima de 2,02 Wm²K. as paredes externas devem possuir transmitância térmica menor ou igual a 1,10 Wm²k e capacidade térmica mínima de 130 kJ/m²K. A paredes externas devem ter absorvância solar máxima de 0,6, sendo recomendada de até 0,4, e para a cobertura o limite da absorvância solar máxima é de 0,4 (cor clara) com exceção da cobertura em telha de barro não vitrificada. As esquadrias podem ser menores (P_{t,APP} de 17%) e nesse caso devem ter sombreamento mínimo nos dormitórios com fator de ventilação de 90% (tipo abrir ou similar); ou ser esquadrias maiores (P_{t,APP} de 23%) e nesse caso precisam ter sombreamento nos dormitórios e sala e o fator de ventilação pode ser de 45% (tipo correr).

2.2.5 Zona bioclimática 5

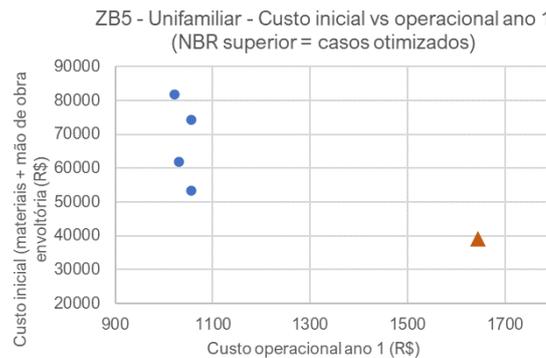
Para a tipologia unifamiliar da zona bioclimática 5 os resultados são mostrados na Figura 15. Percebe-se uma dispersão maior dos resultados com muitos casos avaliados tendo melhor desempenho do que o caso base no indicador de PHFT, contudo, a maioria, maior custo no ciclo de vida do que o caso base (Figura 15a). Nota-se também que poucos casos foram considerados como casos otimizados (Figura 15b). Enquanto o caso base tem PHFT de 58%, os casos otimizados mostram PHFT entre 74% e 78%. Nesta tipologia os casos com desempenho superior na ABNT NBR 15575 foram considerados os mesmos casos otimizados (Figura 15b). Todos os casos otimizados têm custo inicial superior ao caso base, entretanto, desempenho operacional significativamente superior (Figura 15c). O caso base tem custo de R\$ 38.940 enquanto nos casos otimizados o custo varia entre aproximadamente R\$ 53.000 a R\$ 81.000, sendo este último significativamente superior. Já o custo operacional do caso base no primeiro ano é de R\$ 1.644/ano e dos casos otimizados varia ao redor de R\$ 1.000, ou seja, uma redução em torno de 37%. Por conta dos poucos casos presentes, foram também analisadas e consideradas informações de casos que tivessem um desempenho potencial similar aos casos otimizados com absorvância solar da envoltória de 0,4. Esses casos considerados têm PHFT igual ou superior a 73% e baixo custo operacional. Na Figura 15d e Figura 15e são mostrados todos os casos e os casos otimizados com relação ao indicador de custo operacional (relacionado à carga térmica) e PHFT. Os indicadores para seleção do nível de desempenho na NBR 15575 são carga térmica e PHFT, sendo, portanto, importante a visualização destes gráficos. Com base no resultado apresentado no Produto 3 que relacionou a importância da absorvância solar nas paredes e coberturas nas diferentes zonas e tipologias, verificou-se o potencial de ser nível superior na NBR com outras estratégias que mostrassem comportamento similar aos casos otimizados, mas considerando limite baixo na absorvância solar da envoltória (casos identificados na cor laranja na Figura 15d).

Figura 15. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia unifamiliar – ZB5

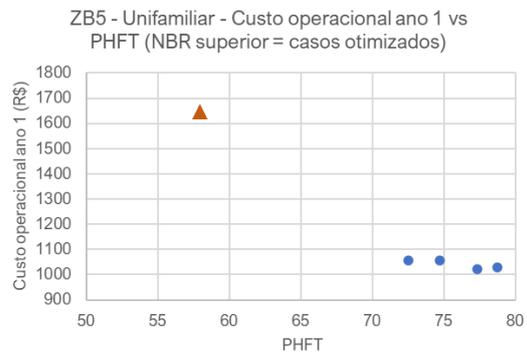
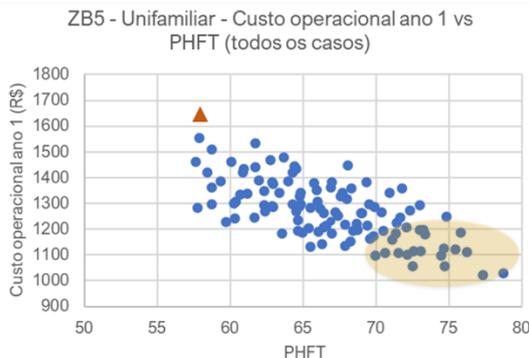


a. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas

b. Caso base (laranja) e casos com desempenho superior na NBR 15575 igual à casos otimizados



c. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo inicial e operacional (ano 1)



d. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas em função do custo operacional (ano 1) e PHFT.

e. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo operacional (ano 1) e PHFT

Os resultados de consumo energético anual, PHFT e indicadores de custo do ciclo de vida para o caso base e os casos otimizados da tipologia unifamiliar na zona bioclimática 5 são mostrados na Tabela 40a e os resultados para os casos com potencial nível superior na NBR e comportamento similar aos casos otimizados considerando limite da absorvância das paredes externas são mostrados na Tabela 40b. Em azul são identificados os casos presentes em ambos critérios de seleção.

Tabela 40. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB5

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
terrea_uni_ZB5_T1_P0_C0_E0	57.97	38940.93	68702.14	1981.74	81493.33	150195.47
terrea_uni_ZB5_T1_P7_C6_E7	74.71	53443.78	106133.65	1272.91	52344.69	158478.34
terrea_uni_ZB5_T1_P7_C6_E15	78.75	61787.50	123087.19	1241.23	51042.02	174129.22
terrea_uni_ZB5_T1_P3_C6_E7	72.55	74211.24	133818.56	1272.62	52332.74	186151.29
terrea_uni_ZB5_T1_P3_C6_E15	77.31	81845.86	150008.20	1229.89	50575.93	200584.13

a. Caso base e casos otimizados

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
terrea_uni_ZB5_T1_P0_C0_E0	57.97	38940.93	68702.14	1981.74	81493.33	150195.47
terrea_uni_ZB5_T1_P7_C3_E13	74.81	48570.15	98058.53	1502.50	61786.03	159844.56
terrea_uni_ZB5_T1_P7_C6_E13	76.24	51360.18	102297.82	1338.59	55045.63	157343.45
terrea_uni_ZB5_T1_P7_C6_E7	74.71	53443.78	106133.65	1272.91	52344.69	158478.34
terrea_uni_ZB5_T1_P4_C6_E13	73.24	58232.43	112645.70	1443.21	59348.01	171993.71
terrea_uni_ZB5_T1_P7_C3_E15	75.81	58997.47	118847.91	1431.01	58846.07	177693.97
terrea_uni_ZB5_T1_P7_C4_E15	73.01	58997.47	118847.91	1558.59	64092.58	182940.49
terrea_uni_ZB5_T1_P7_C1_E15	74.68	60611.70	123745.18	1356.32	55774.64	179519.82
terrea_uni_ZB5_T1_P7_C6_E15	78.75	61787.50	123087.19	1241.23	51042.02	174129.22
terrea_uni_ZB5_T1_P4_C6_E15	75.45	68627.42	133395.68	1350.79	55547.57	188943.25
terrea_uni_ZB5_T1_P3_C6_E13	74.46	71513.35	129320.96	1322.89	54400.27	183721.23
terrea_uni_ZB5_T1_P3_C3_E15	73.38	79055.83	145768.91	1421.42	58451.68	204220.60
terrea_uni_ZB5_T1_P3_C1_E15	73.08	80670.06	150666.19	1342.66	55212.94	205879.13
terrea_uni_ZB5_T1_P3_C6_E15	77.31	81845.86	150008.20	1229.89	50575.93	200584.13

b. Caso base e casos otimizados e com potencial para desempenho similar aos casos otimizados considerando baixa absorvância solar da envoltória

As características dos casos otimizados são mostradas na Tabela 41a e as características dos casos com potencial para nível superior e comportamento similar aos casos otimizados na Tabela 41b. Para ambas seleções as características em comum são, pé-direito de 2,50m (estratégia T1), paredes presentes P3 (bloco de concreto celular) e P7 (dupla de madeira com isolante), ambas com baixa transmitância térmica, a maioria das coberturas com baixa transmitância (presença de isolamento) e baixa capacidade térmica e, esquadrias com os dois percentuais de elementos transparentes ($P_{t,APP}$) tanto de 17% como de 23%, sendo sempre o fator de ventilação de 90% (tipo abrir) e com venezianas nos dormitórios e sala. A diferença que se observa nos casos com potencial a nível superior e desempenho similar aos casos otimizados (Tabela 41b) é que se apresentam dois casos com parede de transmitância térmica média (P4 – tijolo de 9 furos), casos com cobertura com absorvância térmica de 0,6 com isolamento (C1 – telha de barro isolada com forro de madeira) e casos com coberturas sem isolamento (C3 e C4), embora são poucos casos, e ainda, casos com esquadria com $P_{t,APP}$ de 23%, fator de ventilação de 0,90 e veneziana somente nos dormitórios.

Tabela 41. Casos otimizados com estratégias para a tipologia unifamiliar – ZB5

P3	Bloco de concreto celular para vedação (60x30x20)	C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E7	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios e sala
				E15	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala
P7	Chapa dupla de madeira plantada de 2,2 cm com isolante 5cm	C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E7	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios e sala
				E15	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala

a. Estratégias presentes nos casos otimizados

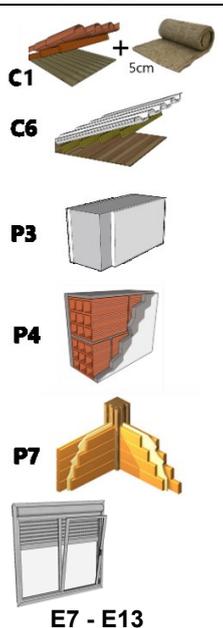
P3	Bloco de concreto celular para vedação (60x30x20)	C1	Telha de barro (α 0,60) + lâ de rocha 5cm+ câmara de ar + forro de madeira 1cm	E15	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala
		C3	Telha de barro (α 0,45) + câmara de ar + forro de madeira 1cm		
		C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E13	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
E15	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala				
P4	Tijolo 9 furos 14x19x29 Com reboco interno e externo	C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E13	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
				E15	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala
P7	Chapa dupla de madeira plantada de 2,2 cm com isolante 5cm	C1	Telha de barro (α 0,60) + lâ de rocha 5cm+ câmara de ar + forro de madeira 1cm	E15	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala
				C3	Telha de barro (α 0,45) + câmara de ar + forro de madeira 1cm
		E15	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala		
		C4	Telha de barro (α 0,60) + câmara de ar + forro de madeira 1cm	E15	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala
		C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E7	P _{t,APP} (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios e sala
				E13	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
E15	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala				

b. Estratégias presentes nos casos otimizados e com potencial para desempenho similar aos casos otimizados considerando baixa absorvância solar da envoltória

Com base nas análises anteriores a Tabela 42 apresenta as diretrizes dos projetos para a tipologia unifamiliar na zona bioclimática 5. O pé direito nos ambientes de permanência prolongada deve ser mínimo de 2,50m. A cobertura deve ter transmitância térmica máxima de 0,70 W/m²K. As paredes externas devem ter transmitância térmica máxima de 0,75 W/m²K com capacidade térmica mínima de 30 kJ/m²K, sendo admitidas paredes com transmitância térmica máxima de 1,85 W/m²K e capacidade térmica mínima de 130 kJ/m²K sempre e quando a absorvância solar máxima das paredes externas seja menor ou igual a 0,4 (para paredes com transmitância térmica superior a 0,75 e menor ou igual a 1,85 W/m²K). A máxima absorvância solar para coberturas deve ser de 0,4 (cor clara) com exceção da telha de barro não vitrificada. Para paredes com menor transmitância térmica (menor ou igual a 0,75 W/m²K), o limite da absorvância solar é de 0,6, sendo recomendado o limite de 0,4. Para as esquadrias podem ser menores com P_{t,APP} de mínimo 17% com venezianas nos dormitórios e sala e fator de ventilação mínimo de 90% ou com P_{t,APP} mínimo de 23%, fator de ventilação de 90% e veneziana somente nos dormitórios.

Tabela 42. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB5

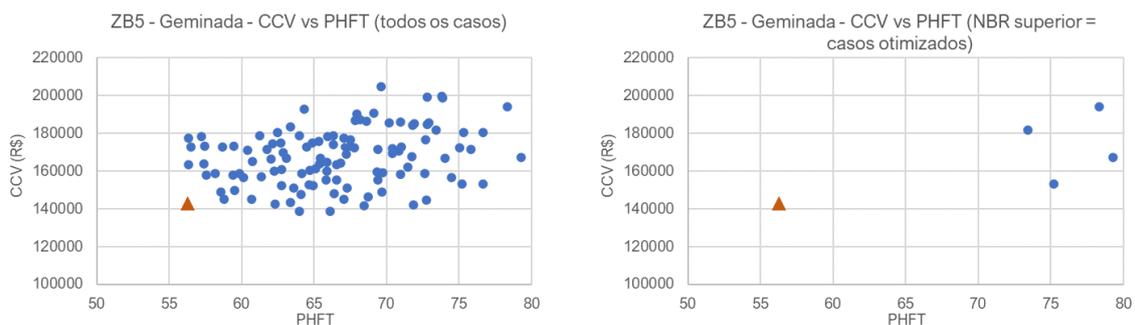
ITENS	CRITÉRIOS		
Pé-direito mínimo	2,50 m		
Sistemas de cobertura	$U \leq 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$		
Sistema de vedação vertical externo	$U \leq 1,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ CT $\geq 130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ com $\alpha \leq 0,4$ $U \leq 0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$ CT $\geq 30 \text{ kJ/m}^2\text{K}$		
Absortância máxima para paredes e coberturas	0,6 para paredes sendo recomendada 0,4. 0,4 para paredes com $U \leq 1,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $> 0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$ Para coberturas 0,4 com exceção da cobertura em telha de barro não vitrificada.		
Esquadrias	$P_{t,APP}$	Sombreamento	Fator de ventilação
	17%	Venezianas nos dormitórios + sala	FV90
	23%	Venezianas nos dormitórios	FV90



Obs. Transmitância térmica (U) em $\text{W/m}^2\text{K}$, Capacidade térmica (CT) em $\text{kJ/m}^2\text{K}$.

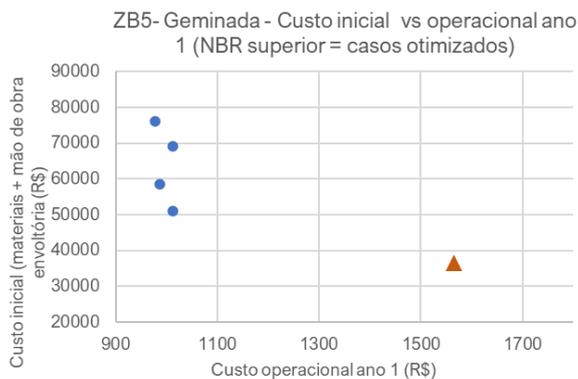
Para a **tipologia geminada** na zona bioclimática 5, os resultados são mostrados na Figura 16. Os casos simulados (Figura 16a) mostram-se com um comportamento muito similar ao observado na tipologia unifamiliar pois os casos com desempenho superior na ABNT NBR 15575 são os mesmos casos otimizados. O caso base tem um PHFT de 56% enquanto os casos otimizados alcançam PHFT entre 73% e 78% (Figura 16b). E com relação ao custo inicial, os casos otimizados mostram um custo inicial superior ao caso base, contudo, todos os casos otimizados têm uma ampla redução no custo operacional em torno de 37% com relação ao caso base (Figura 16c). Novamente, por conta dos poucos casos selecionados como casos otimizados, foi ampliada a análise para casos que tenham desempenho potencial similar aos casos otimizados considerando baixa absortância solar para a envoltória, seguindo o mesmo procedimento descrito na tipologia unifamiliar da ZB5. Na Figura 16d se mostra o caso base e casos com estratégias combinadas em função dos indicadores de custo operacional (ano 1) e PHFT ressaltando em cor os que tem potencial desempenho similar aos casos otimizados e na Figura 16e são mostrados o caso base e os casos otimizados em função dos mesmos indicadores.

Figura 16. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia de casa geminada – ZB5

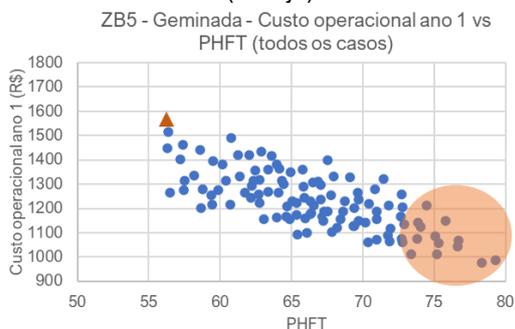


a. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas

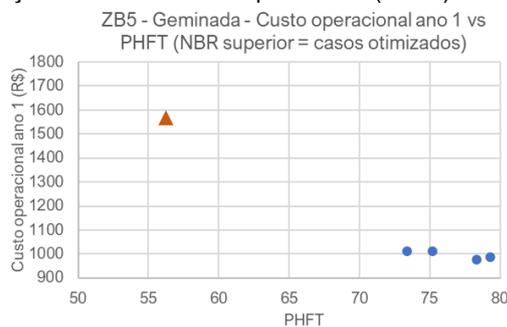
b. Caso base (laranja) e casos com desempenho superior na NBR 15575 igual a casos otimizados



c. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo inicial e operacional (ano 1)



d. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas em função do custo operacional (ano 1) e PHFT



e. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo operacional (ano 1) e PHFT

A Tabela 43a mostra os resultados para todos os indicadores analisados para o caso base (ressaltado em cinza) e os casos otimizados com as estratégias presentes em cada caso considerando a unidade habitacional. Os casos otimizados mostram aumento no custo inicial com relação ao caso base entre R\$ 14.709 a R\$ 39.703. A Tabela 43b mostra os resultados com os mesmos indicadores para os casos com desempenho potencial similar aos casos otimizados (considerando envoltória com baixa absorção solar). Neles se encontram casos com menores diferenças de custo inicial em relação ao caso base. Em azul ressaltam-se os casos otimizados.

Tabela 43. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia casa geminada – ZB5

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
geminada_ZB5_T1_P0_C0_E0	56.29	36352.64	65205.65	1887.66	77624.69	142830.35
geminada_ZB5_T1_P7_C6_E7	75.20	51062.00	103066.30	1219.95	50167.13	153233.43
geminada_ZB5_T1_P7_C6_E15	79.29	58487.68	118154.48	1188.86	48888.37	167042.84
geminada_ZB5_T1_P3_C6_E7	73.40	69261.68	131446.23	1220.68	50197.01	181643.24
geminada_ZB5_T1_P3_C6_E15	78.34	76056.27	145854.56	1178.39	48458.13	194312.69

a. Estratégias presentes nos casos otimizados

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
geminada_ZB5_T1_P0_C0_E0	56.29	36352.64	65205.65	1887.66	77624.69	142830.35
geminada_ZB5_T1_P7_C3_E13	74.45	47076.85	96606.23	1460.73	60068.58	156674.82
geminada_ZB5_T1_P7_C6_E13	76.68	49524.67	100325.53	1287.96	52963.68	153289.21
geminada_ZB5_T1_P7_C6_E7	75.20	51062.00	103066.30	1219.95	50167.13	153233.43
geminada_ZB5_T1_P4_C6_E13	74.04	55515.58	110884.91	1356.40	55778.15	166663.06
geminada_ZB5_T1_P7_C3_E15	75.82	56039.85	114435.18	1383.72	56901.55	171336.73
geminada_ZB5_T1_P7_C1_E15	75.05	57455.96	118731.40	1306.56	53728.55	172459.94
geminada_ZB5_T1_P7_C6_E15	79.29	58487.68	118154.48	1188.86	48888.37	167042.84
geminada_ZB5_T1_P4_C6_E15	76.67	64478.59	128713.85	1258.03	51732.72	180446.57
geminada_ZB5_T1_P3_C6_E13	75.32	67093.27	128025.61	1274.74	52419.90	180445.52
geminada_ZB5_T1_P3_C6_E7	73.40	69261.68	131446.23	1220.68	50197.01	181643.24
geminada_ZB5_T1_P3_C3_E15	73.89	73608.44	142135.27	1374.86	56537.04	198672.31
geminada_ZB5_T1_P3_C1_E15	73.79	75024.56	146431.48	1294.21	53220.63	199652.11
geminada_ZB5_T1_P3_C6_E15	78.34	76056.27	145854.56	1178.39	48458.13	194312.69

- b. Estratégias presentes nos casos com potencial para desempenho similar aos casos otimizados considerando baixa absorvância solar das paredes externas

A Tabela 44a mostra de forma mais detalhada as composições das estratégias presentes nos casos otimizados. Para todos, o pé direito é de 2,50 m (estratégia T1). Com relação a paredes, nos casos otimizados se encontram as paredes P3 (bloco de concreto celular) e P7 (dupla de madeira com isolante), as quais estavam também presentes nos casos otimizados da tipologia unifamiliar. A parede P3 possui baixa transmitância térmica e capacidade térmica média, enquanto a parede P7 possui transmitância e capacidade térmica baixa. Os casos que apresentam maior custo inicial e maior custo no ciclo de vida do que o caso base são os casos que possuem a parede P3. A única cobertura para todos os casos é a C6 (telha metálica sanduiche com isolamento e baixa absorvância e forro de madeira). A cobertura possui isolamento. Têm duas esquadrias presentes nos casos otimizados, as mesmas que estavam presentes nos casos otimizados da tipologia unifamiliar, ambas com fator de ventilação de 90% (tipo de abrir). Os percentuais de elementos transparentes ($P_{t,APP}$) foram tanto de 17% quanto de 23%, sendo todas as esquadrias com venezianas nos dormitórios e sala. A Tabela 44b mostra a composição das estratégias dos casos com desempenho potencial similar aos casos otimizados. A diferença é que aparece novamente (ao igual que na tipologia unifamiliar da ZB5) a parede P4, as coberturas C1 e C3 e a esquadria E13, presentes também na tipologia unifamiliar da ZB5.

Tabela 44. Casos otimizados com estratégias para a tipologia casa geminada – ZB5

P3	Bloco de concreto celular para vedação (60x30x20)	C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E7	P _{t,APP} (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios e sala
				E15	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala
P7	Chapa dupla de madeira plantada de 2,2 cm com isolante 5cm	C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E7	P _{t,APP} (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios e sala
				E15	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala

a. Estratégias presentes nos casos otimizados

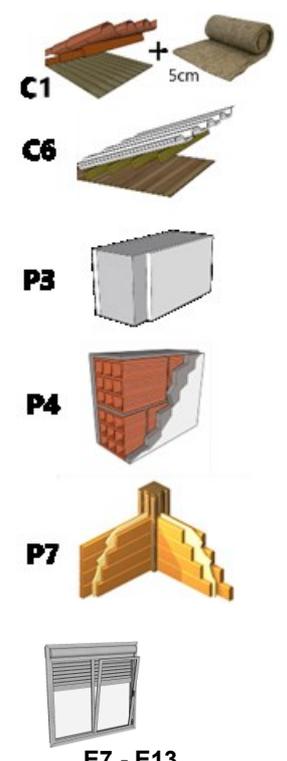
P3	Bloco de concreto celular para vedação (60x30x20)	C1	Telha de barro (α 0,60) + lâ de rocha 5cm+ câmara de ar + forro de madeira 1cm	E15	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala
				C3	Telha de barro (α 0,45) + câmara de ar + forro de madeira 1cm
		C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira		
				E13	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
P4	Tijolo 9 furos 14x19x29 (total 18cm) c/reboco int. e ext. (Par ext+int)	C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E13	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
				E15	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala
P7	Chapa dupla de madeira plantada de 2,2 cm com isolante 5cm	C1	Telha de barro (α 0,60) + lâ de rocha 5cm+ câmara de ar + forro de madeira 1cm	E15	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala
				C3	Telha de barro (α 0,45) + câmara de ar + forro de madeira 1cm
		E15	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala		
		C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E7	P _{t,APP} (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios e sala
				E13	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
		E15	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala		

b. Estratégias presentes nos casos otimizados e casos com potencial para desempenho similar aos casos otimizados considerando baixa absorção solar da envoltória

Portanto, e conforme análise anterior, são colocadas as diretrizes para projeto da tipologia de casa geminada na zona bioclimática 5 na Tabela 45. As diretrizes são similares às da tipologia unifamiliar. O pé direito deve ser mínimo de 2,50m nos ambientes de permanência prolongada. Cobertura com transmitância térmica máxima de 0,70 W/m²K. As paredes externas devem ter transmitância térmica máxima de 0,75 W/m²K com capacidade térmica mínima de 30 kJ/m²K sendo admitidas paredes com transmitância térmica (U) menor ou igual a 1,85 W/m²K e capacidade térmica maior ou igual a 130 kJ/m²K, contudo, paredes com U entre 0,75 e 1,85 devem apresentar absorção solar máxima de 0,4. Para paredes com U menor do que 0,75, o limite de absorção máxima é de 0,6, entretanto recomenda-se que seja de 0,4. A máxima absorção solar para coberturas é também de 0,4 (cor clara), inclui-se a telha de barro não vitrificada. Para as esquadrias devem ser mínimo com P_{t,APP} de 17% com venezianas em todos os ambientes de permanência prolongada e fator de ventilação mínimo de 90%, ou esquadrias com P_{t,APP} mínimo de 23% e venezianas como mínimo nos dormitórios.

Tabela 45. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia geminada – ZB5

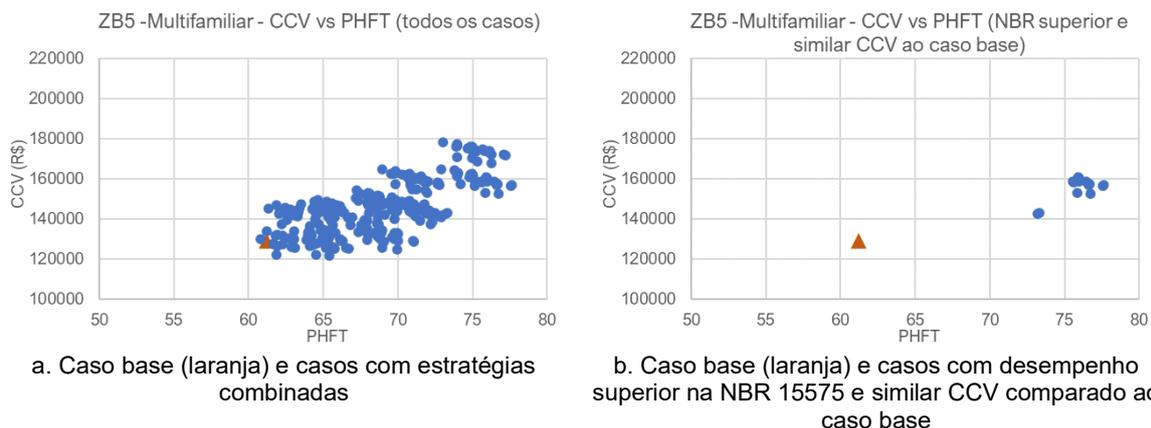
ITENS	CRITÉRIOS		
Pé-direito mínimo	2,50 m		
Sistemas de cobertura	$U \leq 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$		
Sistema de vedação vertical	$U \leq 0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $CT \geq 30 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ $U \leq 1,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $CT \geq 130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ com $\alpha \leq 0,4$		
Absortância máxima para paredes e coberturas	0,6 para paredes sendo recomendada 0,4. 0,4 para paredes com $U \leq 1,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $> 0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$ Para coberturas 0,4 com exceção da cobertura em telha de barro não vitrificada.		
Esquadrias	$P_{t,APP}$	Sombreamento	Fator de ventilação
	17%	Venezianas nos dormitórios + sala	FV90
	23%	Venezianas nos dormitórios	FV90

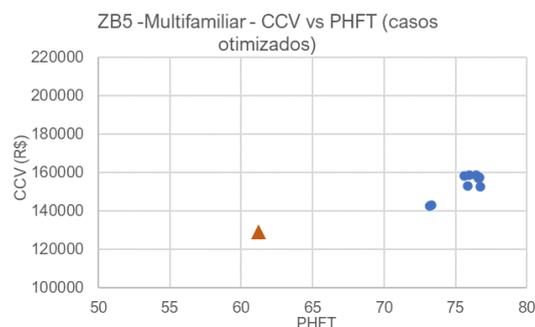


Obs. Transmitância térmica (U) em $\text{W/m}^2\text{K}$, Capacidade térmica (CT) em $\text{kJ/m}^2\text{K}$.

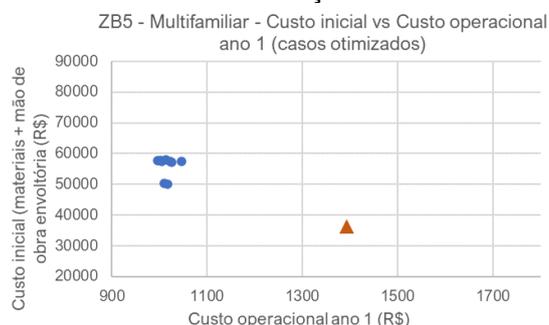
Para a **tipologia multifamiliar** da zona bioclimática 5 os resultados são mostrados na Figura 17. Dos casos simulados, uma pequena porcentagem atinge o nível superior na NBR 15575 com custo similar no ciclo de vida do que o caso base (Figura 17b). O caso base apresenta PHFT de 61% enquanto os casos otimizados possuem PHFT superior a 73% com custo no ciclo de vida energético superior quando comparados ao caso base (Figura 17c). O caso base mostra um custo inicial relacionado aos materiais e mão de obra dos componentes da envoltória considerados na análise de R\$ 36.076 enquanto os casos otimizados têm custo inicial entre aproximadamente R\$50.000 a R\$ 57.000 e custo operacional médio ao redor de R\$ 1.000/ano, enquanto o do caso base é aproximadamente R\$ 1.400 (Figura 17d), ou seja, observa-se que embora os casos otimizados apresentem aumento considerável no custo inicial mostram amplos benefícios.

Figura 17. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia edifício multifamiliar – ZB5





c. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo no ciclo de vida (CCV) e PHFT



d. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo inicial e operacional (ano 1)

Na Tabela 46 são colocados o caso base e os casos otimizados para a tipologia multifamiliar da zona bioclimática 5 com as estratégias presentes em cada caso e os resultados para PHFT, consumo operacional e indicadores relacionados ao custo no ciclo de vida.

Tabela 46. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia edifício multifamiliar – ZB5

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
multi_h_ZB5_T1_P0_C0_E0	61.22	36076.17	59841.41	1679.53	69066.05	128907.46
multi_h_ZB5_T2_P1_C6_E8	73.19	50181.15	92007.38	1225.98	50414.93	142422.31
multi_h_ZB5_T2_P1_C7_E8	73.29	50369.56	92851.09	1216.81	50037.72	142888.81
multi_h_ZB5_T2_P1_C2_E15	75.64	57301.37	107371.91	1235.44	50804.08	158175.99
multi_h_ZB5_T2_P1_C5_E15	75.82	57347.28	102427.58	1231.54	50643.49	153071.07
multi_h_ZB5_T2_P1_C3_E16	75.98	57371.77	106861.92	1260.75	51844.57	158706.49
multi_h_ZB5_T2_P1_C6_E15	76.64	57515.98	107098.55	1209.98	49756.87	156855.42
multi_h_ZB5_T2_P1_C7_E15	76.68	57704.39	107942.26	1201.06	49390.12	157332.38
multi_h_ZB5_T2_P1_C2_E16	76.58	57707.37	108019.47	1209.16	49723.26	157742.73
multi_h_ZB5_T2_P1_C5_E16	76.72	57753.28	103075.14	1206.02	49594.04	152669.17
multi_h_ZB5_T2_P1_C1_E16	76.44	57853.43	108323.18	1220.58	50193.08	158516.26

Na Tabela 47 os casos otimizados são mostrados em maior detalhe em função dos componentes relacionados na envoltória.

Tabela 47. Casos otimizados com estratégias para a tipologia edifício multifamiliar – ZB5

P1	Parede externa de Concreto 10cm com isolante EPS 2,5cm, com reboco externo de 2cm e Parede interna em concreto 10 cm	C1	Telha de barro (α 0,60) + lâ de rocha 5cm+ câmara de ar + forro de madeira 1cm	E16	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com brise/sacada de 1,20 m na sala e veneziana nos dormitórios e sala
		C2	Telha de barro com lâ de rocha 5,0cm, câmara de ar e forro com laje de 12cm de concreto com EPS	E15	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala
				E16	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com brise/sacada de 1,20 m na sala e veneziana nos dormitórios e sala
		C3	Telha de barro (α 0,45) + câmara de ar + forro de madeira 1cm	E16	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com brise/sacada de 1,20 m na sala e veneziana nos dormitórios e sala
		C5	Laje concreto com piso cerâmica de 1cm absorvância 0,5, contrapiso 5cm com isolante EPS 5cm e concreto 10cm	E15	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala
				E16	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com brise/sacada de 1,20 m na sala e veneziana nos dormitórios e sala
		C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E8	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com brise/sacada de 1,20 m na sala e veneziana nos dormitórios e sala
E15	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala				
C7	Telha metálica sanduiche com α 0,3, câmara de ar e forro de laje concreto com EPS	E8	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com brise/sacada de 1,20 m na sala e veneziana nos dormitórios e sala		
		E15	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala		

Todos os casos otimizados nesta tipologia apresentam pé-direito de 2,60m (estratégia T2) e a parede presente em todos os casos é a parede P1 (concreto com isolamento), a qual tem baixa transmitância térmica e alta capacidade térmica por conta do concreto. As coberturas presentes são C1, C2, C3, C5, C6 e C7. Com exceção da cobertura C3, todas as coberturas possuem isolamento, sendo algumas com capacidade térmica alta e outras com capacidade térmica baixa. Das esquadrias somente três tipos são presentes nos casos otimizados, as esquadrias E8, E15 e E16. Todas possuem fator de ventilação de 90% e consideram venezianas tanto nos dormitórios quanto na sala. A maioria considera maior percentual de elementos transparentes, $P_{t,APP}$ de 23%, sendo somente a E8 presente em dois casos que apresenta percentual de elementos transparentes menor, $P_{t,APP}$ de 17%, contudo associado também à presença de brise/sacada de 1,20m de profundidade como sombreamento para a sala, condição presente também na esquadria E16.

As diretrizes para os projetos da tipologia multifamiliar na zona bioclimática 5, são apresentadas na Tabela 48.

Tabela 48. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia edifício multifamiliar – ZB5

ITENS	CRITÉRIOS		
Pé-direito mínimo	2,60 m		
Sistemas de cobertura	$U \leq 2,02 \text{ W/m}^2\text{K}$		
Sistema de vedação vertical externo	$U \leq 1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $CT \geq 130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$		
Absortância máxima para paredes externas e coberturas	0,6 para paredes sendo recomendada 0,4. Para coberturas 0,4 com exceção da cobertura em telha de barro não vitrificada.		
Esquadrias	$P_{t,APP}$	Sombreamento	Fator de ventilação
	17%	Venezianas nos dormitórios + sala c/brise/sacada de mínimo 1,20m na sala	FV90
	23%	Venezianas nos dormitórios + sala	FV90

E8 - E15

Obs. Transmitância térmica (U) em $\text{W/m}^2\text{K}$, Capacidade térmica (CT) em $\text{kJ/m}^2\text{K}$.

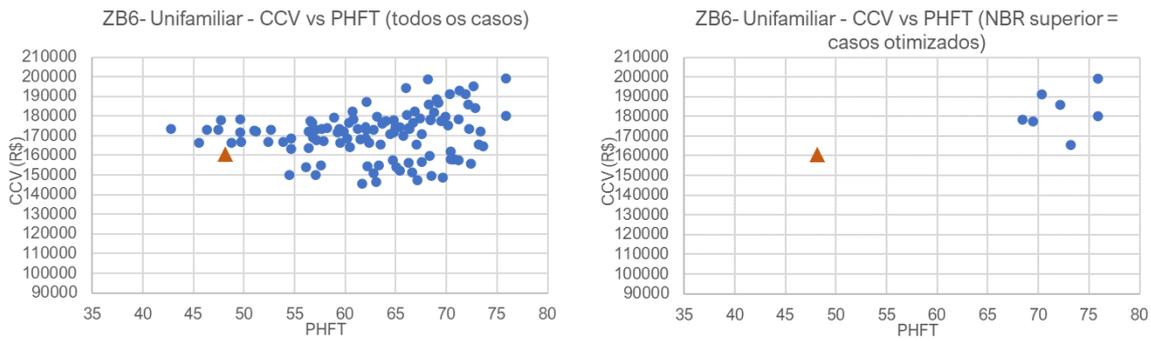
O pé direito de 2,60m é o mínimo para os ambientes de permanência prolongada. A cobertura deve possuir transmitância máxima de $2,02 \text{ W/m}^2\text{K}$. Nas paredes a transmitância térmica máxima deve ser $1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ com capacidade térmica igual ou superior a $130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$. A absortância solar máxima para coberturas deve ser de 0,4 (cores claras) com exceção das telhas de barro não vitrificadas. Para paredes externas a absortância solar máxima é de 0,6, sendo recomendado o valor de 0,4. Com relação às esquadrias o percentual mínimo de elementos transparentes ($P_{t,APP}$) pode ser de 17% ou de 23%. Para ambos casos deve ter-se sombreamento em todos os ambientes de permanência prolongada (dormitórios e sala) e as esquadrias devem ter fator de ventilação mínimo de 90% (tipo abrir ou similar). A diferença é que para $P_{t,APP}$ de 17% deve ter ainda presença de brise/sacada de 1,20m de profundidade como sombreamento para a sala.

2.2.6 Zona bioclimática 6

Na Figura 18 colocam-se os resultados para a tipologia **unifamiliar** da zona bioclimática 6. Nesta tipologia e zona bioclimática novamente os casos com desempenho superior na NBR 15575 são os mesmos casos otimizados, sendo poucos casos. Dessa forma, foi adotada a mesma consideração do que na tipologia unifamiliar e geminada na ZB5, trazendo para análise casos com desempenho potencial similar aos casos otimizados, mas que considerem envoltória com baixa absortância solar.

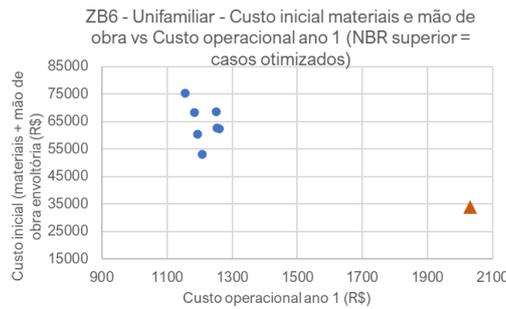
Enquanto o caso base mostra um PHFT de 48,22%, os casos otimizados apresentam PHFT acima de 68% (Figura 18b). O custo inicial dos componentes avaliados no caso base está estimado em R\$ 33.842 (considerando-se somente os componentes da envoltória) enquanto nos casos otimizados variam entre R\$ 52.941 a R\$75.451, ou seja, um aumento significativo, em especial considerado o maior valor. Por outro lado, a redução no custo operacional anual fica em torno de 40% para os casos otimizados em relação ao caso base (Figura 18c). Os casos com potencial de desempenho similar aos casos otimizados para envoltória com baixa absortância solar encontram-se na região em laranja da Figura 18d que mostra todos os casos em função dos indicadores de PHFT e custo operacional, indicando a posição dos casos otimizados conforme Figura 19e.

Figura 18. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia unifamiliar – ZB6

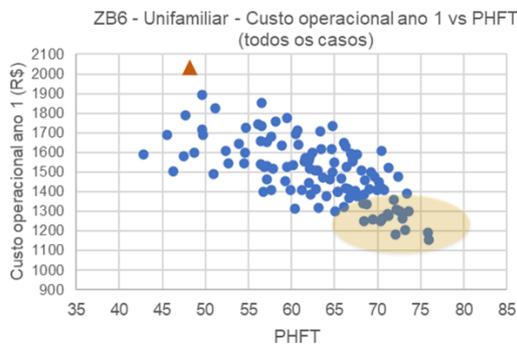


a. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas

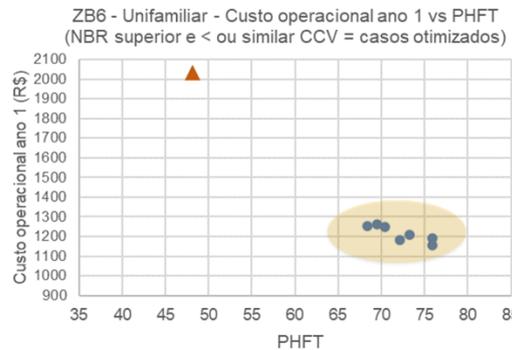
b. Caso base (laranja) e casos com desempenho superior na NBR 15575 igual a casos otimizados



c. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo inicial e operacional (ano 1)



d. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas em função do custo operacional (ano 1) e PHFT



e. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo operacional (ano 1) e PHFT

A Tabela 49a mostra o caso base (em cinza) e os casos otimizados para a tipologia unifamiliar na ZB6 com os resultados nos diversos indicadores avaliados, sendo identificadas as estratégias presentes em cada caso. A Tabela 49b mostra os casos com potencial de desempenho similar aos casos otimizados com os resultados nos diversos indicadores. Os casos foram escolhidos em função de ter maior PHFT, menor custo operacional e custo no ciclo de vida próximo ao caso base. Em azul são marcados os casos otimizados presentes em ambas as Tabelas.

Tabela 49. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB6

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
terrea_uni_ZB6_T1_P0_C0_E0	48.22	33842.59	59899.80	2282.82	100660.75	160560.54
terrea_uni_ZB6_T1_P7_C6_E7	73.22	52941.93	105624.02	1356.32	59806.55	165430.56
terrea_uni_ZB6_T1_P7_C6_E15	75.85	60521.17	120999.22	1340.62	59114.54	180113.75
terrea_uni_ZB6_T1_P3_C6_E5	69.46	62381.14	115251.18	1416.18	62446.43	177697.62
terrea_uni_ZB6_T1_P3_C6_E11	68.40	62659.61	116345.51	1407.17	62049.17	178394.68
terrea_uni_ZB6_T1_P3_C6_E7	72.12	68399.95	127223.62	1329.29	58614.75	185838.37
terrea_uni_ZB6_T1_P3_C2_E15	70.36	68500.82	129205.44	1405.43	61972.28	191177.72
terrea_uni_ZB6_T1_P3_C6_E15	75.90	75451.38	141997.90	1297.03	57192.29	199190.19

a. Estratégias presentes nos casos otimizados

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
terrea_uni_ZB6_T1_P0_C0_E0	48.22	33842.59	59899.80	2282.82	100660.75	160560.54
terrea_uni_ZB6_T1_P7_C3_E5	69.65	38377.85	75654.66	1657.40	73082.88	148737.54
terrea_uni_ZB6_T1_P7_C3_E11	68.54	39184.14	77349.91	1640.84	72352.42	149702.33
terrea_uni_ZB6_T1_P7_C3_E13	72.37	41641.86	82406.17	1659.15	73159.77	155565.94
terrea_uni_ZB6_T1_P7_C4_E13	70.40	41641.86	82406.17	1808.53	79746.68	162152.85
terrea_uni_ZB6_T1_P7_C1_E13	70.79	43491.79	87984.17	1582.71	69789.43	157773.60
terrea_uni_ZB6_T1_P7_C3_E7	70.45	44396.66	87627.10	1592.59	70225.14	157852.24
terrea_uni_ZB6_T1_P7_C6_E5	71.16	46923.12	93651.58	1444.37	63689.49	157341.07
terrea_uni_ZB6_T1_P7_C6_E11	70.55	47729.41	95346.83	1421.71	62689.92	158036.74
terrea_uni_ZB6_T1_P7_C6_E13	73.63	50187.12	100403.09	1460.36	64394.31	164797.40
terrea_uni_ZB6_T1_P7_C3_E15	73.40	51975.91	103002.30	1563.82	68956.45	171958.75
terrea_uni_ZB6_T1_P7_C4_E15	71.21	51975.91	103002.30	1712.62	75517.73	178520.03
terrea_uni_ZB6_T1_P7_C6_E7	73.22	52941.93	105624.02	1356.32	59806.55	165430.56
terrea_uni_ZB6_T1_P7_C1_E15	72.21	53825.83	108580.30	1472.86	64945.36	173525.66
terrea_uni_ZB6_T1_P4_C6_E13	69.90	56270.93	110121.98	1582.13	69763.80	179885.77
terrea_uni_ZB6_T1_P3_C3_E13	70.14	56642.64	103485.20	1628.05	71788.56	175273.77
terrea_uni_ZB6_T1_P3_C1_E13	68.45	58492.56	109063.20	1560.33	68802.67	177865.88
terrea_uni_ZB6_T1_P7_C6_E15	75.85	60521.17	120999.22	1340.62	59114.54	180113.75
terrea_uni_ZB6_T1_P3_C6_E5	69.46	62381.14	115251.18	1416.18	62446.43	177697.62
terrea_uni_ZB6_T1_P3_C6_E11	68.40	62659.61	116345.51	1407.17	62049.17	178394.68

b. Estratégias presentes nos casos otimizados e casos com potencial para desempenho similar aos casos otimizados considerando baixa absorvância solar da envoltória

A Tabela 50a mostra a composição dos casos otimizados de forma mais detalhada. O pé direito nos ambientes de maior permanência para todos os casos otimizados é de 2,50m (estratégia T1) e as paredes presentes nos casos são a P3 (bloco de concreto celular) e a P7, ambas com transmitância térmica baixa. Entre as coberturas observam-se a cobertura C2 e C6, tendo a cobertura C6 maior frequência de ocorrência. Ambas têm baixa transmitância térmica com uso de isolante, sendo uma com capacidade térmica média (C2) e a outra baixa (C6). A cobertura C6 é telha sanduiche metálica com baixa absorvância solar, câmara de ar e forro de madeira, já a cobertura C2 é telha de barro com isolante e forro com laje com EPS. Tem diversas esquadrias presentes nos casos otimizados (E5, E7, E11 e E15), sendo com maior ou menor percentual de elementos transparentes, tendo maior frequência de ocorrência a esquadria E15 que se refere a um percentual maior de

elemento transparente ($P_{t,APP}$ de 23%), fator de ventilação de 90% (tipo abrir) e sombreamento nos dormitórios e sala. Contudo tem também esquadrias que possuem somente venezianas nos dormitórios, associadas a fator de ventilação de 90% e menor percentual de elementos transparentes (E5). A composição dos casos com potencial similar aos casos otimizados (considerando a envoltória com baixa absorvância solar) é mostrada na Tabela 50b. A diferença refere-se à presença da parede 4 (tijolo de 9 furos com reboco), a cobertura C1 (telha de barro com isolante e forro de madeira), C3 e C4, estas últimas com telha de barro câmara de ar e forro de madeira sem isolante, e a esquadria E13 a qual possui veneziana somente nos quartos com fator de ventilação de 90% e $P_{t,APP}$ de 23%.

Tabela 50. Casos otimizados com estratégias para a tipologia unifamiliar – ZB6

P3	Bloco de concreto celular para vedação (60x30x20)	C2	Telha de barro (α 0,60) + lã de rocha 5,0cm + câmara de ar+ forro laje concreto c/ EPS (12 cm)	E15	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala
		C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E5	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
				E7	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios e sala
				E11	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
				E15	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala
P7	Chapa dupla de madeira plantada de 2,2cm+ isolante lã de rocha 5cm (Par externa e interna)	C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E7	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios e sala
				E15	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala

a. Estratégias presentes nos casos otimizados

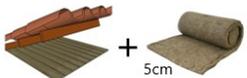
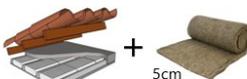
Tabela 51 (continuação). Casos otimizados com estratégias para a tipologia unifamiliar – ZB6

P3	Bloco de concreto celular para vedação (60x30x20)	C1	Telha de barro (α 0,60) + lâ de rocha 5cm+ câmara de ar + forro de madeira 1cm	E13	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios
				E15	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala
		C3	Telha de barro (α 0,45) + câmara de ar + forro de madeira 1cm	E13	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios
		C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E5	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
E11	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala				
P4	Tijolo 9 furos 14x19x29 (total 18cm) c/reboco int. e ext. (Par ext+int)	C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E13	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios
P7	Chapa dupla de madeira plantada de 2,2cm+ isolante lâ de rocha 5cm (Par externa e interna)	C1	Telha de barro (α 0,60) + lâ de rocha 5cm+ câmara de ar + forro de madeira 1cm	E13	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios
				E15	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala
		C3	Telha de barro (α 0,45) + câmara de ar + forro de madeira 1cm	E5	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
				E7	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios e sala
				E11	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
				E13	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios
				E15	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala
				E13	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios
		C4	Telha de barro (α 0,60) + câmara de ar + forro de madeira 1cm	E13	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios
				E15	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala
		C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E5	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
				E7	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios e sala
				E11	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
				E13	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios

b. Estratégias presentes nos casos com potencial para desempenho similar aos casos otimizados considerando baixa absorvância solar da envoltória

Conforme as análises apresentadas anteriormente, as diretrizes para projetos com alto desempenho e menor custo no ciclo de vida para a tipologia unifamiliar na zona bioclimática 6 são colocadas na Tabela 52.

Tabela 52. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB6

ITENS	CRITÉRIOS			
Pé-direito mínimo	2,50 m			C1 
Sistemas de cobertura	$U \leq 2,02$ para envoltória com $\alpha \leq 0,4$ $U \leq 0,70$ W/m ² K para envoltória com $\alpha \leq 0,6$			C2 
Sistema de vedação vertical externa	$U \leq 0,75$ W/m ² K e CT ≥ 30 kJ/m ² K e $U \leq 1,85$ W/m ² K e CT ≥ 130 kJ/m ² K com $\alpha \leq 0,4$			C3  C6 
Absortância máxima para paredes externas e coberturas	0,6 para paredes sendo recomendada 0,4. 0,4 para paredes com $U \leq 1,85$ W/m ² K e $> 0,75$ W/m ² K Para coberturas 0,4 com exceção da cobertura em telha de barro não vitrificada.			P4  P3 
Esquadrias	$P_{t,APP}$	Sombreamento	Fator de ventilação	P7 
	17%	Venezianas nos dormitórios	FV90	E11  E5 
	23%	Venezianas nos dormitórios + sala	FV45	

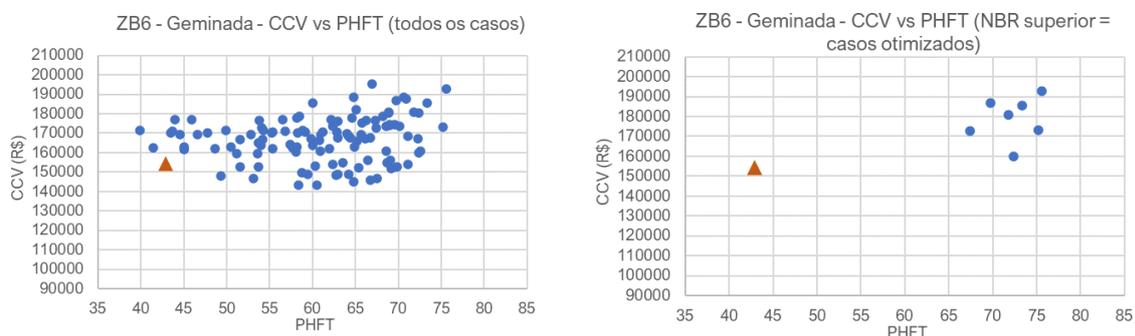
Obs. Transmitância térmica (U) em W/m²K, Capacidade térmica (CT) em kJ/m²K.

Nelas considera-se o pé direito mínimo para os ambientes de permanência prolongada de 2,50m. A transmitância térmica (U) máxima da cobertura é de 2,02 W/m²K, para envoltória com absortância solar máxima de 0,4 (cores claras), ou U máxima de 0,7 W/m²K para envoltória com absortância solar máxima de 0,6 (cores médias). Para as paredes externas a transmitância térmica (U) máxima é de 0,75W/m²K e capacidade térmica maior ou igual a 30 kJ/m²K, sendo admitidas paredes com U menor do que 1,85 W/m²K e capacidade térmica maior do que 130 kJ/m²K. Contudo, para paredes com U entre 0,75 W/m²K 1,85 W/m²K a absortância solar máxima é de 0,4. Para paredes com U abaixo de 0,75 a absortância solar máxima é de 0,6 (cores médias), sendo recomendada 0,4 (cores claras). Para cobertura a absortância solar máxima é de 0,4 com exceção da cobertura em telha de barro não vitrificada. Para as esquadrias podem ter-se áreas de esquadrias menores com $P_{t,APP}$ mínimo de 17% e neste caso o fator de ventilação das esquadrias deve ser mínimo de 90% e deve ter-se sombreamento no mínimo nos dormitórios. Ou as esquadrias podem ter fator de ventilação de 45% com sombreamento em todos os ambientes de permanência prolongada (dormitórios e sala), mas nesse caso as esquadrias devem corresponder a uma porcentagem de elementos transparentes que considerem um $P_{t,APP}$ mínimo de 23%.

Para a tipologia de **casa geminada** na zona bioclimática 6 mostra-se a Figura 19. A Figura 19^a mostra o caso base e todos os casos com estratégias analisados. O comportamento observado é muito similar ao da tipologia unifamiliar nesta mesma zona. Novamente os casos com desempenho superior na NBR 15575 são os mesmos casos otimizados, sendo um número reduzido. Por conta disso, foram incorporados na análise os casos que têm desempenho potencial similar ao caso base quando considerados com envoltória de absortância máxima de 0,40 (cores claras). Os casos otimizados alcançam importante aumento no indicador de PHFT com custo similar ou superior no ciclo de vida (Figura 19b). Os casos otimizados apresentam PHFT entre 67% a 75% enquanto no caso base é de 43%. O custo inicial dos casos otimizados mostra aumento significativo em relação ao caso base, sendo mínimo de R\$ 18.658 e máximo de R\$ 38.481, entretanto, o custo operacional anual dos casos otimizados mostra reduções em torno de 40% em relação ao caso base

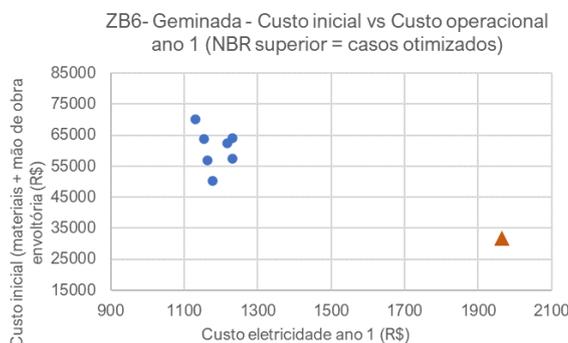
(Figura 19c). Na Figura 19d se mostram os resultados para os indicadores de custo operacional no primeiro ano e PHFT para todos os casos, e se destacam (em cor laranja) os casos considerados com potencial de desempenho similar aos casos otimizados, mostrados na Figura 19e. Os casos com desempenho similar aos casos otimizados foram selecionados também em função do menor custo inicial.

Figura 19. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia casa geminada – ZB6

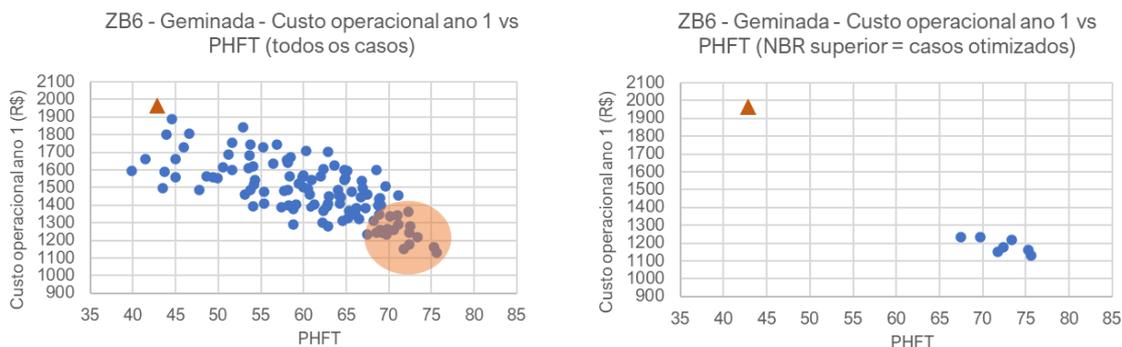


a. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas

b. Caso base (laranja) e casos com desempenho superior na NBR 15575 igual a casos otimizados



c. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo inicial e operacional (ano 1)



d. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas em função do custo operacional (ano 1) e PHFT

e. Caso base e casos otimizados em função do PHFT e do custo operacional no Ano 1

A Tabela 53a mostra os resultados para o caso base e casos otimizados em função do PHFT, consumo operacional e indicadores relacionados ao custo no ciclo de vida energético. Já a Tabela 53b mostra os casos com potencial de desempenho similar aos casos otimizados considerando a envoltória com baixa absorvância solar. Os casos otimizados presentes em ambas Tabelas são mostrados na cor azul. Os resultados são mostrados para a unidade habitacional.

Tabela 53. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia casa geminada – ZB6

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
geminada_ZB6_T1_P0_C0_E0	42.93	31564.35	56818.94	2208.65	97390.28	154209.22
geminada_ZB6_T1_P7_C6_E7	72.34	50223.50	101660.84	1322.54	58317.36	159978.20
geminada_ZB6_T1_P7_C6_E15	75.25	56968.81	115344.34	1307.72	57663.80	173008.13
geminada_ZB6_T1_P3_C6_E11	67.46	57567.90	111816.31	1384.45	61046.96	172863.27
geminada_ZB6_T1_P4_C6_E15	73.39	62272.39	125181.72	1368.17	60329.32	185511.03
geminada_ZB6_T1_P3_C6_E7	71.79	63770.21	123690.79	1296.10	57151.20	180841.98
geminada_ZB6_T1_P3_C2_E15	69.75	63947.62	125615.76	1384.45	61046.96	186662.72
geminada_ZB6_T1_P3_C6_E15	75.57	70045.79	136839.48	1268.92	55952.99	192792.48

a. Estratégias presentes nos casos otimizados

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
geminada_ZB6_T1_P0_C0_E0	42.93	31564.35	56818.94	2208.65	97390.28	154209.22
geminada_ZB6_T1_P7_C1_E13	69.12	42122.85	86602.03	1572.04	69319.03	155921.06
geminada_ZB6_T1_P7_C3_E7	68.70	42726.27	85871.20	1568.85	69178.07	155049.27
geminada_ZB6_T1_P7_C6_E5	69.82	44411.11	90098.60	1419.18	62578.35	152676.94
geminada_ZB6_T1_P7_C6_E11	69.18	44490.92	90321.17	1395.49	61533.92	151855.09
geminada_ZB6_T1_P7_C6_E13	72.55	47997.20	97498.27	1436.61	63347.25	160845.52
geminada_ZB6_T1_P7_C3_E15	72.32	49471.59	99554.70	1533.10	67601.82	167156.52
geminada_ZB6_T1_P7_C6_E7	72.34	50223.50	101660.84	1322.54	58317.36	159978.20
geminada_ZB6_T1_P7_C1_E15	71.10	51094.47	104448.09	1448.24	63859.85	168307.94
geminada_ZB6_T1_P4_C6_E13	70.17	53300.78	107335.65	1503.46	66294.70	173630.35
geminada_ZB6_T1_P4_C6_E7	68.98	55717.59	111747.75	1415.83	62430.97	174178.72
geminada_ZB6_T1_P7_C6_E15	75.25	56968.81	115344.34	1307.72	57663.80	173008.13
geminada_ZB6_T1_P3_C6_E11	67.46	57567.90	111816.31	1384.45	61046.96	172863.27
geminada_ZB6_T1_P3_C6_E5	68.56	57958.56	112129.38	1395.64	61540.33	173669.71

b. Estratégias presentes nos casos com potencial para desempenho similar aos casos otimizados considerando baixa absorvância solar da envoltória

Os casos otimizados detalhados podem ser vistos na Tabela 54a. Todos os casos mostram pé direito de 2,50 m para os ambientes de permanência prolongada (estratégia T1). Os casos otimizados têm uma configuração similar à observada na tipologia unifamiliar, a diferença é que já aparecem neles a parede P4 (tijolo 9 furos com reboco). Além dela se faz presente nesses casos otimizados, as paredes P7 (madeira dupla com isolamento) e P3 (bloco de concreto celular). Nas coberturas estão presentes a C2 (telha de barro, isolante de forro de laje de concreto com EPS) e C6, tendo maior frequência de ocorrência a cobertura C6 (baixa absorvância solar, isolamento e baixa capacidade e transmitância térmica). Todas as esquadrias têm venezianas nos dormitórios e sala, sendo algumas com fator de ventilação de 45% e outras de 90% e área de elementos transparentes tanto de 17% quanto de 23%. Por outro lado, a Tabela 54b mostra além dos casos otimizados, casos com potencial de desempenho similar aos casos otimizados considerando envoltória com baixa absorvância solar. As únicas diferenças observadas entre eles é a presença de casos com cobertura C1, que representa também uma cobertura com baixa transmitância térmica e cobertura C3, que é uma cobertura sem isolamento, mas com baixa absorvância solar;

assim como a presença nos casos das esquadrias E5 e E13, que possuem venezianas somente nos quartos, mas ainda com fator de ventilação de 90% (tipo abrir ou similar) com percentual de elementos transparentes de 17% (E5) e 23% (E13).

Tabela 54. Casos otimizados com estratégias para a tipologia casa geminada – ZB6

P3	Bloco de concreto celular para vedação (60x30x20)	C2	Telha de barro (α 0,60) + lâ de rocha 5,0cm + câmara de ar+ forro laje concreto c/ EPS (12 cm)	E15	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala
		C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E7	P _{t,APP} (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios e sala
				E11	P _{t,APP} (23%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
				E15	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala
P4	Tijolo 9 furos 14x19x29 com reboco int. e ext.	C6	Telha de barro (α 0,60) + lâ de rocha 5cm+ câmara de ar + forro de madeira 1cm	E15	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala
P7	Chapa dupla de madeira plantada de 2,2cm+ isolante lâ de rocha 5cm (Par ext + int)	C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E7	P _{t,APP} (17%), FV 0,90 – veneziana nos dormitórios e sala
				E15	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala

a. Estratégias presentes nos casos otimizados

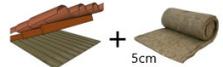
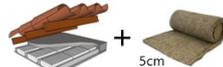
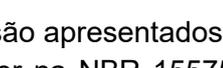
P3	Bloco de concreto celular para vedação (60x30x20)	C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E5	P _{t,APP} (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
				E11	P _{t,APP} (23%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
P4	Tijolo 9 furos 14x19x29 com reboco int. e ext.	C6	Telha de barro (α 0,60) + lâ de rocha 5cm+ câmara de ar + forro de madeira 1cm	E7	P _{t,APP} (17%), FV 0,90 – veneziana nos dormitórios e sala
				E13	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
P7	Chapa dupla de madeira plantada de 2,2cm+ isolante lâ de rocha 5cm (Par ext + int)	C1	Telha de barro (α 0,60) + lâ de rocha 5cm+ câmara de ar + forro de madeira 1cm	E13	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
				E15	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala
		C3	Telha de barro (α 0,45) + câmara de ar + forro de madeira 1cm	E7	P _{t,APP} (17%), FV 0,90 – veneziana nos dormitórios e sala
				E15	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala
		C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E5	P _{t,APP} (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
				E7	P _{t,APP} (17%), FV 0,90 – veneziana nos dormitórios e sala
				E11	P _{t,APP} (23%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
				E13	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
E15	P _{t,APP} (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala				

b. Estratégias presentes nos casos otimizados e casos com potencial para desempenho similar aos otimizados considerando baixa absorção solar da envoltória

Dos casos analisados colocam-se na Tabela 55 as diretrizes para projetos da tipologia geminada na zona bioclimática 6. Com relação ao pé-direito, paredes e coberturas, as diretrizes são similares às colocadas para a tipologia unifamiliar: pé direito mínimo para os ambientes de permanência prolongada de 2,50m; transmitância térmica da cobertura máxima de 2,02 W/m²K para envoltória com absorvância solar máxima de 0,4 e de 0,70 W/m²K para envoltória com absorvância solar máxima de 0,6; paredes externas com transmitância térmica máxima de 1,85 W/m²K e capacidade térmica maior ou igual a 130 kJ/m²K e/ou paredes leves com capacidade térmica maior ou igual a 30 kJ/m²K e transmitância térmica máxima de 0,75 W/m²K. Para paredes externas a absorvância solar máxima é de 0,6, entretanto recomenda-se que seja de 0,4.

A absorvância solar máxima para a cobertura é de 0,4 com exceção da cobertura em telha de barro não vitrificada. Para as esquadrias se observam pequenas mudanças em relação à tipologia unifamiliar. Podem ter-se igualmente áreas de esquadrias menores ou maiores. Para aberturas menores com P_{t,APP} mínimo de 17%, deve ter-se sombreamento em todos os ambientes de permanência prolongada e fator de ventilação mínimo de 90%. Ou as esquadrias podem ter porcentagem de elementos transparentes (P_{t,APP}) mínimo de 23%, e nesse caso, o fator de ventilação pode ser mínimo de 45% e o sombreamento deve estar presente em todos os ambientes de permanência prolongada.

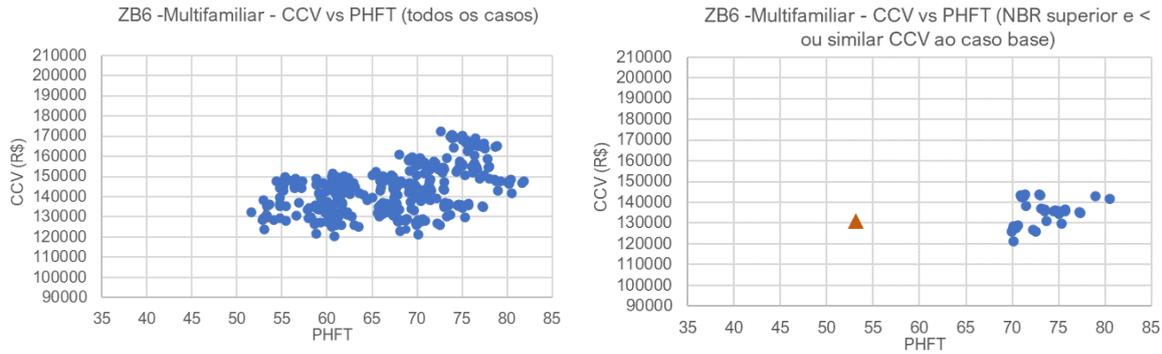
Tabela 55. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia geminada – ZB6

ITENS	CRITÉRIOS			
Pé-direito mínimo	2,50 m			C1 
Sistemas de cobertura	U ≤ 2,02 para envoltória com α ≤ 0,4 U ≤ 0,70 W/m ² K para envoltória com α ≤ 0,6			C2 
Sistema de vedação vertical externo	U ≤ 0,75 W/m ² K e CT ≥ 30 kJ/m ² K e U ≤ 1,85 W/m ² K e CT ≥ 130 kJ/m ² K			C3  C6 
Absorvância máxima para paredes externas e coberturas	0,6 para paredes sendo recomendada 0,4. Para coberturas 0,4 com exceção da cobertura em telha de barro não vitrificada.			P4  P3 
Esquadrias	P _{t,APP}	Sombreamento	Fator de ventilação	P7 
	17%	Venezianas nos dormitórios + sala	FV90	E7  E11 
	23%	Venezianas nos dormitórios + sala	FV45	

Obs. Transmitância térmica (U) em W/m²K, Capacidade térmica (CT) em kJ/m²K.

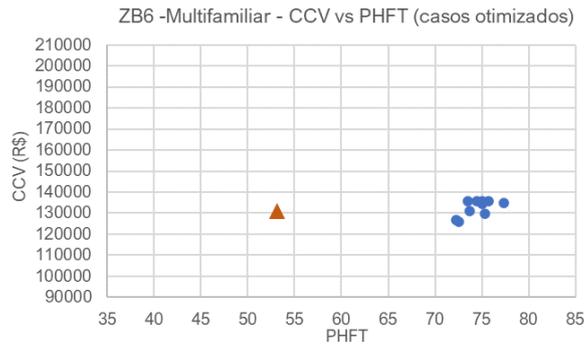
Os resultados para a **tipologia multifamiliar** na zona bioclimática 6, são apresentados na Figura 20. Observam-se que os casos que têm desempenho superior na NBR 15575 e custo inferior ou similar ao caso base no ciclo de vida têm PHFT entre 70% e 82%, enquanto o caso base apresenta PHFT de 53% (Figura 20b). Já os casos otimizados possuem PHFT em torno de 75%, custo no ciclo de vida similar ao caso base (Figura 20c), custo inicial com aumento máximo de R\$ 15.703 e redução média no custo operacional em torno de 35% com relação ao caso base (Figura 20d).

Figura 20. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia edifício multifamiliar – ZB6

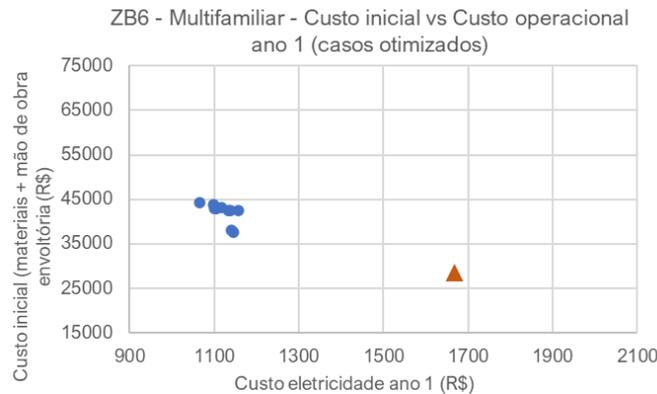


a. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas

b. Caso base (laranja) e casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor ou similar CCV comparados ao caso base



c. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo no ciclo de vida (CCV) e PHFT



d. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo inicial e operacional (ano 1)

O caso base (em cinza) e os casos otimizados são identificados com as estratégias presentes em cada caso na Tabela 56, sendo também mostrados os resultados referentes aos indicadores avaliados de PHFT, consumo operacional e de custo no ciclo de vida. Os casos apresentam-se em função do menor custo inicial. Todos os casos otimizados apresentam pé direito nos ambientes de permanência prolongada de 2,60m (estratégia T2).

Tabela 56. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia edifício multifamiliar – ZB6

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
multi_h_ZB6_T1_P0_C0_E0	53.22	28496.29	48341.16	1875.52	82700.89	131042.05
multi_h_ZB6_T2_P1_C6_E12	72.55	37721.13	69212.95	1286.88	56744.92	125957.87
multi_h_ZB6_T2_P1_C7_E12	72.23	38000.10	70294.41	1281.42	56503.84	126798.24
multi_h_ZB6_T2_P1_C5_E7	73.73	42540.99	74865.18	1274.00	56177.06	131042.23
multi_h_ZB6_T2_P1_C3_E8	74.46	42564.83	78549.97	1301.21	57376.86	135926.83
multi_h_ZB6_T2_P1_C2_E7	73.54	42583.54	79267.35	1279.67	56426.95	135694.30
multi_h_ZB6_T2_P1_C5_E8	75.28	42908.45	75433.73	1236.44	54520.72	129954.45
multi_h_ZB6_T2_P1_C2_E8	75.04	42951.00	79835.91	1242.53	54789.03	134624.94
multi_h_ZB6_T2_P1_C1_E8	75.04	43116.82	80214.35	1254.75	55328.06	135542.41
multi_h_ZB6_T2_P1_C6_E7	75.75	43832.05	81458.37	1233.81	54404.58	135862.95
multi_h_ZB6_T2_P1_C6_E8	77.34	44199.51	82026.93	1196.14	52743.44	134770.37

Os casos otimizados com as estratégias detalhadas são apresentados na Tabela 57. A parede presente em todos os casos é a P1 (concreto com isolamento). Nas coberturas estão presentes a C1, C2, C3, C5, C6 e C7 e das esquadrias a E7, E8 e E12. Nas coberturas a maior frequência de ocorrência é para coberturas com isolamento, ou seja, baixa transmitância térmica. Há coberturas com alta (C2, C5 e C7) e baixa capacidade térmica (C1, C3 e C6). As que têm alta capacidade térmica possuem isolamento e absorvância média a baixa (C2, C5, C7). As esquadrias têm em comum a presença de venezianas nos dormitórios e sala, contudo apresentam tanto $P_{t,APP}$ de 17% quanto de 23%, assim como fator de ventilação de 45% e de 90%. Entretanto, a maior frequência de ocorrência é para fator de ventilação de 90% e $P_{t,APP}$ de 17%.

Tabela 57. Casos otimizados com estratégias para a tipologia edifício multifamiliar – ZB6

Paredes	Coberturas	Esquadrias	Estratégias		
			Descrição	Parâmetros	
P1	Concreto 10cm com isolante EPS 2,5cm com reboco externo de 2cm (Parede externa) e parede em concreto 10 cm (Paredes internas)	C1	Telha de barro (α 0,60) com lâ de rocha 5cm, câmara de ar e forro de madeira	E8	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 – brise/sacada na sala com veneziana nos dormitórios + sala
			C2	Telha de barro, lâ de rocha 5,0cm, câmara de ar e forro de laje 12 cm de concreto com EPS	E7
		E8			$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 – brise/sacada na sala com veneziana nos dormitórios + sala
		C3	Telha de barro (α 0,45) + câmara de ar + forro de madeira 1cm	E8	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 – brise/sacada na sala com veneziana nos dormitórios + sala
		C5	Laje concreto- Cerâmica 1cm abs 0,5 + contrapiso 5cm + isolante 5cm EPS + concreto 10cm	E7	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 – com veneziana nos dormitórios + sala
				E8	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 – brise/sacada na sala com veneziana nos dormitórios + sala
		C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) com câmara de ar e forro de madeira	E7	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 – com veneziana nos dormitórios + sala
				E8	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 – brise/sacada na sala com veneziana nos dormitórios + sala
				E12	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 – brise/sacada na sala com veneziana nos dormitórios + sala
		C7	Telha metálica sanduiche (α 0,3) com câmara de ar e forro laje concreto c/ EPS	E12	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 – brise/sacada na sala com veneziana nos dormitórios + sala

Na Tabela 58 são mostradas as diretrizes para projetos da tipologia do edifício multifamiliar para a zona bioclimática 6 de acordo com os casos otimizados.

Tabela 58. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia edifício multifamiliar – ZB6

ITENS		CRITÉRIOS		
Pé-direito mínimo	2,60 m			
Sistemas de cobertura	$U \leq 2,02 \text{ W/m}^2\text{K}$			
Sistema de vedação vertical	$U \leq 1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $CT \geq 130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$			
Absortância máxima para paredes e coberturas	0,6 para paredes sendo recomendada 0,4. Para coberturas 0,4 com exceção da cobertura em telha de barro não vitrificada.			
Esquadrias	$P_{t,APP}$	Sombreamento	Fator de ventilação	
	17%	Venezianas nos dormitórios + sala	FV90	
	23%	Venezianas nos dormitórios + sala com brise/sacada na sala de mínimo 1,20m	FV45	

Obs. Transmitância térmica (U) em $\text{W/m}^2\text{K}$, Capacidade térmica (CT) em $\text{kJ/m}^2\text{K}$.

Com base nos casos otimizados, os projetos devem possuir pé-direito mínimo de 2,60m nos ambientes de permanência prolongada. As coberturas devem atender o limite máximo de transmitância térmica de $2,02 \text{ W/m}^2\text{K}$, enquanto as paredes devem ter uma transmitância térmica máxima de $1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ com capacidade térmica mínima de $130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$. Para coberturas a absortância solar máxima é de 0,4 que se refere a cores claras, com exceção da telha de barro não vitrificada. Para as paredes a absortância solar pode ser de até 0,6, que representa cores claras e médias, entretanto para maiores benefícios no desempenho da edificação recomenda-se o uso de cores claras, ou seja, com absortância solar até 0,4. Para as esquadrias os casos otimizados mostram porcentagem de elementos transparentes ($P_{t,APP}$) de 17% com fator de ventilação mínimo de 90% (tipo abrir ou similar) e sombreamento em todos os ambientes de permanência prolongada ou de 23%, com fator de ventilação mínimo de 45% (tipo correr) e sombreamento em todos os ambientes de permanência prolongada, tendo também sacada para sombreamento da sala de mínimo 1,20m de profundidade.

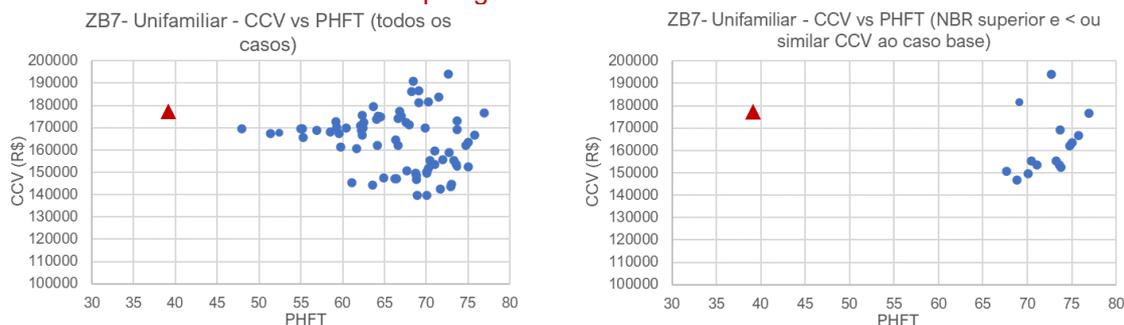
2.2.7 Zona bioclimática 7

Para a **tipologia unifamiliar** na zona bioclimática 7, os resultados são apresentados na Figura 21. A Figura 21a mostra o caso base e todos os casos analisados com estratégias de eficiência energética combinadas. A Figura 21b mostra os casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor ou similar custo no ciclo de vida comparado ao caso base. Os casos otimizados são apresentados na Figura 21c. Os casos com desempenho ótimo alcançam PHFT entre 69% a 77% e uma redução máxima no custo no ciclo de vida (CCV) de aproximadamente 15% quando comparados ao caso base (Figura 21c). Com relação ao custo inicial, todos os casos otimizados mostram custo inicial superior ao caso base (Figura 21d).

Os resultados com os indicadores de PHFT, consumo anual e indicadores de custo no ciclo de vida para o caso base e os casos otimizados são mostrados na Tabela 59 com

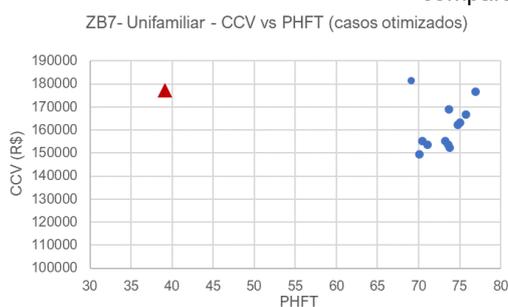
identificação das estratégias presentes em cada caso. Observa-se na tabela que vários casos têm custo inicial menor do que o caso base (em cinza).

Figura 21. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia unifamiliar – ZB7

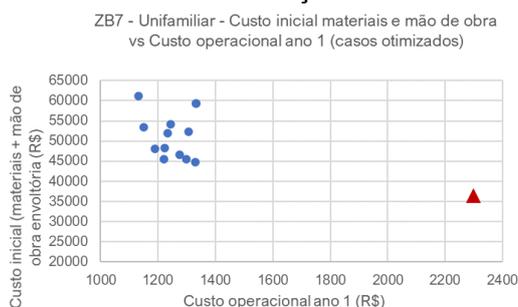


a. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas

b. Caso base (laranja) e casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor ou similar CCV comparado ao caso base



c. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo no ciclo de vida (CCV) e PHFT



d. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo inicial e operacional (ano 1)

Tabela 59. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB7

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
terrea_uni_ZB7_T1_P0_C0_E0	39.17	36395.38	63239.71	2911.44	113954.91	177194.62
terrea_uni_ZB7_T1_P7_C3_E7	73.77	44755.13	86567.31	1683.56	65895.08	152462.39
terrea_uni_ZB7_T1_P7_C6_E9	71.06	45418.50	89257.70	1645.20	64393.57	153651.26
terrea_uni_ZB7_T1_P7_C6_E3	70.08	45486.91	89085.38	1545.51	60491.90	149577.28
terrea_uni_ZB7_T1_P7_C1_E7	70.49	46572.80	92044.40	1615.26	63221.93	155266.33
terrea_uni_ZB7_T1_P7_C6_E11	73.58	48173.32	94666.47	1504.82	58899.39	153565.86
terrea_uni_ZB7_T1_P7_C6_E5	73.27	48225.50	94652.72	1548.42	60605.65	155258.38
terrea_uni_ZB7_T1_P7_C6_E13	75.06	51926.13	102284.12	1560.62	61083.41	163367.53
terrea_uni_ZB7_T1_P7_C3_E15	75.80	52380.91	102048.36	1652.75	64689.32	166737.68
terrea_uni_ZB7_T1_P7_C6_E7	74.77	53521.91	105188.41	1455.13	56954.25	162142.65
terrea_uni_ZB7_T1_P7_C1_E15	73.66	54198.58	107525.45	1573.99	61606.66	169132.12
terrea_uni_ZB7_T1_P4_C6_E7	69.14	59265.36	115364.62	1687.34	66042.96	181407.57
terrea_uni_ZB7_T1_P7_C6_E15	76.95	61147.69	120669.45	1432.17	56055.61	176725.07

Os casos otimizados com as estratégias em maior detalhe são apresentados na Tabela 60. Todos os casos têm pé direito de 2,50 m e possuem dois tipos de paredes, a P4 (alvenaria com tijolo de 9 furos) e a P7 (dupla de madeira com isolante), sendo com maior frequência de ocorrência a parede P7 que tem capacidade e transmitância térmica baixa.

Tabela 60. Casos otimizados com estratégias para a tipologia unifamiliar – ZB7

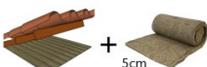
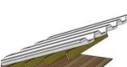
P4	Tijolo 9 furos 14x19x29 (total 18cm) Com reboco interno e externo (Paredes externas e internas)	C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E7	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 –veneziana nos dormitórios e sala
P7	Dupla de madeira plantada de 2,2cm com isolante lã de rocha 5cm	C1	Telha de barro (α 0,60) + lã de rocha 5cm com câmara de ar e forro de madeira 1cm	E7	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 –veneziana nos dormitórios e sala
				E15	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 –veneziana nos dormitórios e sala
		C3	Telha de barro (α 0,45) + câmara de ar + forro de madeira 1cm	E7	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 –veneziana nos dormitórios e sala
				E15	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 –veneziana nos dormitórios e sala
		C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E3	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,45 – veneziana nos dormitórios e sala
				E5	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 – veneziana nos dormitórios
				E7	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 –veneziana nos dormitórios e sala
				E9	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 – veneziana nos dormitórios
				E11	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 – veneziana nos dormitórios e sala
				E13	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
E15	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 –veneziana nos dormitórios e sala				

A cobertura com maior frequência de ocorrência é a cobertura C6 (telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira), estando presentes também a C1 (telha de barro cor natural com isolante e forro de madeira) e a cobertura C3 (telha de barro cor clara com forro de madeira sem isolante). Todas as coberturas possuem baixa capacidade térmica. Das estratégias relacionadas às esquadrias estão presentes a E3, E5, E7, E9, E11, E13 e E15. Nelas tem percentual de elementos transparentes de 17% e 23%, e fator de ventilação de 45% e 90%, sendo mais frequente as esquadrias com fator de ventilação de 90%. Igualmente, a maioria possui venezianas nos dormitórios e sala, mas a E5 e E9 somente nos dormitórios.

Como diretrizes para projetos da tipologia unifamiliar na zona bioclimática 7 recomenda-se pé direito mínimo de 2,50m para ambientes de maior permanência e cobertura com transmitância térmica máxima de 2,02 W/m²K. Para paredes externas transmitância térmica máxima de 1,85 W/m²K com capacidade térmica igual ou superior a 130W/m²K ou paredes com capacidade térmica maior do que 30 kJ/m²K com transmitância térmica menor ou igual a 0,70 W/m²K. Nas paredes externas e cobertura a absorvância solar máxima é de 0,4 com exceção da cobertura em telha de barro não vitrificada. Para as esquadrias o percentual de elementos transparentes pode ser de 17% ou 23% em relação à área dos ambientes. As diretrizes observadas nos casos com melhor desempenho consideraram percentual mínimo de $P_{t,APP}$ 17% com fator de ventilação mínimo de 45% (de correr) e sombreamento em todos os ambientes de permanência prolongada, ou fator de ventilação de 90% (tipo abrir ou similar) com sombreamento mínimo nos quartos. Para o percentual ($P_{t,APP}$) mínimo de 23%, as esquadrias podem ter fator de ventilação de 45% (tipo correr) e ter sombreamento

somente nos dormitórios (Tabela 61), contudo, recomenda-se a consideração de sombreamento em todos os ambientes de permanência prolongada.

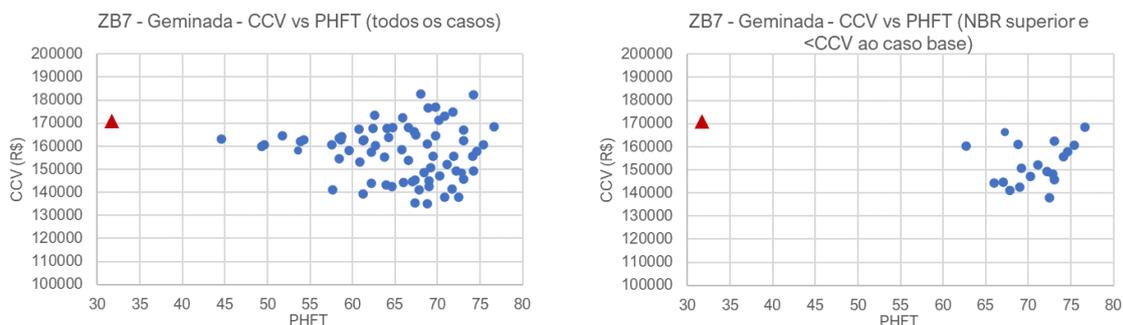
Tabela 61. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB7

ITENS	CRITÉRIOS			
Pé-direito mínimo	2,50 m			C1 
Sistemas de cobertura	$U \leq 2,02 \text{ W/m}^2\text{K}$			C3 
Sistema de vedação vertical externa	$U \leq 1,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ CT $\geq 130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ $U \leq 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ CT $\geq 30 \text{ kJ/m}^2\text{K}$			C6 
Absortância máxima para paredes e coberturas	0,4. Com exceção da cobertura em telha de barro não vitrificada.			P4 
Esquadrias	$P_{t,APP}$	Sombreamento	Fator de ventilação	P7 
	17%	Venezianas nos dormitórios	FV90	E3 
		Venezianas nos dormitórios/sala	FV45	E5 
	23%	Venezianas nos dormitórios	FV45	E9 

Obs. Transmitância térmica (U) em $\text{W/m}^2\text{K}$, Capacidade térmica (CT) em $\text{kJ/m}^2\text{K}$.

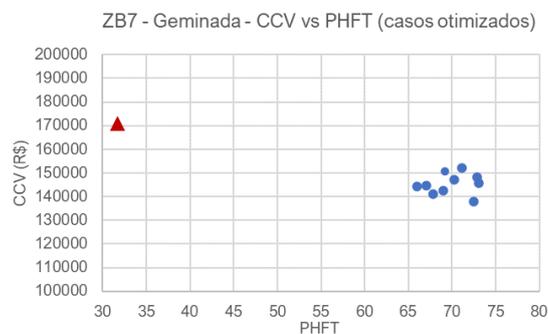
Para a **tipologia de casa geminada** na zona bioclimática 7, os resultados são apresentados na Figura 22. O comportamento é similar ao observado na tipologia unifamiliar. Os casos otimizados alcançam um PHFT entre 66% a 73% sendo o caso base 31,76%. Iguamente tem uma significativa redução no custo no ciclo de vida, máxima de 20%, assim como redução máxima de 49% no custo operacional. E com relação ao custo inicial alguns dos casos otimizados mostram custo inicial similar ao caso base (Figura 22c e Figura 22d).

Figura 22. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia casa geminada – ZB7

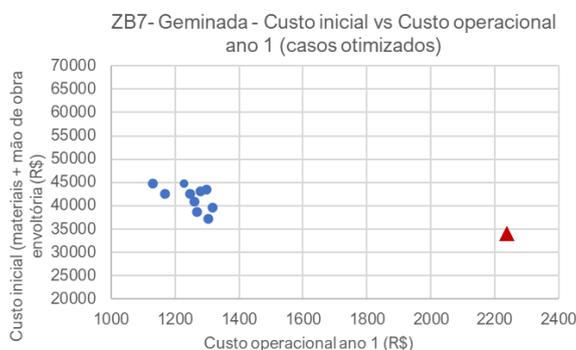


a. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas

b. Caso base (laranja) e casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor CCV comparado ao caso base



c. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo no ciclo de vida (CCV) e PHFT



d. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo inicial e operacional (ano 1)

Os resultados para os indicadores analisados são mostrados para o caso base e os casos otimizados na Tabela 62. Os casos otimizados com as estratégias são apresentados na Tabela 63. Todos os casos têm pé direito de 2,50 m (estratégia T1). As estratégias presentes para as paredes são P4 (alvenaria de tijolo) e com maior frequência de ocorrência a parede P7 (dupla de madeira com isolamento). As coberturas presentes são a C1, C3 e C6, todas com baixa capacidade térmica, sendo duas delas com uso de isolante (C1 e C6). As esquadrias presentes são E1, E3, E5, E7, E9, E11 e E13, as quais incluem opções de menor e maior porcentagem de elementos transparentes, opções com ambos os fatores de ventilação e com uso de sombreamento tanto nos dormitórios quanto nos dormitórios e sala (com maior frequência de ocorrência).

Tabela 62. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia casa geminada – ZB7

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
geminada_ZB7_T1_P0_C0_E0	31.76	33902.70	60013.14	2833.93	110921.09	170934.24
geminada_ZB7_T1_P7_C3_E11	72.47	37149.72	73314.86	1650.22	64590.28	137905.15
geminada_ZB7_T1_P7_C1_E11	67.79	38744.30	78119.74	1605.76	62849.89	140969.63
geminada_ZB7_T1_P7_C1_E5	67.04	39489.10	79513.05	1666.93	65244.35	144757.40
geminada_ZB7_T1_P7_C6_E1	66.00	40955.51	81775.04	1596.46	62485.89	144260.92
geminada_ZB7_T1_P7_C6_E3	68.95	42450.46	84685.11	1478.90	57884.66	142569.77
geminada_ZB7_T1_P7_C6_E9	70.22	42535.37	85164.18	1579.60	61826.13	146990.31
geminada_ZB7_T1_P7_C3_E7	72.90	43010.60	84885.61	1619.71	63395.90	148281.50
geminada_ZB7_T1_P7_C1_E13	71.11	43497.12	87763.74	1643.10	64311.59	152075.33
geminada_ZB7_T1_P7_C1_E7	69.20	44605.19	89690.48	1556.93	60938.87	150629.35
geminada_ZB7_T1_P7_C6_E11	73.09	44841.29	89652.13	1431.38	56024.83	145676.96
geminada_ZB7_T1_P4_C6_E11	68.78	49700.06	99661.10	1569.86	61445.06	161106.16

Tabela 63. Casos otimizados com estratégias para a tipologia casa geminada – ZB7

P4	Tijolo 9 furos 14x19x29 (total 18cm) Com reboco interno e externo (Paredes externas e internas)	C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) com câmara de ar e forro de madeira 1 cm	E11	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
P7	Dupla de madeira plantada de 2,2cm com isolante lâ de rocha 5cm	C1	Telha de barro (α 0,60) + lâ de rocha 5cm com câmara de ar e forro de madeira 1cm	E5	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
				E7	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios e sala
				E11	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
				E13	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 – veneziana nos dormitórios
		C3	Telha de barro (α 0,45) + câmara de ar + forro de madeira 1cm	E7	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios e sala
				E11	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala
		C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) com câmara de ar e forro de madeira 1 cm	E1	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios
				E3	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,45 – veneziana nos dormitórios e sala
E9	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 – veneziana nos dormitórios				
E11	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 com veneziana nos dormitórios e sala				

Com base nos casos otimizados são propostas as diretrizes para projetos na tipologia geminada na zona bioclimática 7, conforme apresentado na Tabela 64. O pé-direito mínimo é de 2,50m para ambientes de permanência prolongada. A cobertura é com transmitância térmica máxima de 2,02 W/m²K. Paredes externas com transmitância máxima de 1,85 W/m²K e capacidade térmica igual ou superior a 130W/m²K ou paredes com transmitância térmica menor ou igual à 0,70 W/m²K com capacidade térmica maior ou igual a 30 kJ/m²K. A absorvância solar máxima para paredes externas e cobertura é de 0,4, contudo inclui cobertura em telha de barro não vitrificada. Para as esquadrias, adotam-se as diretrizes dos casos com maior frequência de ocorrência que são similares às da tipologia unifamiliar. O percentual mínimo de elementos transparentes em relação à área dos ambientes pode ser de 17% ou 23%. Para 17%, o fator de ventilação mínimo das esquadrias é de 45% (tipo correr) e sombreamento em todos os ambientes de permanência prolongada, ou veneziana somente nos dormitórios com fator de ventilação de 90%. Para 23% deve ter veneziana mínimo nos quartos com fator de ventilação mínimo de 45%.

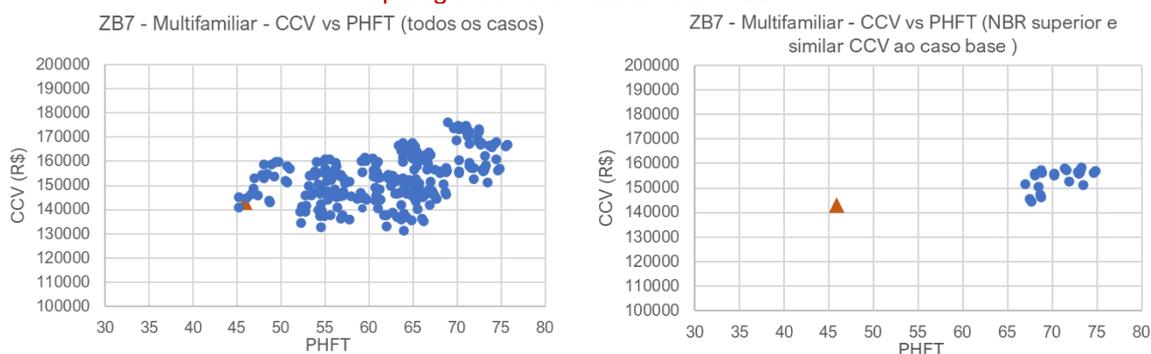
Tabela 64. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia casa geminada – ZB7

ITENS	CRITÉRIOS			
Pé-direito mínimo	2,50 m			C1
Sistemas de cobertura	$U \leq 2,02$ W/m ² K			C3
Sistema de vedação vertical	$U \leq 1,85$ W/m ² K CT ≥ 130 kJ/m ² K $U \leq 0,70$ W/m ² K CT ≥ 30 kJ/m ² K			C6
Absortância máxima para paredes e coberturas	0,4. Com exceção da cobertura em telha de barro não vitrificada.			P4
Esquadrias	$P_{t,APP}$	Sombreamento	Fator de ventilação	P7
			17%	Venezianas nos dormitórios/ sala
	Venezianas nos dormitórios	FV90		
	23%	Venezianas nos dormitórios	FV45	

Obs. Transmitância térmica (U) em W/m²K, Capacidade térmica (CT) em kJ/m²K.

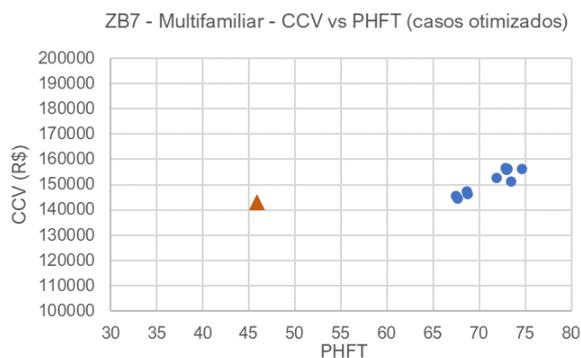
Para a **tipologia edifício multifamiliar** na zona bioclimática 7 os resultados são apresentados na Figura 23, onde observa-se o caso base (em laranja) e todos os casos com estratégias combinadas. Os casos com desempenho superior na ABNT NBR 15575 e menor custo no ciclo de vida são apresentados na Figura 23b os quais têm PHFT acima de 65% enquanto para o caso base é de 45,91%. Já os casos otimizados mostram PHFT acima de 70% e custo no ciclo de vida até 17% menor quando comparados ao caso base (Figura 23c). Por outro lado, o custo inicial dos componentes considerados nos casos otimizados se encontra aproximadamente entre R\$ 30.000 a R\$ 32.000 enquanto o do caso base é de R\$22.026. Embora a diferença seja significativa, também é a redução no custo operacional anual que passa de R\$ 1.838 no caso base para ao redor de R\$ 1.100 casos otimizados (Figura 23d).

Figura 23. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia edifício multifamiliar – ZB7

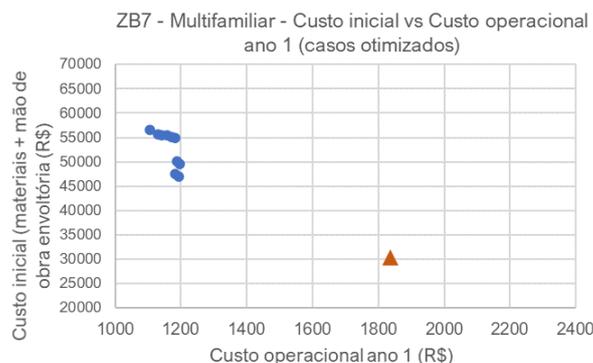


a. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas

b. Caso base (laranja) e casos com desempenho superior na NBR 15575 e similar CCV comparado ao caso base.



c. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo no ciclo de vida (CCV) e PHFT



d. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo inicial e operacional (ano 1)

Os casos otimizados e o caso base (em cinza) com as suas estratégias e resultados nos indicadores avaliados são mostrados na Tabela 65. Todos os casos otimizados têm pé direito de 2,60m (estratégia T2).

Tabela 65. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia edifício multifamiliar – ZB7

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
multi_h_ZB7_T1_P0_C0_E0	45.91	30226.83	51763.39	2326.68	91067.09	142830.48
multi_h_ZB7_T2_P4_C6_E12	67.63	46983.51	85282.54	1511.52	59161.33	144443.87
multi_h_ZB7_T2_P4_C7_E12	67.47	47448.43	86911.66	1498.73	58660.83	145572.49
multi_h_ZB7_T2_P2_C6_E8	68.73	49577.30	86912.31	1513.81	59250.91	146163.22
multi_h_ZB7_T2_P2_C7_E8	68.67	50042.23	88541.43	1503.25	58837.85	147379.28
multi_h_ZB7_T2_P2_C3_E16	73.11	54886.64	97651.60	1498.31	58644.48	156296.08
multi_h_ZB7_T2_P2_C5_E15	71.92	55181.86	94603.90	1482.93	58042.31	152646.21
multi_h_ZB7_T2_P2_C1_E16	72.82	55429.00	99285.87	1466.07	57382.55	156668.42
multi_h_ZB7_T2_P2_C2_E16	72.99	55447.59	99454.37	1445.98	56596.25	156050.61
multi_h_ZB7_T2_P2_C5_E16	73.44	55581.23	95187.80	1432.63	56073.70	151261.50
multi_h_ZB7_T2_P2_C6_E16	74.59	56562.58	101244.23	1401.28	54846.61	156090.84

Os casos otimizados para a tipologia do edifício multifamiliar na zona bioclimática 7 com as suas estratégias da envoltória são apresentados na Tabela 66. Há dois tipos de parede presente em todos os casos, a P2 que se refere a uma parede de bloco de concreto autoportante de 19x19x39cm com reboco externo e interno e a P4, parede em alvenaria de tijolo de 9 furos de 14x19x29 com reboco interno e externo, totalizando 18 cm de largura. As coberturas presentes nos casos otimizados são a C1, C2, C3, C5, C6 e C7. A maioria tem baixa transmitância térmica, contudo a C3 tem transmitância térmica média e três das coberturas têm capacidade térmica média a alta, nas outras é baixa. Para as esquadrias somente aparecem quatro tipos, a E8, E12, E15 e E16. Têm em comum ter venezianas nos dormitórios e sala e a maior parte delas, fator de ventilação de 90%. O percentual de elementos transparentes $P_{t,APP}$, de 23% é o de maior frequência de ocorrência, contudo, a E8 possui $P_{t,APP}$, de 17%. A estratégia mais frequente relacionada às esquadrias (E16) possui também sacada/brise na sala de 1,20 m de profundidade.

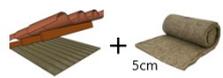
Tabela 66. Casos otimizados com estratégias para a tipologia edifício multifamiliar – ZB7

P2	Bloco de concreto 19x19x39 + 2cm de reboco externo e interno (total 23cm) (Paredes externas e internas) autoportante	C1	Telha de barro (α 0,60) com lâ de rocha 5cm, câmara de ar e forro de madeira 1cm	E16	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 – brise/sacada na sala de 1,20 m com veneziana nos dormitórios e sala		
		C2	Telha de barro (α 0,60) com lâ de rocha 5,0cm, câmara de ar e forro de laje concreto com EPS (12 cm)				
		C3	Telha de barro (α 0,45) + câmara de ar + forro de madeira 1cm				
		P4	Tijolo 9 furos 14x19x29 (total 18cm) Com reboco interno e externo (Paredes externas e internas)	C5	Laje concreto- Cerâmica 1cm (abs 0,5), contrapiso 5cm, isolante 5cm EPS e concreto 10cm	E15	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 –ven. nos dormitórios e sala
						E16	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 – brise/sacada na sala de 1,20 m com veneziana nos dormitórios e sala
				C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira 1 cm	E8	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 – brise/sacada na sala de 1,20 m com veneziana nos dormitórios e sala
						E16	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 – brise/sacada na sala de 1,20 m com veneziana nos dormitórios e sala
C7	Telha metálica sanduiche (α 0,3) com câmara de ar, forro de laje concreto com EPS	E8	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 – brise/sacada na sala de 1,20 m com veneziana nos dormitórios e sala				
C7	Telha metálica sanduiche (α 0,3) com câmara de ar, forro de laje concreto com EPS	E12	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,45 – brise/sacada na sala de 1,20 m com veneziana nos dormitórios e sala				

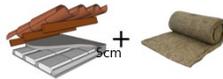
Com a análise dos casos otimizados chega-se a proposição de diretrizes para os projetos da tipologia de edifício multifamiliar com planta em H para a zona bioclimática 7. Na Tabela 67 são colocados os critérios presentes nas diretrizes de projeto que referem-se a uso de pé-direito de 2,60m para os ambientes de permanência prolongada; cobertura com transmitância térmica máxima de 2,02 W/m²K; paredes externas com transmitância térmica máxima de 2,70 W/m²K e capacidade térmica superior ou igual a 130 kJ/m²K com limite máximo de absorvância para paredes externas e coberturas de 0,4, com exceção da telha de barro não vitrificada. Para aberturas devem ter percentual de elementos transparentes ($P_{t,APP}$) mínimo de 23%, fator de ventilação de 90% (abrir ou similar) e com o uso de sombreamento nos dormitórios e sala.

Tabela 67. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia edifício multifamiliar – ZB7

ITENS	CRITÉRIOS		
Pé-direito mínimo	2,60 m		
Sistemas de cobertura	$U \leq 2,02 \text{ W/m}^2\text{K}$		
Sistema de vedação vertical	$U \leq 2,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $CT \geq 130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$		
Absortância máxima para paredes e coberturas	0,4. Com exceção da cobertura em telha de barro não vitrificada.		
Esquadrias	$P_{t,APP}$	Sombreamento	Fator de ventilação
	17%	Venezianas nos dormitórios + sala com brise/sacada na sala de mínimo 1,20m	FV90
	23%	Venezianas nos dormitórios + sala com brise/sacada na sala de mínimo 1,20m	FV45



C1



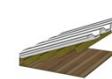
C2



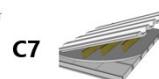
C3



C5



C6



C7



P2



E12



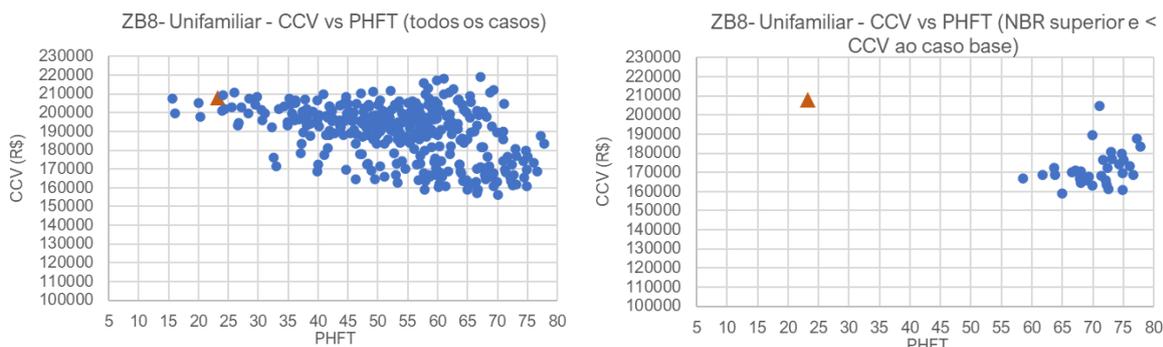
E8 - E15 - E16

Obs. Transmitância térmica (U) em $\text{W/m}^2\text{K}$, Capacidade térmica (CT) em $\text{kJ/m}^2\text{K}$.

2.2.8 Zona bioclimática 8

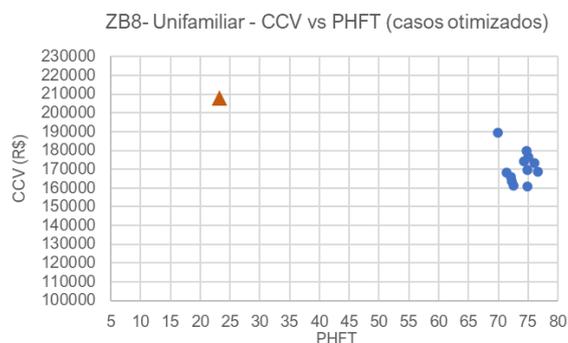
Para a **tipologia unifamiliar** na zona bioclimática 8, os resultados são apresentados na Figura 24. As figuras mostram um alto potencial de melhoria dos casos com medidas de eficiência energética nesta zona bioclimática, tanto em termos de aumento do indicador de PHFT quanto de redução no custo no ciclo de vida da edificação e de redução no custo operacional quando comparado ao caso base. A Figura 24a mostra o caso base e todos os casos com estratégias de eficiência energética combinadas. Os casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor custo no ciclo de vida têm PHFT superior a 55% até quase 80%, enquanto este indicador para o caso base é de 23% (Figura 24b). Para o custo no ciclo de vida observa-se uma redução de até 22% comparando os casos otimizados com o caso base (Figura 24c) e, uma parte dos casos otimizados mostra custo inicial (para materiais e mão de obra) muito similar ao caso base (Figura 24d).

Figura 24. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia unifamiliar – ZB8

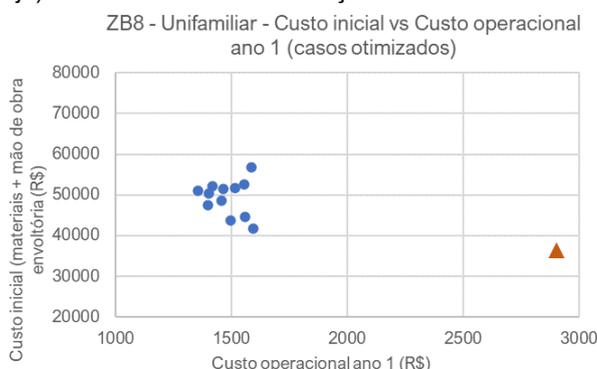


a. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas

b. Caso base (laranja) e casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor CCV comparado ao caso base



c. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo no ciclo de vida (CCV) e PHFT



d. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo inicial e operacional (ano 1)

Os resultados nos indicadores avaliados para o caso base e os casos otimizados são mostrados na Tabela 68, onde também podem ser vistas as estratégias presentes em cada caso. Os casos otimizados têm um PHFT em torno de 69% a 76%. Nesta zona bioclimática foi avaliado pé direito de 2,80m (estratégia T3). Observa-se que quase a metade dos casos possuem pé direito de 2,80m enquanto o restante possui pé direito de 2,50m (estratégia T1). Os casos são mostrados ordenados pelo menor custo inicial.

Tabela 68. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB8

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
terrea_uni_ZB8_T1_P0_C0_ZB8_E0	23.32	36326.03	63767.73	3497.63	143830.07	207597.80
terrea_uni_ZB8_T1_P7_C3_E14	74.84	41827.30	81840.93	1920.42	78971.65	160812.58
terrea_uni_ZB8_T1_P7_C1_E14	72.61	43645.80	87320.48	1802.13	74107.57	161428.05
terrea_uni_ZB8_T3_P7_C1_E14	72.08	44658.70	88972.42	1875.95	77143.14	166115.57
terrea_uni_ZB8_T1_P7_C6_E6	72.23	47526.84	94288.06	1686.75	69363.00	163651.06
terrea_uni_ZB8_T3_P7_C6_E6	71.38	48539.75	95940.01	1757.09	72255.16	168195.16
terrea_uni_ZB8_T1_P7_C6_E13	74.90	50411.01	100233.53	1689.37	69470.56	169704.09
terrea_uni_ZB8_T1_P7_C6_E14	76.68	51022.83	101526.09	1633.86	67187.91	168713.99
terrea_uni_ZB8_T3_P7_C6_E13	74.30	51423.91	101885.48	1764.06	72541.98	174427.46
terrea_uni_ZB8_T1_P7_C3_E15	75.01	51613.97	101272.68	1826.25	75099.51	176372.19
terrea_uni_ZB8_T3_P7_C6_E14	75.99	52035.74	103178.03	1706.81	70187.62	173365.65
terrea_uni_ZB8_T3_P7_C3_E15	74.81	52626.87	102924.62	1873.04	77023.63	179948.26
terrea_uni_ZB8_T1_P4_C6_E14	69.96	56691.95	111108.68	1910.24	78553.37	189662.04

Na Tabela 69 são apresentados os casos otimizados com as estratégias presentes neles de forma mais detalhada. A parede que aparece com maior frequência de ocorrência nos casos otimizados é a P7 (dupla de madeira com isolamento), tendo-se somente um caso com parede P4 (alvenaria de tijolo), que possui o menor PHFT dos casos otimizados. Com relação às coberturas três se fazem presente nos casos otimizados, a C1 (telha de barro natural com isolamento, câmara de ar e forro de madeira), C3 (telha de barro clara sem isolamento com câmara de ar e forro de madeira) e a C6 (telha metálica sanduiche que tem isolamento, cor branca com câmara de ar e forro de madeira). Ou seja, todos os elementos da envoltória da maioria dos casos mostram baixa capacidade térmica e uma das paredes isolamento, assim como duas das coberturas. Todas as esquadrias presentes nos casos otimizados têm em comum o fator de ventilação de 90%, sendo que, a maioria dos casos têm presença das esquadrias E14 e E15, as quais têm em comum a área maior de esquadrias ($P_{t,APP}$) de 23%. A esquadria E13 também está presente e possui veneziana somente nos dormitórios e a esquadria E15 possui veneziana nos dormitórios e sala. Tanto a esquadria E6 quanto a E14 associam também o uso do peitoril ventilado aos dormitórios além da veneziana.

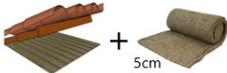
Tabela 69. Casos otimizados com estratégias para a tipologia unifamiliar – ZB8

T1 (pé direito 2,50 m)					
P4	Tijolo 9 furos 14x19x29 (total 18cm) com reboco interno e externo (Paredes externas e internas)	C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E14	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios + peitoril ventilado
P7	Dupla de madeira plantada de 2,2cm com isolante lã de rocha 5cm	C1	Telha de barro (α 0,60) + lã de rocha 5cm + câmara de ar + forro de madeira 1cm	E14	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios + peitoril ventilado
		C3	Telha de barro (α 0,45) + câmara de ar + forro de madeira 1cm	E14	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios + peitoril ventilado
				E15	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios e sala
		C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E6	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 – veneziana nos dormitórios com peitoril ventilado
				E13	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
E14	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios + peitoril ventilado				
T3 (pé direito 2,8 m)					
P7	Dupla de madeira plantada de 2,2cm com isolante lã de rocha 5cm	C1	Telha de barro (α 0,60) + lã de rocha 5cm + câmara de ar + forro de madeira 1cm	E14	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios + peitoril ventilado
		C3	Telha de barro (α 0,45) + câmara de ar + forro de madeira 1cm	E15	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com venezianas nos dormitórios e sala
		C6		E6	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios + peitoril ventilado
				E13	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
				E14	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios + peitoril ventilado

As diretrizes para projetos da tipologia unifamiliar na zona bioclimática 8 são colocadas na Tabela 70. O pé direito mínimo é de 2,50m, sendo recomendado de 2,80m. A cobertura deve ter transmitância térmica mínima de 2,02 W/m²K. As paredes devem ter transmitância

térmica menor ou igual a 1,85 W/m²K com capacidade térmica mínima de 130 kJ/Wm²K ou no caso de paredes leves com capacidade térmica maior ou igual a 30W/m²K a transmitância térmica máxima deve ser de 0,70 W/m²K. A absorvância solar para paredes e coberturas (relacionada ao uso das cores da superfície) deve ser máximo de 0,4 que se refere ao uso de cores claras, contudo, inclui a telha de barro não vitrificada. Para a área de elementos transparentes pode ter-se menor área (P_{t,APP} de 17%) ou maior área (P_{t,APP} de 23%). No caso de P_{t,APP} de 17% o fator de ventilação mínimo das esquadrias é de 90% (tipo abrir ou similar) sendo necessário sombreamento em todos os ambientes de permanência prolongada ou sombreamento somente nos dormitórios, associado ao uso de peitoril ventilado. Para um P_{t,APP} de 23% é possível também o sombreamento somente nos dormitórios, tendo fator de ventilação de 90% (tipo abrir ou similar), contudo para qualquer tamanho de abertura, recomenda-se para esta zona bioclimática sombreamento em todos os ambientes de permanência prolongada.

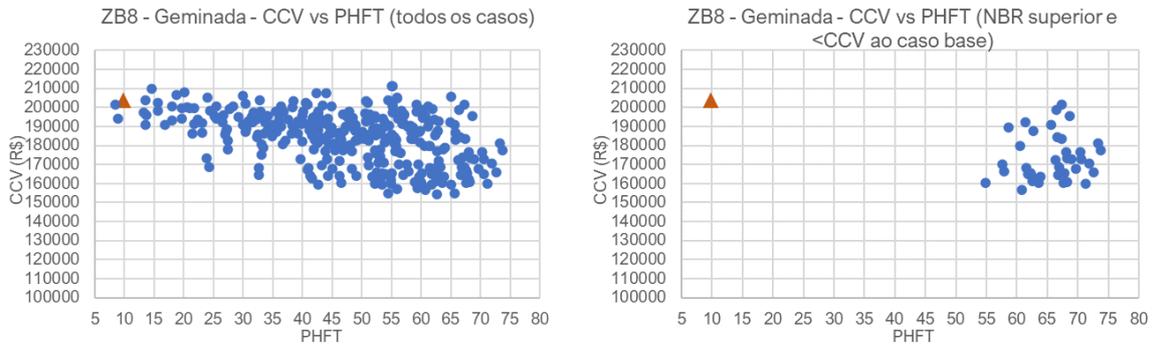
Tabela 70. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia unifamiliar – ZB8

ITENS	CRITÉRIOS			
Pé-direito mínimo	2,50 m recomendado 2,80m			C1 
Sistemas de cobertura	$U \leq 2,02 \text{ W/m}^2\text{K}$			C3 
Sistema de vedação vertical	$U \leq 1,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $CT \geq 130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ $U \leq 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $CT \geq 30 \text{ kJ/m}^2\text{K}$			C6 
Absortância máxima para paredes e coberturas	0,4. Com exceção da cobertura em telha de barro não vitrificada.			P4 
Esquadrias	P _{t,APP}	Sombreamento	Fator de ventilação	P7 
	17%	Venezianas nos dormitórios + sala OU Venezianas nos dormitórios + peitoril ventilado, recomendado na sala	FV90	E7 
	23%	Venezianas nos dormitórios, recomendado na sala	FV90	E13 

Obs. Transmitância térmica (U) em W/m²K, Capacidade térmica (CT) em kJ/m²K.

Para a **tipologia casa geminada** na zona bioclimática 8, os resultados são apresentados na Figura 25 para todos os casos (Figura 25a), casos com desempenho superior na NBR e menor custo no ciclo de vida em comparação ao caso base (Figura 25b) e para os casos otimizados (Figura 25c e Figura 25d). Um comportamento muito similar ao observado na tipologia de casa unifamiliar é visto nesta tipologia com amplos benefícios observados nos casos otimizados em relação ao caso base. Os casos otimizados mostram um PHFT entre 67% a 72%, o qual é ao redor de 10% para o caso base, e igualmente a redução no custo no ciclo de vida é observada entre 10% a 21% comparando os casos otimizados com o caso base (Figura 25c). Os casos otimizados mostram custo inicial superior ao caso base com redução no custo operacional entre 44% a 53% (Figura 25d).

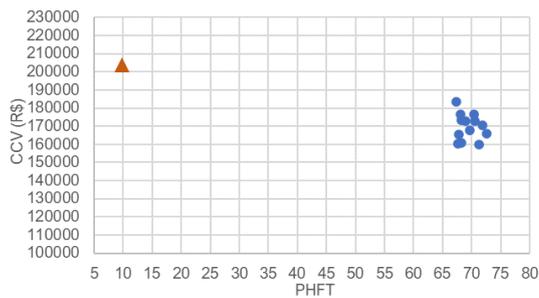
Figura 25. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia casa geminada – ZB8



a. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas

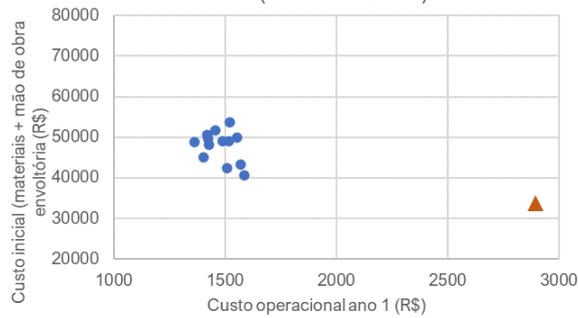
b. Caso base (laranja) e casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor CCV comparado ao caso base

ZB8 - Geminada - CCV vs PHFT (casos otimizados)



c. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo no ciclo de vida (CCV) e PHFT

ZB8- Geminada - Custo vs Custo operacional ano 1 (casos otimizados)



d. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo inicial e operacional (ano 1)

Os resultados para PHFT, consumo operacional e nos indicadores relacionados ao custo no ciclo de vida energético para o caso base e os casos otimizados são mostrados na Tabela 71 onde estão colocadas as estratégias presentes em cada caso.

Tabela 71. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia casa geminada – ZB8

Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
geminada_ZB8_T1_P0_C0_ZB8_E0	9.89	33684.33	60173.65	3489.87	143510.90	203684.55
geminada_ZB8_T1_P7_C3_E14	71.24	40698.97	81360.80	1909.89	78538.95	159899.75
geminada_ZB8_T1_P7_C1_E14	68.25	42294.28	86167.84	1815.44	74654.85	160822.69
geminada_ZB8_T3_P7_C1_E14	67.71	43206.23	87794.46	1887.52	77618.72	165413.18
geminada_ZB8_T1_P7_C6_E6	67.64	44940.53	90728.60	1690.62	69521.87	160250.48
geminada_ZB8_T1_P7_C6_E13	69.70	48145.74	97319.75	1716.34	70579.54	167899.30
geminada_ZB8_T1_P7_C6_E14	72.64	48766.71	98631.64	1640.78	67472.27	166103.90
geminada_ZB8_T3_P7_C6_E13	68.95	49057.69	98946.38	1792.34	73704.75	172651.12
geminada_ZB8_T1_P7_C3_E15	70.61	49104.38	98003.93	1825.32	75061.19	173065.12
geminada_ZB8_T3_P7_C6_E14	71.90	49678.66	100258.26	1714.45	70501.86	170760.12
geminada_ZB8_T3_P7_C3_E15	70.33	50016.33	99630.56	1870.08	76901.65	176532.21
geminada_ZB8_T1_P7_C1_E15	68.28	50699.69	102810.96	1710.53	70340.52	173151.48
geminada_ZB8_T3_P7_C1_E15	68.08	51611.64	104437.59	1753.83	72121.23	176558.82
geminada_ZB8_T1_P4_C6_E14	67.40	53708.79	108322.67	1830.70	75282.29	183604.96

Os casos otimizados com as estratégias são apresentados na Tabela 72 sendo similares aos da tipologia unifamiliar. Aproximadamente 40% dos casos têm pé direito 2,80 m (estratégia T3), enquanto os outros 2,50 m (estratégia T1). A parede com maior frequência de ocorrência é novamente a P7 (dupla em madeira com isolamento), com um caso apresentando a parede P4 (alvenaria de tijolo de 9 furos), e igualmente as coberturas são as C1, C3, C6. Todas as coberturas têm baixa capacidade térmica. Das esquadrias estão presentes a E6, E13, E14 e E15. A maioria das esquadrias apresentam sombreamento em todos os ambientes de permanência prolongada ou sombreamento nos dormitórios em conjunto com uso de peitoril ventilado. Todas as esquadrias têm em comum o fator de ventilação de 90% e na maioria delas o percentual de elementos transparentes ($P_{t,APP}$) é de 23%.

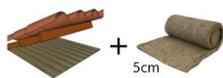
Tabela 72. Casos otimizados com estratégias para a tipologia casa geminada – ZB8

T1 (pé direito 2,50 m)					
P4	Tijolo 9 furos 14x19x29 (total 18cm) com reboco interno e externo (Paredes externas e internas)	C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E14	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com veneziana e peitoril ventilado nos dormitórios
P7	Dupla de madeira plantada de 2,2cm com isolante lã de rocha 5cm	C1	Telha de barro (α 0,60) + lã de rocha 5cm + câmara de ar + forro de madeira 1cm	E14	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com veneziana e peitoril ventilado nos dormitórios
				E15	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios e sala
		C3	Telha de barro (α 0,45) + câmara de ar + forro de madeira 1cm	E14	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com veneziana e peitoril ventilado nos dormitórios
				E15	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios e sala
		C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E6	$P_{t,APP}$ (17%), FV 0,90 com veneziana e peitoril ventilado nos dormitórios
				E13	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
E14	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com veneziana e peitoril ventilado nos dormitórios				
T3 (pé direito 2,8 m)					
P7	Dupla de madeira plantada de 2,2cm com isolante lã de rocha 5cm	C1	Telha de barro (α 0,60) + lã de rocha 5cm + câmara de ar + forro de madeira 1cm	E14	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com veneziana e peitoril ventilado nos dormitórios
				E15	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios e sala
		C3	Telha de barro (α 0,45) + câmara de ar + forro de madeira 1cm	E15	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios e sala
		C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E13	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com veneziana nos dormitórios
				E14	$P_{t,APP}$ (23%), FV 0,90 com veneziana e peitoril ventilado nos dormitórios

As diretrizes para os projetos da tipologia geminada na zona bioclimática 8 com base nos casos otimizados são apresentadas na Tabela 73. O pé-direito nos ambientes de permanência prolongada deve ser mínimo de 2,50m, sendo recomendado de 2,80m. A transmitância térmica das paredes deve ser menor ou igual a 1,85 W/m²K com capacidade térmica mínima de 130 kJ/Wm²K ou, paredes leves com capacidade térmica maior ou igual a 30W/m²K devem ter transmitância térmica máxima de 0,70 W/m²K. A absorvância solar para paredes e coberturas deve ser máximo de 0,4 (cores claras), porém se inclui a telha de barro não vitrificada. A área de elementos transparentes ($P_{t,APP}$) pode ser de 17% ou de 23%. Para $P_{t,APP}$ de 17% o fator de ventilação mínimo das esquadrias é de 90% (tipo abrir ou similar) com sombreamento e peitoril ventilado nos dormitórios, sendo o sombreamento na sala recomendado ou $P_{t,APP}$ de 23% com sombreamento em todos os ambientes de permanência prolongada e fator de ventilação de 90% (tipo abrir ou similar).

Tabela 73. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia casa geminada – ZB8

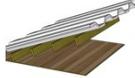
ITENS		CRITÉRIOS	
Pé-direito mínimo	2,50 m recomendado 2,80m		
Sistemas de cobertura	$U \leq 2,02 \text{ W/m}^2\text{K}$		
Sistema de vedação vertical	$U \leq 1,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $CT \geq 130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ $U \leq 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $CT \geq 30 \text{ kJ/m}^2\text{K}$		
Absortância máxima para paredes e coberturas	0,4. Com exceção da cobertura em telha de barro não vitrificada.		
Esquadrias	$P_{t,APP}$	Sombreamento	Fator de ventilação
	17%	Venezianas + peitoril ventilado nos dormitórios. Sombreamento recomendado na sala	FV90
	23%	Venezianas nos dormitórios + sala	FV90



C1



C3



C6



P4



P7

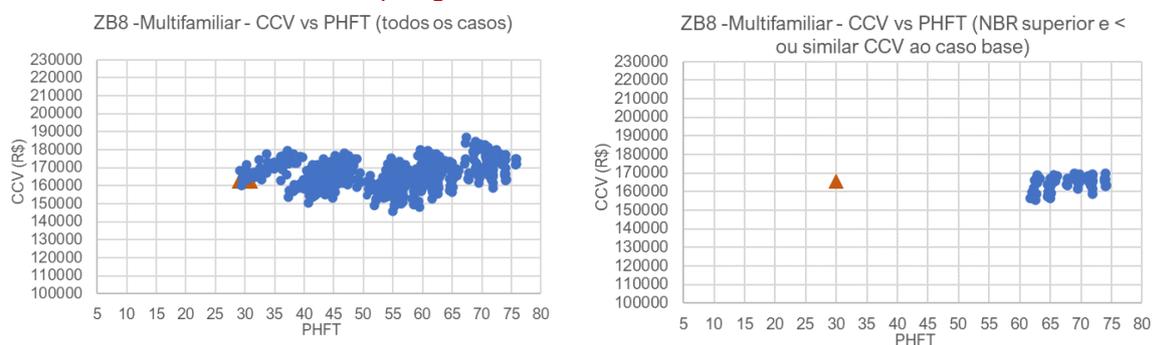


E6- E15

Obs. Transmitância térmica (U) em $\text{W/m}^2\text{K}$, Capacidade térmica (CT) em $\text{kJ/m}^2\text{K}$.

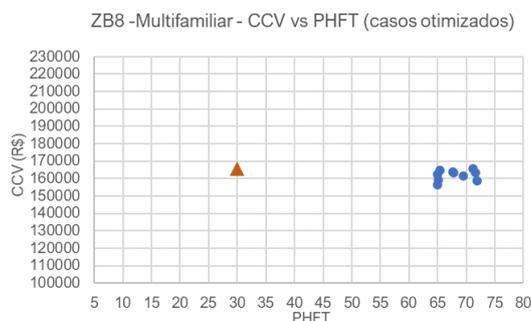
Os resultados para a **tipologia edifício multifamiliar** na zona bioclimática 8 são apresentados na Figura 26. Comparando com as outras tipologias, o caso base do edifício multifamiliar tem PHFT superior aos casos bases e custo no ciclo de vida inferior. Os casos otimizados alcançam PHFT entre 65% e 71% e apresentam menor ou similar custo no ciclo de vida em relação ao caso base (Figura 26c). Com relação ao custo inicial, os casos otimizados mostram um aumento mais significativo nesta tipologia, contudo, mostrando redução significativa no custo operacional no primeiro ano de até 43% quando comparados ao caso base.

Figura 26. Custo no ciclo de vida, PHFT, custo inicial e operacional de medidas de EE para a tipologia edifício multifamiliar – ZB8

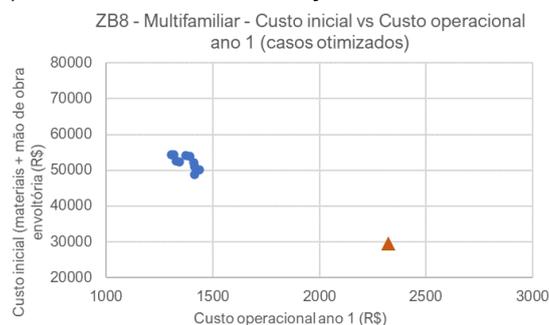


a. Caso base (laranja) e casos com estratégias combinadas

b. Caso base (laranja) e casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor ou similar CCV comparado ao caso base



c. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo no ciclo de vida (CCV) e PHFT



d. Caso base (laranja) e casos otimizados em função do custo inicial e operacional (ano 1)

Os resultados para os indicadores de PHFT, consumo operacional e de custos no ciclo de vida para o caso base e os casos otimizados são mostrados na Tabela 74. Os casos mostram as estratégias presentes em cada um.

Os casos otimizados com as estratégias são apresentados em detalhe na Tabela 75. A diferença das outras tipologias da ZB8 a altura de pé direito presente na maioria dos casos, é 2,60 m (estratégia T2), sendo somente dois casos com pé-direito de 2,80m (estratégia T3). As paredes presentes nos casos otimizados da tipologia multifamiliar da ZB8 são a P2, que se refere à uma parede em bloco de concreto, presente na maioria dos casos, e a P4, parede em alvenaria de tijolo de 14cm com furos e reboco externo e interno. As coberturas presentes são C1, C2, C3, C5, C6 e C7. Os tipos de coberturas são variados, não todas possuem isolamento, e são de capacidade térmica alta, média e baixa. As esquadrias presentes nos casos otimizados são E8, E15 e E16. A esquadria E8 possui menor área ($P_{t,APP}$ de 17%), as outras ($P_{t,APP}$ de 23%). Casos com esquadria E8 estão associados ao maior pé-direito (estratégia P3). Todos os casos apresentam fator de ventilação de 90% e venezianas nos dormitórios e sala. A estratégia E8 e E16 considera ainda brise/sacada na sala com 1,20 m de profundidade. Por tanto, sombreamento e uma maior ventilação se colocam como estratégias essenciais nos casos otimizados.

Tabela 74. Resultados do caso base e casos otimizados para a tipologia edifício multifamiliar – ZB8

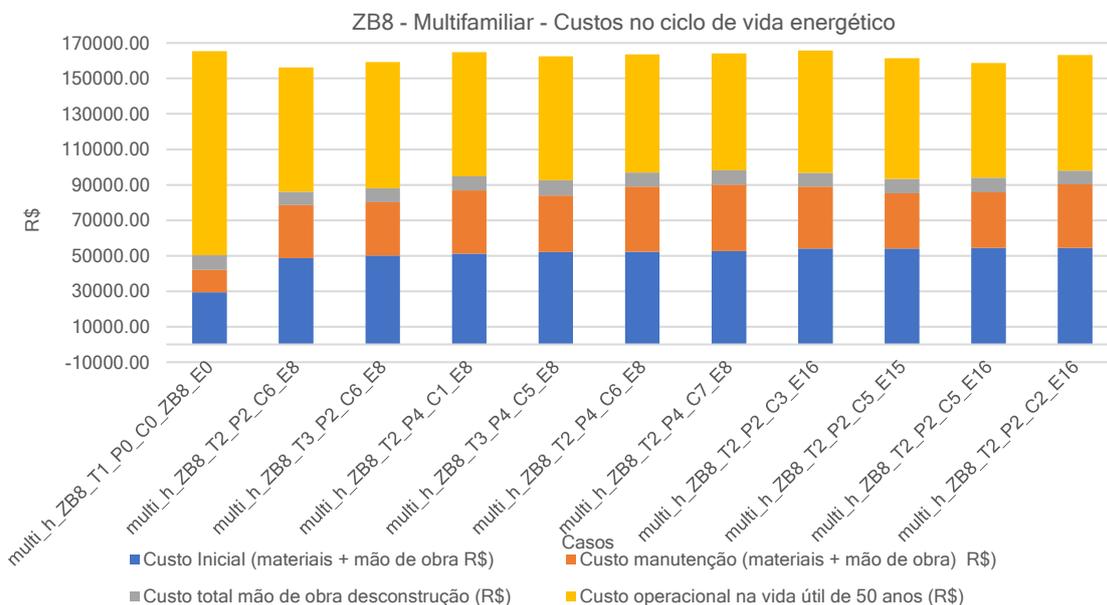
Arquivo	PHFT	Custo Inicial (mão de obra + materiais) (R\$)	Custo TOTAL construção / manutenção / desconstrução UH (R\$)	Consumo energético anual (kWh/ano)	Custo operacional da eletricidade na vida útil (R\$)	CUSTO TOTAL - CCV (R\$)
multi_h_ZB8_T1_P0_C0_ZB8_E0	29.99	29489.16	50310.15	2799.32	115114.24	165424.39
multi_h_ZB8_T2_P2_C6_E8	65.03	48767.80	86180.42	1704.18	70079.65	156260.07
multi_h_ZB8_T3_P2_C6_E8	65.08	50119.81	88135.39	1729.77	71132.09	159267.48
multi_h_ZB8_T2_P4_C1_E8	65.35	51122.61	94775.57	1703.51	70052.01	164827.59
multi_h_ZB8_T3_P4_C5_E8	65.01	52146.75	92583.69	1701.84	69983.30	162566.98
multi_h_ZB8_T2_P4_C6_E8	67.86	52336.39	96932.85	1619.27	66587.70	163520.55
multi_h_ZB8_T2_P4_C7_E8	67.62	52696.66	98244.87	1600.92	65833.29	164078.16
multi_h_ZB8_T2_P2_C3_E16	71.18	54007.95	96741.91	1676.43	68938.32	165680.24
multi_h_ZB8_T2_P2_C5_E15	69.52	54040.83	93405.22	1653.29	67986.72	161391.94
multi_h_ZB8_T2_P2_C5_E16	71.87	54425.19	93981.08	1574.25	64736.78	158717.85
multi_h_ZB8_T2_P2_C2_E16	71.58	54425.57	98113.57	1585.30	65190.92	163304.49

Tabela 75. Casos otimizados com estratégias para a tipologia edifício multifamiliar – ZB8

T2 (pé direito 2,60 m)						
P2	Bloco de concreto 19x19x39 + 2cm de reboco externo e interno (total 23cm) (Paredes externas e internas) autoportante	C2	Telha de barro (α 0,60) + lâ de rocha 5,0cm + câmara de ar+ forro laje concreto c/ EPS (12 cm)	E16	P _{L,APP} (23%), FV 0,90 – brise/sacada na sala de 1,20 m com veneziana nos dormitórios e sala	
		C3	Telha de barro (α 0,45) + câmara de ar + forro de madeira 1cm	E16	P _{L,APP} (23%), FV 0,90 – brise/sacada na sala de 1,20 m com veneziana nos dormitórios e sala	
		C5	Laje concreto- Cerâmica 1cm (abs 0,5), contrapiso 5cm, isolante 5cm EPS e concreto 10cm	E15	P _{L,APP} (23%), FV 0,90 – veneziana nos dormitórios e sala	
				E16	P _{L,APP} (23%), FV 0,90 – brise/sacada na sala de 1,20 m com veneziana nos dormitórios e sala	
		C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E8	P _{L,APP} (17%), FV 0,90 – brise/sacada na sala de 1,20 m com veneziana nos dormitórios e sala	
P4	Tijolo 9 furos 14x19x29 (total 18cm) Com reboco interno e externo (Paredes externas e internas)	C1	Telha de barro (α 0,60) + lâ de rocha 5cm+ câmara de ar + forro de madeira 1cm	E8	P _{L,APP} (17%), FV 0,90 – brise/sacada na sala de 1,20 m com veneziana nos dormitórios e sala	
		C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira			
		C7	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro laje concreto c/ EPS			
T3 (pé direito 2,80 m)						
P2	Bloco de concreto 19x19x39 + 2cm de reboco externo e interno (total 23cm) (Paredes externas e internas) autoportante	C6	Telha metálica sanduiche (α 0,3) + câmara de ar + forro de madeira	E8	P _{L,APP} (17%), FV 0,90 – brise/sacada na sala de 1,20 m com veneziana nos dormitórios e sala	
P4	Tijolo 9 furos 14x19x29 (total 18cm) com reboco interno e externo (Paredes externas e internas)	C5	Laje concreto- Cerâmica 1cm (abs 0,5), contrapiso 5cm, isolante 5cm EPS e concreto 10cm			

A Figura 27 mostra os custos no ciclo de vida energético discriminados por etapa para a tipologia multifamiliar na ZB8, considerando o caso base e os casos otimizados. É mostrado o custo inicial, custo de manutenção, custo de desconstrução e custo operacional nos 50 anos da vida útil da edificação. Fica evidente o peso do custo operacional no caso base em comparação aos casos com medidas de eficiência energética, assim como o custo inicial menor do caso base comparado aos casos otimizados. Também se mostra o desempenho no ciclo de vida dos casos otimizados em relação ao caso base.

Figura 27. Custos no ciclo de vida energético por etapas para a tipologia edifício multifamiliar – ZB8



Conforme análise dos casos otimizados, as diretrizes para os projetos da tipologia multifamiliar na zona bioclimática 8 são especificadas na Tabela 76.

Tabela 76. Diretrizes dos casos otimizados para a tipologia edifício multifamiliar – ZB8

ITENS	CRITÉRIOS			
Pé-direito mínimo	2,60 m			C1
Sistemas de cobertura	$U \leq 2,02 \text{ W/m}^2\text{K}$			C2
Sistema de vedação vertical	$U \leq 2,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $CT \geq 130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$			C3 C5
Absortância máxima para paredes e coberturas	0,4. Com exceção da cobertura em telha de barro não vitrificada.			C6 C7
Esquadrias	$P_{t,APP}$	Sombreamento	Fator de ventilação	P2 P4
	17%	Venezianas nos dormitórios + sala com brise ou sacada na sala de mínimo 1,20m	FV90	E8 – E15
	23%	Venezianas nos dormitórios + sala	FV90	

Obs. Transmissão térmica (U) em $\text{W/m}^2\text{K}$, Capacidade térmica (CT) em $\text{kJ/m}^2\text{K}$.

Nos ambientes de permanência prolongada o pé-direito deve ser mínimo de 2,60m. A cobertura deve ter transmitância térmica máxima de 2,02 W/m²K, enquanto as paredes externas devem possuir transmitância térmica máxima de 2,70 W/m²K com capacidade térmica mínima de 130 kJ/m²K. A absorvância máxima para paredes e coberturas é de 0,4 (cores claras) com exceção da telha de barro não vitrificada. Conforme os casos otimizados, os elementos transparentes devem ter P_{t,APP} mínimo de 17% com fator de ventilação mínimo de 90% (tipo abrir ou similar), sombreamento com venezianas nos dormitórios e sala e brise ou sacada na sala de mínimo 1,20m, ou podem ter P_{t,APP} mínimo de 23% com fator de ventilação mínimo de 90% (tipo abrir ou similar) e veneziana nos dormitórios e sala.

Com relação aos resultados apresentados e como já foi discutido em algumas zonas, deve ser considerado que para as zonas bioclimáticas a partir da ZB4 e em especial nesta zona bioclimática 8 o uso de cores claras na envoltória, vai potencializar ainda mais os resultados obtidos para os casos com medidas de eficiência energética, conforme apresentado no Produto 3, por conta disto esta é uma das diretrizes de projeto nestas zonas bioclimáticas. Paredes com uso de cores claras implica em aumento do PHFT e redução da carga térmica, portanto redução do consumo previsto para condicionamento ambiental, o que influencia em redução do valor de custo no ciclo de vida. Ressalta-se também que conforme já apontado anteriormente, os limites de absorvância solar na cobertura incluem o uso de cobertura com telha de barro não vitrificada, assim como coberturas vegetadas.

De forma geral no estudo, e conforme já colocado, os custos são relativos aos componentes da envoltória que estão sendo avaliados, portanto, os resultados devem ser usados mais em termos comparativos de porcentagem entre os diferentes casos, do que como valores absolutos.

2.2.9 Resumo geral

Na Tabela 77 é mostrado um resumo das diretrizes apontadas para cada uma das tipologias e zonas bioclimáticas considerando os casos otimizados e, os limites mínimos encontrados em casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor ou similar custo no ciclo de vida em relação ao caso base. Ressaltando que os casos otimizados consideram também além de um ótimo desempenho em relação ao caso base, um menor custo inicial. Na Tabela 77a são mostrados os limites relacionados ao pé-direito, paredes externas e cobertura, em função da transmitância térmica (U), capacidade térmica (CT) e absorvância solar (α) enquanto na Tabela 77b são mostrados os limites para as esquadrias, para as quais é apontado o percentual de elementos transparentes mínimo (P_{t,APP}), o fator de ventilação da esquadria (FV) e a necessidade de sombreamento por veneziana (Ven) (sombreamento externo que deve permitir garantia de ventilação natural e possibilitar a abertura total da janela para a entrada de luz natural quando desejado), sacada/brise e ou uso de peitoril ventilado na janela.

E conforme mencionado anteriormente, no Anexo A são apresentados todos os casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor ou similar custo no ciclo de vida comparado ao caso base, com identificação das suas estratégias presentes e resultados nos principais indicadores, ao tempo que são mostrados os casos otimizados.

Tabela 77. Limites de desempenho com relação à pé-direito, paredes e coberturas por tipologia e zona bioclimática para os casos otimizados e casos com desempenho superior na ABNT NBR 15575 – Desempenho térmico e menor ou similar custo no ciclo de vida

ZB	Tipologia	Pé-direito mínimo (m)	PAREDES			COBERTURAS		
			CASOS OTIMIZADOS		NBR SUP E < ou similar CCV	CASOS OTIMIZADOS		NBR SUP E <CCV
			Limites (α)	U e CT	U e CT	Limites (α)*	U	U
ZB1	Unifamiliar	2,50	$\leq 0,6$	$U \leq 1,85$ e $CT \geq 130$	$U \leq 2,70$ e $CT \geq 100$	$\leq 0,6$	$U \leq 0,6$	$\leq 2,02$
	Geminada	2,50	$\leq 0,6$	$U \leq 1,85$ e $CT \geq 130$	$U \leq 2,70$ e $CT \geq 100$	$\leq 0,6$	$U \leq 0,6$	$\leq 0,7$
	Multifamiliar	2,50	$\leq 0,6$	$U \leq 1,10$ e $CT \geq 130$	$U \leq 2,70$ e $CT \geq 130$ e $U \leq 0,70$ e $CT \geq 30$	$\leq 0,6$	$\leq 2,02$	$\leq 2,02$
ZB2	Unifamiliar	2,50	$\leq 0,6$	$U \leq 1,10$ e $CT \geq 130$	$U \leq 2,70$ e $CT \geq 130$ e $U \leq 0,75$ e $CT \geq 30$	$\leq 0,6$	$U \leq 0,6$	$\leq 0,7$
	Geminada	2,50	$\leq 0,6$	$U \leq 1,10$ e $CT \geq 130$	$U \leq 2,70$ e $CT \geq 130$ e $U \leq 0,75$ e $CT \geq 30$	$\leq 0,6$	$U \leq 0,6$	$\leq 0,6$
	Multifamiliar	2,50	$\leq 0,6$	$U \leq 1,10$ e $CT \geq 130$ e $U \leq 0,70$ e $CT \geq 30$	$U \leq 1,10$ e $CT \geq 130$ e $U \leq 0,70$ e $CT \geq 30$	$\leq 0,6$	$U \leq 0,7$	$\leq 2,02$
ZB3	Unifamiliar	2,50	$\leq 0,6$	$U \leq 1,85$ e $CT \geq 130$	$U \leq 2,70$ e $CT \geq 130$	$\leq 0,6$	$U \leq 0,6$	$\leq 0,6$
	Geminada	2,50	$\leq 0,6$	$U \leq 2,70$ e $CT \geq 130$	$U \leq 2,70$ e $CT \geq 130$	$\leq 0,6$	$U \leq 0,6$	$\leq 0,6$
	Multifamiliar	2,60	$\leq 0,6$	$U \leq 2,70$ e $CT \geq 130$	$U \leq 2,70$ e $CT \geq 130$	$\leq 0,6$	$\leq 0,7$ e $\leq 2,20$ se cobertura verde	$\leq 2,20$
ZB4	Unifamiliar	2,50	$\leq 0,6$ recomendada 0,4	$U \leq 1,85$ e $CT \geq 130$ e $U \leq 0,75$ e $CT \geq 30$	$U \leq 1,85$ e $CT \geq 130$ e $U \leq 0,70$ e $CT \geq 30$	$\leq 0,4$	$\leq 0,70$	$\leq 0,70$
	Geminada	2,50	$\leq 0,6$ recomendada 0,4	$U \leq 1,85$ e $CT \geq 130$ e $U \leq 0,70$ e $CT \geq 30$	$U \leq 1,85$ e $CT \geq 130$ e $U \leq 0,75$ e $CT \geq 30$	$\leq 0,4$	$U \leq 2,02$	$\leq 2,02$
	Multifamiliar	2,60	$\leq 0,6$ recomendada 0,4	$U \leq 1,10$ e $CT \geq 130$	$U \leq 2,70$ e $CT \geq 130$	$\leq 0,4$	$U \leq 2,02$	$\leq 2,02$
ZB5	Unifamiliar	2,50	$\leq 0,6$ recomendada 0,4; sendo 0,4 para $U > 0,75$ e $\leq 1,85$	$U \leq 1,85$ e $CT \geq 130$ com $\alpha \leq 0,4$ e $U \leq 0,75$ e $CT \geq 30$	$U \leq 1,85$ e $CT \geq 130$ com $\alpha \leq 0,4$ e $U \leq 0,70$ e $CT \geq 30$	$\leq 0,4$	$U \leq 0,7$	$\leq 2,02$ com $\alpha \leq 0,4$
	Geminada	2,50	$\leq 0,6$ recomendada 0,4; sendo 0,4 para $U > 0,75$ e $\leq 1,85$	$U \leq 1,85$ e $CT \geq 130$ com $\alpha \leq 0,4$ e $U \leq 0,75$ e $CT \geq 30$	$U \leq 1,85$ e $CT \geq 130$ com $\alpha \leq 0,4$ e $U \leq 0,75$ e $CT \geq 30$	$\leq 0,4$	$U \leq 0,7$	$\leq 2,02$ com $\alpha \leq 0,4$
	Multifamiliar	2,60	$\leq 0,6$ recomendada 0,4	$U \leq 1,10$ e $CT \geq 130$	$U \leq 2,70$ e $CT \geq 130$	$\leq 0,4$	$U \leq 2,02$	$\leq 2,02$
ZB6	Unifamiliar	2,50	$\leq 0,6$ recomendada 0,4; sendo 0,4 para $U > 0,70$ e $\leq 1,85$	$U \leq 1,85$ e $CT \geq 130$ com $\alpha \leq 0,4$ e $U \leq 0,75$ e $CT \geq 30$	$U \leq 1,85$ e $CT \geq 130$ com $\alpha \leq 0,4$ e $U \leq 0,75$ e $CT \geq 30$	$\leq 0,4$	$U \leq 2,02$ com $\alpha \leq 0,4$ e $U \leq 0,7$ com $\alpha \leq 0,6$ (envoltória)	$U \leq 2,02$ com $\alpha \leq 0,4$ e $U \leq 0,7$ com $\alpha \leq 0,6$ (envoltória)
	Geminada	2,50	$\leq 0,6$ recomendada 0,4; sendo 0,4 para $U > 0,75$ e $\leq 1,85$	$U \leq 1,85$ e $CT \geq 130$ e $U \leq 0,75$ e $CT \geq 30$	$U \leq 1,85$ e $CT \geq 130$ com $\alpha \leq 0,4$ e $U \leq 0,75$ e $CT \geq 30$	$\leq 0,4$	$U \leq 2,02$ com $\alpha \leq 0,4$ e $U \leq 0,7$ com $\alpha \leq 0,6$ (envoltória)	$U \leq 2,02$ com $\alpha \leq 0,4$ e $U \leq 0,7$ com $\alpha \leq 0,6$ (envoltória)
	Multifamiliar	2,60	$\leq 0,6$ recomendada 0,4	$U \leq 1,10$ e $CT \geq 130$	$U \leq 2,70$ e $CT \geq 130$	$\leq 0,4$	$U \leq 2,02$	$\leq 2,02$
ZB7	Unifamiliar	2,50	$\leq 0,4$	$U \leq 1,85$ e $CT \geq 130$ e $U \leq 0,70$ e $CT \geq 30$	$U \leq 1,85$ e $CT \geq 130$ e $U \leq 0,70$ e $CT \geq 30$	$\leq 0,4$	$U \leq 2,02$	$\leq 2,02$
	Geminada	2,50	$\leq 0,4$	$U \leq 1,85$ e $CT \geq 130$ e $U \leq 0,70$ e $CT \geq 30$	$U \leq 1,85$ e $CT \geq 130$ e $U \leq 0,70$ e $CT \geq 30$	$\leq 0,4$	$U \leq 2,02$	$\leq 2,02$
	Multifamiliar	2,60	$\leq 0,4$	$U \leq 2,70$ e $CT \geq 130$	$U \leq 2,70$ e $CT \geq 130$	$\leq 0,4$	$U \leq 2,02$	$\leq 2,02$
ZB8	Unifamiliar	2,50, recomendado 2,80	$\leq 0,4$	$U \leq 1,85$ e $CT \geq 130$ e $U \leq 0,70$ e $CT \geq 30$	$U \leq 1,85$ e $CT \geq 130$ e $U \leq 0,70$ e $CT \geq 30$	$\leq 0,4$	$U \leq 2,02$	$\leq 2,02$
	Geminada	2,50, recomendado 2,80	$\leq 0,4$	$U \leq 1,85$ e $CT \geq 130$ e $U \leq 0,70$ e $CT \leq 50$	$U \leq 3,60$ e $CT \geq 130$ e $U \leq 0,70$ e $CT \geq 30$	$\leq 0,4$	$U \leq 2,02$	$\leq 2,02$
	Multifamiliar	2,60	$\leq 0,4$	$U \leq 2,70$ e $CT \geq 130$	$U \leq 2,70$ e $CT \geq 130$	$\leq 0,4$	$U \leq 2,02$	$\leq 2,02$

* inclui coberturas em telhas de barro não vitrificada e cobertura vegetada

- a. Limites para transmitância térmica (U), capacidade térmica (CT) e absorvância solar (α) para paredes e coberturas para os casos otimizados e casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor ou similar custo no ciclo de vida comparado ao caso base.

Tabela 78 (continuação). Limites de desempenho com relação à pé-direito, paredes e coberturas por tipologia e zona bioclimática para os casos otimizados e casos com desempenho superior na ABNT NBR 15575 – Desempenho térmico e menor ou similar custo no ciclo de vida

		ESQUADRIAS				
ZB	Tipologia	CASOS OTIMIZADOS			NBR SUPERIOR E < CCV	
ZB1	Unifamiliar	17% - Ven. Dorm. FV45			17% - Sem Ven. FV45	
	Geminada	17% - Ven. Dorm FV45			17% - Sem Ven. FV45	
	Multifamiliar	17% - Ven. Dorm/sala FV45			17% - Ven. Dorm/sala FV45	
ZB2	Unifamiliar	17% - Ven. Dorm FV45			17% - Ven. Dorm FV45	
	Geminada	17% - Ven. Dorm FV45			17% - Ven. Dorm FV45	
	Multifamiliar	17% - Ven. Dorm/sala FV45	23% - Ven. Dorm FV45		17% - Ven. Dorm FV45	
ZB3	Unifamiliar	17% - Ven. Dorm/sala FV45	23% - Dorm FV45		17% - Ven. Dorm FV45	
	Geminada	17% - Ven. Dorm/sala FV45	23% - Ven. Dorm FV45		17% - Ven. Dorm FV45	
	Multifamiliar	17% - Ven. Dorm/sala FV45 +brise/sacada sala	17% - Ven. Dorm FV90		17% - Ven. Dorm/sala FV45	
ZB4	Unifamiliar	17% - Ven. Dorm/sala FV45	23% - Ven. Dorm FV45		17% - Ven. Dorm/sala FV45	23% - Ven. Dorm FV45
	Geminada	17% - Ven. Dorm FV45			17% - Ven. Dorm FV45	
	Multifamiliar	17% - Ven. Dorm FV90	23% - Ven. Dorm/sala FV45		17% - Ven. Dorm/sala FV45	17% - Ven. Dorm FV90
ZB5	Unifamiliar	17% - Ven. Dorm/sala FV90	23% - Ven. Dorm FV90		17% - Ven. Dorm/sala FV90	23% - Ven. Dorm FV90
	Geminada	17% - Ven. Dorm/sala FV90	23% - Ven. Dorm FV90		17% - Ven. Dorm/sala FV90	23% - Ven. Dorm FV90
	Multifamiliar	17% - Ven. Dorm/sala/sacada FV90	23% - Ven. Dorm/sala FV90		17% - Ven. Dorm/sala/sacada FV90	23% - Ven. Dorm/sala FV90
ZB6	Unifamiliar	17% - Ven. Dorm FV90	23% - Ven. Dorm/sala FV45		17% - Ven. Dorm FV90	23% - Ven. Dorm/sala FV45
	Geminada	17% - Ven. Dorm/sala FV90	23% - Ven. Dorm/sala FV45		17% - Ven. Dorm FV90	23% - Ven. Dorm/sala FV45
	Multifamiliar	17% - Ven. Dorm/sala FV90	23% - Ven. Dorm/sala/sacada FV45		17% - Ven. Dorm FV90	23% - Ven. Dorm/sala FV45
ZB7	Unifamiliar	17% - Ven. Dorm FV90	17% - Ven. Dorm/sala FV45	23% - Ven. Dorm FV45	17% - Ven. Dorm FV45	
	Geminada	17% - Ven. Dorm/sala FV45	17% - Ven. Dorm FV90	23% - Ven. Dorm FV45	17% - Ven. Dorm FV45	
	Multifamiliar	17% - Ven. Dorm/sala/sacada FV90	23% - Dorm/sala/sacada FV45		17% - Ven. Dorm/sala FV90	23% - Dorm/sala/sacada FV45
ZB8	Unifamiliar	17% - Ven. Dorm FV90+ peitoril ventilado, recomendado na sala OU Ven. Dorm/sala FV90	23% - Ven. Dorm FV90 recomendado na sala		17% - Ven. + peitoril ventilado Dorm FV45 OU Ven. Dorm. FV90	23% - Dorm/sala FV45
	Geminada	17% - Ven. +peitoril ventilado Dorm FV90, recomendado na sala	23% - Ven. Dorm/sala FV90		17% - Ven. + peitoril ventilado Dorm FV45 OU Ven. Dorm. FV90	23% - Ven. + peitoril ventilado Dorm FV45 OU Ven. Dorm./sala FV45
	Multifamiliar	17% - Ven. Dorm/sala/sacada FV90	23% - Ven. Dorm/sala FV90		17% - Ven. Dorm/sala FV90	23% - Dorm/sala/sacada FV45

OBS: O sombreamento externo deve permitir garantia de ventilação natural e possibilitar a abertura total da janela para a entrada de luz natural quando desejado.

- b. Limites para esquadrias para os casos otimizados e casos com desempenho superior na NBR 15575 e menor ou similar custo no ciclo de vida comparado ao caso base. Limites em função do Percentual de elementos transparentes ($P_{t,APP}$), sombreamento por ambiente (Veneziana – Ven, brise, sacada e/ou peitoril ventilado e fator de ventilação das esquadrias (FV).

3. CONCLUSÕES

O estudo teve como objetivo uma análise de custo-benefício da aplicação de medidas de eficiência energética em habitações de interesse social no Brasil. Para isso, foram analisadas três tipologias consideradas representativas do setor e avaliadas medidas de eficiência energética, considerando um indicador de desempenho termo energético (PHFT – percentual de horas dentro de uma faixa de temperatura) e custos no ciclo de vida da edificação, o qual incluiu custo inicial (considerando materiais e mão de obra), custo para manutenção, custo para desconstrução e custo operacional (que inclui custo previsto com condicionamento de ar para garantir condições de conforto adequadas na edificação, além de iluminação e equipamentos). Os custos foram previstos para uma vida útil de 50 anos. As análises foram realizadas para oito cidades representativas do zoneamento bioclimático brasileiro e os resultados foram mostrados por zona bioclimática e por tipologia para todos os casos avaliados. Inicialmente foram identificados os casos com desempenho superior na ABNT NBR 15575 e menor ou similar custo no ciclo de vida em relação ao caso base típico. A partir deles, em torno de dez casos foram estimados como sendo otimizados com

relação aos indicadores de PHFT, custo inicial, custo operacional e custo no ciclo de vida. As estratégias presentes nesses casos foram identificadas e por meio delas foram indicadas diretrizes para projetos por zona bioclimática e tipologia.

Com base na Portaria N° 660 e nos critérios relacionados à eficiência energética presentes nela, são colocados de forma resumida os principais itens abordados neste estudo e as diretrizes que foram propostas.

- Pé direito mínimo: Recomendações dadas por zona bioclimática e tipologia. A partir da ZB3 até ZB8 para a tipologia multifamiliar o pé-direito mínimo proposto é 2,60m.
- Ventilação: Ventilação cruzada obrigatória em todas as zonas bioclimáticas da ZB2 a ZB8 e para todas as tipologias com garantia de ventilação noturna com segurança em todas as zonas bioclimáticas da ZB2 a ZB8.
- Sistema de cobertura: Recomendações de transmitância térmica máxima por zona bioclimática e tipologia.
- Sistemas de vedação vertical externo: Limites de transmitância e capacidade térmica recomendados por zona bioclimática e tipologia. Para ZB1 a ZB3 absorvância solar máxima para paredes e coberturas de 0,6. Para ZB4 a ZB6 absorvância solar máxima para cobertura 0,4 e para paredes 0,6 sendo recomendado 0,4, com algumas exceções para limites de transmitância e capacidade térmica. Para ZB7 e ZB8 a absorvância solar de paredes e coberturas deve ser menor ou igual a 0,4. Os limites de absorvância solar da cobertura incluem telha de barro não vitrificada e coberturas vegetadas.
- Esquadrias: Recomendações para sombreamento, área de esquadrias e fator de ventilação das esquadrias conforme tipologia e zona bioclimática. Para a tipologia multifamiliar da ZB5 a ZB8 é necessário sombreamento em todos os ambientes de permanência prolongada (dormitórios e sala). Para todas as tipologias da ZB8 sombreamento nos dormitórios e sala.
- Sistemas inovadores: Conforme o desempenho na zona bioclimática e tipologia.

Os resultados mostraram o amplo potencial que tem o setor para melhoria e a importância de medidas combinadas de eficiência energética adequadas ao clima do local. Ficou também evidente como um bom desempenho termo energético pode ser obtido com a aplicação de diferentes medidas e que o caso típico do que é construído hoje no setor nas três tipologias avaliadas, apresenta de forma geral o pior desempenho e em muitos casos um maior custo no ciclo de vida.

4. REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 15575**: Edificações Habitacionais - Desempenho, Rio de Janeiro, 2013,

FULLER, S. K.; PETERSEN, S. R. NIST handbook 135: Life cycle costing manual for the Federal Energy Management Program. Disponível em:
<<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build96/PDF/b96121.pdf>>.1995.

ISLAM, H. et al. Life cycle assessment and life cycle cost implications of wall assemblages designs. *Energy and Buildings*, v. 104, p. 250–263, 2015.

TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterization of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. *Energy Policy*, v. 87, n. December 2014, p. 524–541, 2015.

TRIANA MONTES, M.A. Abordagem integrada no ciclo de vida de habitação de interesse social considerando mudanças climáticas. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

TRIANA, LAMBERTS, SASSI. Sustainable Energy Performance in Brazilian Social Housing: A Proposal for a Sustainability Index in the Energy Life Cycle considering climate change. *Energy and Buildings*, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110845>.