

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

SILVANA ROSADO NEGREIROS GADELHA SIMAS

**ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO DE SISTEMAS DE COBERTAS EM EDIFICAÇÕES
COMERCIAIS PARA O CLIMA DE NATAL/RN VISANDO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

**NATAL
2009**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

SILVANA ROSADO NEGREIROS GADELHA SIMAS

**ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO DE SISTEMAS DE COBERTAS EM EDIFICAÇÕES
COMERCIAIS PARA O CLIMA DE NATAL/RN VISANDO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, como requisito à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Aldomar Pedrini, Ph.D.

Natal
2009

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Setorial de Arquitetura

Simas, Silvana Rosado Negreiros Gadelha.

Análise do custo-benefício de sistemas de cobertas em edificações comerciais para o clima de Natal/RN visando eficiência energética/ Silvana Rosado Negreiros Gadelha Simas. – Natal, RN, 2008.

150 f.: il.

Orientador: Aldomar Pedrini.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Departamento de Arquitetura.

1. Edificações comerciais – Monografia. 2. Sistema de cobertas – Monografia. 3. Custo-benefício – Monografia. 4. Eficiência energética – Monografia. I. Pedrini, Aldomar. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UF/BSE-ARQ

CDU 725.2

RESUMO

Esta pesquisa aborda a influência de diversos tipos de sistemas construtivos de cobertas no desempenho energético e na relação custo-benefício de edificações do tipo comercial para as condições climáticas da cidade do Natal/RN. O objetivo geral da pesquisa é analisar a relação custo-benefício de sistemas construtivos de cobertas disponíveis no mercado, levando-se em consideração o desempenho energético de edificações comerciais climatizadas artificialmente, visando o seu uso por projetistas e que seja adequado às condições climáticas da cidade de Natal/RN. O método de avaliação do custo-benefício de sistemas de cobertura consiste de seis etapas: caracterização e simulação da edificação de referência; análise de sensibilidade; levantamento, caracterização e simulação de alternativas de sistemas construtivos de cobertas; quantificação dos custos de implantação; quantificação dos benefícios das alternativas em relação ao caso base; e análise das relações de custo-benefício. O modelo escolhido como referência corresponde a lojas com sistema de galpão pré-moldado, e sistema de cobertura com fibrocimento e forro. Seu comportamento térmico demonstrou a influência do sistema de cobertura no desempenho energético da edificação. Os resultados das simulações das alternativas demonstraram que a absorvância é a variável que apresenta a melhor relação custo-benefício, enquanto que a redução da transmitância térmica ainda apresenta limitações devido ao custo.

Palavras-chave: Custo - benefício. Sistema de cobertas. Edificações comerciais. Eficiência Energética.

ABSTRACT

This research consists in studying the influence of the various type of construction systems of roofs with their energy efficiency as well as on the cost benefit for the commercial buildings on the temperatures condition of the city of Natal/RN. The main goal of this research is to analyze the cost benefit of the construction systems of roofs available on the market, taking into consideration the energy efficiency of the commercial buildings artificially air conditioned in order to be used by the projectors and to be adequated to the temperatures condition of the city of Natal/RN. The method of valuation of the cost benefit of roof systems consists in six steps: Features and simulation of the reference building; Analyze of sensitivity; Analyzes, features and simulation of alternatives of roof construction systems; Analyze of the cost of implementation; Analyze of the benefits of the alternatives comparing to the base case; And finally the analyze of the cost benefit. The model type chosen as reference was stores with pre molded buildings and system of roof with fiber ciment and ceiling . The thermal results showed the influence of the roof system on the energy efficiency of the building. The Final results of the simulations of the alternatives comes to a conclusion that the absortance is the variable that presents the best cost benefit relation and the reduction on the thermal transmittance still has limitations because of the high cost.

Key Words: Cost Benefit. Roof Systems. Comercial buildings. Energy eficiencie.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1. Relação absorvância da cobertura x consumo energético	18
Figura 2-2. Mapa de zoneamento climático proposto para os Estados Unidos	27
Figura 2-3. Mapa de zoneamento climático brasileiro	29
Figura 3-1. Fotos de edificações do tipo escolhido na cidade de Natal/RN.	34
Figura 3-2. Fotos de edificações do tipo escolhido na cidade de Natal/RN (continuação).	35
Figura 3-3. Fachadas frontal (Sul) e lateral (Oeste), e fachadas lateral (Leste) e posterior (Norte),	36
Figura 3-4. Localização de Natal-RN.	42
Figura 3-5. Diagrama solar para Natal/RN	41
Figura 3-6. Radiação solar estimada do arquivo TRY.	42
Figura 3-7. Alternativa com cobertura inclinada.	47
Figura 4-1. Consumo total de energia por área para análise de sensibilidade.	56
Figura 4-2. Consumo total de energia por área para análise de sensibilidade, destacando a influência da absorvância.	57
Figura 4-3. Consumo total de energia como função do fator solar.	58
Figura 4-4. Confirmação do período de atendimento das condições de temperatura interna controlada pelo condicionador de ar (loja 1).	59
Figura 4-5. Temperaturas do ático.	60
Figura 4-6. Ganhos internos em domingos e feriados da loja 1.	60
Figura 4-7. Ganhos internos dias úteis da loja 1.	61
Figura 4-8. Ganhos internos para sábados da loja 1.	62
Figura 4-9. Ganhos internos dias úteis da loja 1.	62
Figura 4-10. Ganhos internos para sábados da loja 1.	63
Figura 4-11. Consumo de energia elétrica horária por uso final (exemplo: 1º semana de janeiro).	64
Figura 4-12. Consumo de energia elétrica horária por uso final (exemplo: 1º semana de julho).	64
Figura 4-13. Consumo de energia elétrica mensal por uso final.	65
Figura 4-14. Consumo de energia elétrica anual por uso final.	65
Figura 4-15. Cargas térmicas horárias, para a primeira semana de janeiro.	66
Figura 4-16. Cargas térmicas horárias, para a primeira semana de julho.	66
Figura 4-17. Cargas térmicas de envoltória internamente, para o dia 2 de janeiro.	67
Figura 4-18. Cargas térmicas de envoltória internamente, para o dia 1 de julho.	68
Figura 4-19. Principais cargas térmicas de resfriamento.	68

Figura 4-20. Alternativa com cobertura inclinada.	70
Figura 4-21. Consumo total anual por área e capacidade de resfriamento instalada.	70
Figura 4-22. Diferenças de consumo mensal quanto à localização das barreiras radiantes	74
Figura 4-23. Diferenças de consumo mensal quanto ao tipo e localização do isolante térmico	75
Figura 4-24. Diferença de consumo com relação aos meses do ano	76
Figura 4-25. Comparação dos resultados empregando fator de calor solar como parâmetro.	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1. – Refletância de superfícies mais comuns.	37
Tabela 3-2. Resumo das características construtivas do caso base	37
Tabela 3-3. Critérios para classificação de condicionadores de ar split	38
Tabela 3-4. Densidades de ocupação dos ambientes.	39
Tabela 3-5. Características do sistema de iluminação artificial adotado nos modelos	40
Tabela 3-6. Características dos equipamentos do ambiente de vendas (área de 96,95 m ²).	40
Tabela 3-7. Características dos equipamentos do ambiente de escritório (área de 24,24 m ²).	41
Tabela 3-8. Absortância (α) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade (ϵ) para radiações a temperaturas	44
Tabela 3-9. Características da alternativa com telha ondulada de fibrocimento clara, e=8mm: U=2,0 W/(m ² .K) e α =0,20	45
Tabela 3-10. Características da alternativa com telha metálica ondulada e=0,65mm: U=1,1 W/(m ² .K) e α =0,25	45
Tabela 3-11. Características da alternativa com telha onduline com fibra vegetal e=8mm: U=2,0 W/(m ² .K) e α =0,74	46
Tabela 3-12. Características da alternativa com telha metálica ondulada branca e=0,65mm: U=1,1 W/(m ² .K) e α =0,20	46
Tabela 3-13. Características da alternativa de aumento na inclinação do telhado para 35%.	47
Tabela 3-14. Características da alternativa de barreira radiante junto à telha: U=1,1 W/(m ² .K) e α =0,60	48
Tabela 3-15. Características da alternativa da barreira radiante junto ao forro: U=1,1W/(m ² .K) e α =0,60	48
Tabela 3-16. Características da alternativa do isolante térmico junto ao forro: U=0,70W/(m ² .K) e α =0,60	49
Tabela 3-17. Características da alternativa do isolante térmico junto à telha: U=0,7 W/(m ² .K) e α =0,60	49
Tabela 3-18. Características da alternativa da telha sanduíche de poliestireno expandido U=0,6 W/(m ² .K) e α =0,25	50
Tabela 3-19. Características da alternativa da telha sanduíche com poliuretano expandido U=0,5 W/(m ² .K) e α =0,25	50
Tabela 3-20. Características da alternativa de telha sanduíche de poliestireno expandido sem forro U=0,9 W/(m ² .K) e α = 0,25	51
Tabela 3-21. Características da alternativa da telha sanduíche de poliuretano expandido sem forro U=0,8 W/(m ² .K) e α =0,25	51
Tabela 3-22. Características da alternativa com forro de madeira U=2,0 W/(m ² .K) e α =0,60	52

Tabela 3-23. Características da alternativa com forro de PVC $U=1,7 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, $\alpha= 0,60$	52
Tabela 4-1. Consumo total de energia por área para análise de sensibilidade (kWh/m^2).	56
Tabela 4-2. Principais cargas térmicas de resfriamento	69
Tabela 4-3. Resumo do caso base e alternativas analisadas.	71
Tabela 4-4. Consumo total de energia das alternativas e energia economizada.	72
Tabela 4-5. Capacidade de resfriamento instalada e diferença de custo de aquisição dos sistemas de condicionadores de ar das alternativas em relação ao caso base	73
Tabela 4-6. Custo e vida útil de materiais com fonte de pesquisa de preços.	77
Tabela 4-7. Custo e vida útil de materiais com fonte de pesquisa de preços (continuação). Erro! Indicador	
Tabela 4-8. Composição de preço do caso base	80
Tabela 4-9. Composição de preço da alternativa de telha de fibrocimento $e=8\text{mm}$ branca com forro de gesso	80
Tabela 4-10. Composição de preços usando a telha metálica ondulada $e=0,65\text{mm}$	81
Tabela 4-11. Composição de preços usando a telha onduline $e=8\text{mm}$	82
Tabela 4-12. Composição de preços usando a telha metálica ondulada branca $e=0,65\text{mm}$	82
Tabela 4-13. Composição de preços modificando a inclinação do telhado	83
Tabela 4-14. Composição de preços utilizando a barreira radiante	83
Tabela 4-15. Composição de preço utilizando isolante térmico	84
Tabela 4-16. Composição de preço utilizando telha sanduiche	85
Tabela 4-17. Composição de preços da telha sanduíche sem forro	85
Tabela 4-18. Composição de preços utilizando o forro de PVC	86
Tabela 4-19. Composição de preços utilizando forro de madeira	86
Tabela 4-20. Composição dos custos da energia cobrada pela COSERN	88
Tabela 4-21. Relação custo-benefício – caso base x alternativas	90
Tabela 4-22. Relação custo-benefício – caso base x alternativas – Categoria 1	91
Tabela 4-23. Relação custo-benefício – caso base x alternativas – Categoria 2	92
Tabela 4-24. Relação custo-benefício – caso base x alternativas – Categoria 3	93
Tabela 4-25. Relação custo-benefício – caso base x alternativas	94
Tabela 4-26. Desempenho energético x Relação custo-benefício	94

SUMÁRIO

1	<u>INTRODUÇÃO.....</u>	12
2	<u>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u>	15
2.1	USO DE ENERGIA EM EDIFICAÇÕES COMERCIAIS.....	15
2.2	INFLUÊNCIA DA COBERTA NO CONSUMO DE ENERGIA DE EDIFICAÇÕES	15
2.3	MÉTODOS DE QUANTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE COBERTURAS	20
2.4	ANÁLISE DE CUSTO X BENEFÍCIO.....	23
2.5	NORMAS E PRESCRIÇÕES PROJETUAIS.....	26
2.5.1	ASHRAE (2004B): 90.1 2004	27
2.5.2	GUIA AVANÇADO DE PROJETO PARA O USO EFICIENTE DE ENERGIA EM PEQUENOS ESCRITÓRIOS (<i>ADVANCED ENERGY DESIGN GUIDE FOR SMALL OFFICE BUILDINGS</i>), ASHRAE (2004A) 28	
2.5.3	NBR-15220-3: ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO E DIRETRIZES CONSTRUTIVAS PARA HABITAÇÕES UNIFAMILIARES DE INTERESSE SOCIAL.....	28
2.5.4	NBR-6401 – INSTALAÇÕES CENTRAIS DE CONDICIONADOR DE AR PARA CONFORTO – PARÂMETROS BÁSICOS DE PROJETO	30
2.5.5	REGULAMENTAÇÃO PARA ETIQUETAGEM VOLUNTÁRIA DE NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS (ELETROBRÁS/PROCEL 2008)	30
3	<u>METODOLOGIA.....</u>	32
3.1	SIMULAÇÕES	33
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO DE REFERÊNCIA	33
3.2.1	ENVOLTÓRIA	35
3.2.2	CARACTERIZAÇÃO DOS PADRÕES DE USO DA EDIFICAÇÃO.....	38
3.2.3	CONDICIONADOR DE AR E CONTROLE AMBIENTAL.....	38
3.2.4	OCUPAÇÃO (M ²) E CALOR LIBERADO POR PESSOAS(KCAL/H)	39
3.2.5	INFILTRAÇÃO E RENOVAÇÃO DE AR	39
3.2.6	ILUMINAÇÃO	39
3.2.7	EQUIPAMENTOS	40
3.2.8	DADOS CLIMÁTICOS	41
3.3	ANÁLISE DE SENSITIVIDADE	42
3.4	CARACTERIZAÇÃO DAS ALTERNATIVAS	43

3.5	CUSTOS.....	53
3.6	BENEFÍCIOS.....	54
3.7	CUSTO X BENEFÍCIO	54
4	<u>RESULTADOS E ANÁLISES.....</u>	<u>56</u>
4.1	ANÁLISE DE SENSITIVIDADE	56
4.2	CASO BASE	58
4.2.1	DESEMPENHO ENERGÉTICO.....	63
4.2.2	CARGAS TÉRMICAS	65
4.3	ALTERNATIVAS.....	69
4.3.1	CONSUMO TOTAL ANUAL POR ÁREA.....	71
4.3.2	CAPACIDADE DE RESFRIAMENTO INSTALADA	73
4.3.3	BARREIRA RADIANTE	73
4.3.4	ISOLANTE TÉRMICO.....	74
4.3.5	DIFERENÇA DE CONSUMO EM RELAÇÃO AOS MESES DO ANO	75
4.4	ANÁLISE DE SENSITIVIDADE X SIMULAÇÕES DAS ALTERNATIVAS	76
4.5	CUSTO.....	77
4.5.1	CÁLCULO DOS CUSTOS DO CASO BASE E ALTERNATIVAS	78
4.6	CUSTO X BENEFÍCIO	87
4.6.1	CATEGORIA 1	90
4.6.2	CATEGORIA 2	92
4.6.3	CATEGORIA 3	92
4.6.4	CATEGORIA 4	93
5	<u>CONCLUSÕES.....</u>	<u>95</u>
5.1	LIMITAÇÕES DO TRABALHO	96
5.2	CONSIDERAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	96
6	<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>98</u>
7	<u>APÊNDICES</u>	<u>102</u>
7.1	APÊNDICE 1. DEMONSTRATIVOS DE CÁLCULO DO CUSTO-BENEFÍCIO.	103
7.2	APÊNDICE 2. CUSTO DE CONDICIONADORES DE AR SPLIT.	120

1 INTRODUÇÃO

Esta pesquisa aborda a influência de diversos tipos de sistemas construtivos de cobertas no desempenho energético e na relação custo-benefício de edificações do tipo comercial para as condições climáticas da cidade do Natal/RN. Seu objetivo é analisar a relação custo-benefício de sistemas construtivos de cobertas disponíveis no mercado, levando-se em consideração o desempenho energético de edificações comerciais climatizadas artificialmente, visando o seu uso por projetistas e que seja adequado às condições climáticas da cidade de Natal/RN.

A importância do estudo de cobertas em Natal está relacionada com as cargas térmicas de resfriamento que devem ser removidas pelo sistema de condicionamento de ar ou pela ventilação. Comparada à radiação solar incidente nas fachadas verticais, frequentemente a radiação incidente no plano horizontal é o dobro da incidente nas fachadas Leste e Oeste, podendo atingir quatro vezes o valor da incidente no Norte e no Sul, segundo avaliação do arquivo climático TRY¹ de Natal.

A redução da carga térmica proveniente da cobertura pode ser obtida de diversas formas, entretanto sua viabilização depende dos custos envolvidos e dos benefícios proporcionados. Por um lado, a redução das cargas térmicas da cobertura pode reduzir a capacidade de resfriamento instalada e o uso do condicionador de ar, implicando em menores custos de aquisição, instalação, manutenção e principalmente operação (redução do consumo de energia elétrica), resultando num menor impacto ambiental. Entretanto, a redução das cargas térmicas indesejáveis podem implicar em sistemas construtivos mais caros do que os convencionais devido à aplicação de isolantes térmicos, superfícies refletivas, ou barreiras radiantes. Enquanto não se estabelece critérios locais para os benefícios ambientais voltados para a sustentabilidade, a relação financeira de custo-benefício pode ser um argumento para estimular o uso de cobertas com melhor desempenho térmico.

A importância da cobertura se destaca em diversas medidas de efficientização do uso de energia elétrica em edificações no Brasil e no mundo. Segundo Lamberts (1997b), dados de 1992 indicam que 42% da energia elétrica gasta no Brasil é proveniente do consumo em edificações, sendo 23% residenciais, 11% comerciais e 8% públicas. A adequação

¹ Test Reference Year (TRY) é o ano climático típico para avaliação de desempenho energético de edificações, obtido por GOULART et al (1998).

arquitetônica da edificação ao clima, conforme dados do Balanço Energético Nacional (BEN) apud Maciel (2002), é a maneira mais econômica de se investir em eficiência energética, sendo responsável por 5% no custo total e capaz de produzir economias de até 23%. Segundo Signor (1999), estima-se que edifícios com projetos adequados possam consumir em torno de 30% menos de energia do que outros que ofereçam níveis de conforto e utilização similares. De acordo com Pedrini (2003), o impacto sobre o consumo de energia em edificações comerciais climatizadas artificialmente pode ser maior, atingindo cerca de 70% de economia.

A decisão do tipo de cobertura pode ocorrer em diversos momentos do processo arquitetônico e por isso é importante que o projetista tenha consciência do seu impacto no desempenho energético da edificação, assim como a relação entre esse benefício e o aumento do custo (comparado com o sistema convencional).

Além de identificar os procedimentos de análise da relação custo - benefício de sistemas construtivos de coberturas disponíveis no mercado, este trabalho apresenta os seguintes objetivos específicos:

- identificar tipologia dominante para edifícios comerciais por meio do levantamento de sistemas construtivos mais comuns da região e outros com potencial de implantação;
- caracterizar termicamente materiais existentes no mercado da construção civil;
- realizar um estudo comparativo dos sistemas de coberturas escolhidos por meio da simulação térmica e energética por meio de um programa computacional;
- avaliar a influência da cobertura no consumo energético e no desempenho térmico de soluções arquitetônicas;
- obter a relação custo-benefício das alternativas de sistemas de coberturas em relação a um edifício com cobertura convencional.

A pesquisa se inicia com a revisão bibliográfica que destaca a importância da cobertura no desempenho energético de edificações, as diversas formas de avaliar seu impacto e suas características térmicas, como transmitância, absorvância e emissividade. Descrevem-se os métodos de quantificação e avaliação de desempenho de coberturas, dando-se ênfase às simulações computacionais, ferramenta escolhida para desenvolvimento deste trabalho. Também são apresentadas normas e prescrições projetuais, com destaques às recomendações de coberturas para o clima de Natal. Como critério de análise e classificação de desempenho de coberturas, é adotada a relação custo-benefício, comumente empregada em estudos de viabilização do Procel e de concessionárias de energia.

O capítulo 3 descreve o método, iniciando-se com caracterização de um modelo de edificação predominantemente horizontal, denominado caso base, sendo este a referência de comparação para as análises de outros sistemas de cobertas, denominados alternativas. O caso base e todos os demais modelos são simulados no programa computacional *Designbuilder*, que é uma interface gráfica do EnergyPlus. Em seguida, são criadas variações do caso base a partir de diferentes combinações de transmitância térmica e absorvância, que são as duas variáveis mais influentes no desempenho segundo a literatura. O objetivo é identificar a faixa de variação do consumo de energia que pode ser obtida com variações do sistema de cobertura, para comparar com os desempenhos das alternativas. As alternativas de sistemas de cobertura são criadas a partir de informações obtidas em lojas de construção civil, sítios eletrônicos, consulta a profissionais e trabalhos científicos apresentados na revisão bibliográfica. A caracterização considera o custo de implantação e as características para modelá-los no *DesignBuilder*. Os resultados das simulações das alternativas são empregadas no cálculo dos benefícios em relação ao caso base (relação custo-benefício ou RCB).

No capítulo 4 são apresentados os resultados das simulações, as análises e considerações.

No capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica se inicia com um breve resumo sobre o uso da energia em edificações comerciais, enfatizando resultados de trabalhos realizados no Brasil sob o enfoque da eficiência energética. Em seguida, destaca-se o impacto das propriedades térmicas de sistemas de cobertas no desempenho energético, como transmitância, absorptância e emissividade. São selecionadas referências com base em experimentação, simulação computacional e análises econômicas da relação custo-benefício.

2.1 USO DE ENERGIA EM EDIFICAÇÕES COMERCIAIS

Segundo Lamberts (2004), do total da produção nacional de energia elétrica, 19% são usados para edifícios comerciais e públicos: observando que iluminação e condicionamento de ar são os grandes usos finais da energia nesse setor.

Em Florianópolis, Toledo (1995) descreve uma amostra com média de 120 kWh/m² de consumo de energia ao ano, onde o condicionador de ar representa 50% deste valor no verão, chegando a 70% para edifícios envidraçados. A ordem de grandeza dessas medições e estimativas de campo são compatíveis com as simulações de Signor (1999) para Natal-RN, onde o consumo anual de energia varia entre 58 kWh.ano/m² e 265 kWh.ano/m², dependendo das características da edificação, dos ocupantes e dos equipamentos usados para climatização.

Similar variação é encontrada em edificação do setor hoteleiro em Natal. Lima (2006) descreve uma amostra de hotéis onde o consumo anual de energia varia entre 43 e 222 kWh.ano/m². Sua estimativa de uso final de energia é de 75% para condicionador de ar, 17% para equipamentos e 8% para iluminação.

2.2 INFLUÊNCIA DA COBERTA NO CONSUMO DE ENERGIA DE EDIFICAÇÕES

A cobertura absorve parte da radiação solar. Uma fração da energia absorvida é transmitida por condução para o ático, outra parte é perdida para o ar externo por meio de convecção e por irradiação. Portanto, o desempenho da cobertura pode ser influenciada por suas propriedades térmicas superficiais e internas, conforme os artigos selecionados a seguir.

O impacto do albedo ou da capacidade do material refletir a radiação solar é destacado em diversos artigos. Parker (1997) demonstrou que o uso da cobertura refletiva na Flórida representa uma opção atrativa para redução do consumo de energia de

climatização, proporcionando de 2 a 43% de economia. Foram modificados os albedos de nove casas monitoradas na Flórida entre 1991 e 1994. Este trabalho mostra que a economia da energia do resfriamento depende do nível de isolamento do forro e da refletância solar da cobertura, da localização do sistema de dutos de ar e do tamanho do condicionador de ar utilizado.

Simpson et al.(1997) avaliaram os efeitos da modificação do albedo da cobertura de protótipos com $\frac{1}{4}$ do tamanho real de uma construção, em Tucson no Arizona, por meio de medições no verão de 1990. Simulações computacionais também foram utilizadas para confirmar a economia de energia em construções de tamanhos reais. Coberturas brancas (0,75 – albedo; 0,98 - emissividade) foram até 20% mais frias do que as cinzas (0,30 – albedo; 0,94 - emissividade) ou prata (0,50 – albedo; 0,70 - emissividade) e até 30% mais frias do que as coberturas marrons (0,10 – albedo) no verão. Mesmo que a cobertura prata tenha sido mais refletiva que a cinza, suas temperaturas foram similares, indicando que houve uma compensação da diferença do albedo por meio do decréscimo da emissividade no caso da cobertura prata. Assim, o aumento do albedo de uma superfície pode não ser suficiente na redução do ganho térmico se a emissividade é reduzida simultaneamente.

Akbari (1999) avaliou a influência de coberturas refletivas e seus efeitos no consumo de energia de climatização, para construções comerciais e residenciais em 11 áreas dos Estados Unidos consideradas como áreas metropolitanas consolidadas. Os dados foram simulados no programa DOE-2 e os resultados comparados por meio da economia de energia gerada entre as diferenças nos modelos. A ênfase desse trabalho foi no uso da simulação computacional como método de obtenção de estimativas de consumo de energia das edificações estudadas. Os resultados obtidos levaram à conclusão de uma economia de energia da ordem de 2,6 TWh para as 11 metrópoles americanas analisadas, representando 194 milhões de dólares de economia anual. Extrapolando este valor para todos os Estados Unidos, esta economia anual atinge em torno de 10TWh e um valor monetário de 750 milhões de dólares em custo anual com energia.

Signor (1999) realizou simulações computacionais para obtenção dos consumos energéticos de edificações com diferentes características construtivas, de ocupação e de cargas internas para várias capitais brasileiras, inclusive Natal-RN. Foram analisadas transmitância térmica, absortância, relação de áreas de coberta e área total, área de fachadas, densidade de cargas térmicas, dentre outros. Desenvolveu-se uma biblioteca de materiais e procedimentos construtivos nacionais para se adequar o programa de simulação aos padrões da construção civil brasileira. Os resultados encontrados para Natal foram:

-
- variando-se os valores da absorvância da cobertura de 0,30 para 0,70 e permanecendo-se as outras características da edificação inalteradas, o consumo de energia aumenta 1,2% para a menor área de cobertura e 11,6%, para a maior área de cobertura analisada.
 - a variação de transmitância térmica da cobertura de 0,95 W/(m².K) para 4,54 W/(m².K) resultou no aumento de 1,8% do consumo de energia para a menor área de cobertura e 23,4% no caso de maior área de cobertura analisada;
 - a influência relativa das características da cobertura independe da relação de área de fachada por área construída nos casos de maior área da cobertura em relação à área total;
 - alterando-se os valores da absorvância de 0,30 para 0,70, há um aumento no consumo de energia em torno de 10%;

Al-Sanea (2002) comparou o comportamento térmico de elementos de cobertura de construções empregando um modelo de volumes finitos para avaliar seis variações de uma estrutura típica de cobertura usada na construção de edificações na Arábia Saudita. Os resultados indicaram que a inclusão de uma camada de 5 cm de poliestireno reduz o calor transferido pela cobertura a 1/3 do seu valor em uma idêntica seção de cobertura sem isolamento. Usando o poliuretano, este valor é reduzido para menos de 1/4. Um melhor desempenho térmico é conseguido pela localização desta camada de isolamento no lado interno da estrutura da cobertura, mas isto expõe a camada da membrana à prova d'água e a flutuações maiores na temperatura.

Lima (2006), em seu trabalho sobre o consumo energético no setor hoteleiro em Natal/RN, encontrou que na cobertura deve-se utilizar a transmitância térmica baixa somente nas situações em que a envoltória vertical estiver bem protegida. Nos casos em que existem ganhos térmicos consideráveis pelas paredes e esquadrias, as coberturas leves com absorvância baixa e transmitância alta são as mais apropriadas para facilitar a perda de calor da edificação à noite. O autor demonstrou que o aumento da transmitância térmica é linearmente proporcional ao aumento do consumo de energia (Figura 2-1). A redução máxima do consumo de energia devido às mudanças nas propriedades da cobertura foi de 18%, sendo que o consumo é menos influenciável para transmitâncias térmicas inferiores a 1,0 W/(m².K). Além disso, a influência da transmitância térmica foi menor nos meses de maio e junho.

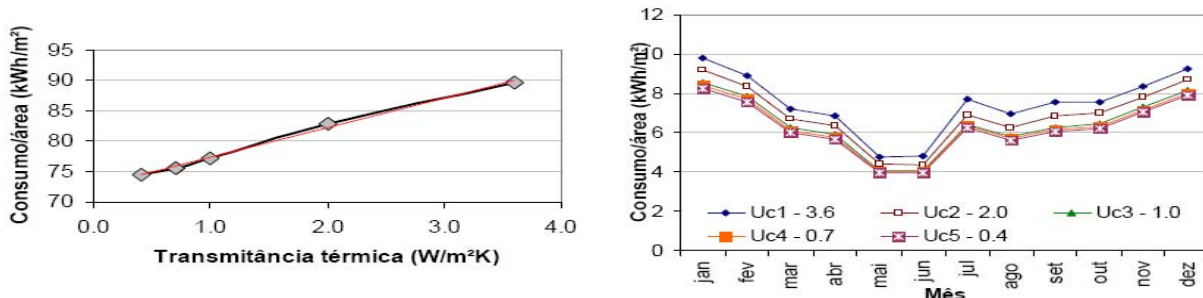


Figura 2-1. Relação transmitância da cobertura x consumo energético

Fonte: Lima (2006)

Lima (2006) também constatou um relação diretamente proporcional entre a absorvância e o consumo de energia elétrica. A variação entre 0,2 e 0,70 resultou no aumento de 13% (Figura 2-1). Observou-se que o consumo reduziu em até 6% se diminuída a transmitância da cobertura. Isto se deve, principalmente, nos casos onde houve o uso do vidro com baixo desempenho (WWR 70%) e ausência de sombreamento nas aberturas de janelas. Este estudo concluiu que, para a cidade de Natal/RN, transmitância térmica e absorvância da cobertura influenciam o consumo de energia elétrica entre 10 e 20%.

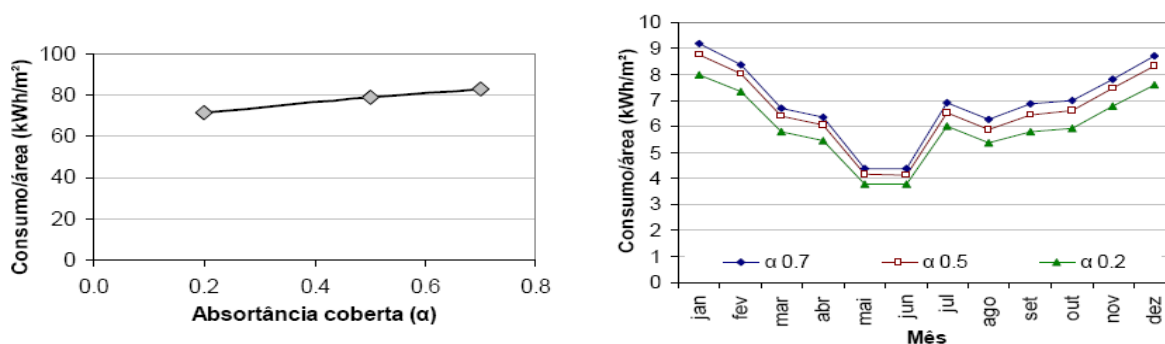


Figura 2-1. Relação absorvância da cobertura x consumo energético

Fonte: Lima (2006)

Chang et al. (2008), em estudos realizados em Taiwan, analisaram a cobertura tipo sanduíche incorporando RBS. Coberturas tipo sanduíche são muito eficazes como caminho para reduzir condução e convecção da transferência de calor da cobertura para o teto da construção; enquanto que o RBS é muito efetivo em bloquear a radiação da transferência de calor entre a cobertura e o teto. Desenvolveu-se protótipos e quantificaram o efeito da incorporação do RBS na economia de energia, assim como o custo de material e o custo de instalação. Como resultado, tem-se que uma dupla estrutura de cobertura formada por uma

placa e um forro de alumínio com poliestireno, pode ter bom desempenho em barrar o calor e é altamente recomendado para o clima analisado. É encontrada também relação entre inclinação da cobertura e ganho de calor: quando o ângulo de inclinação da cobertura do protótipo aumenta, o calor transferido para o interior e o valor da transmitância diminuem e o comportamento do isolamento térmico melhora. A inclinação para coberturas tipo sanduíche variam de 0° (cobertura horizontal) a 30°, resultando em diferenças de aproximadamente 40 a 53 W/m² no fluxo de calor para o interior.

Outra recurso para redução de carga térmica pela cobertura é o uso de uma barreira radiante (RBS). É uma fina membrana de material com baixa emissividade (frequentemente menor que 0,1) e alta refletividade (frequentemente mais alta que 0,9). A localização do RBS pode influenciar, segundo Miranville et al. (2003). Os resultados mostraram que a localização do RBS acima da massa de isolamento térmico melhora a condição térmica do ambiente. Porém, esta posição está mais vulnerável a sujeiras e deterioração do material e do seu comportamento. Áticos com RBS são menos suscetíveis à deterioração em climas com média da umidade relativa do ar de até 50%.

Soubdhan et al. (2005) descreveram a influência das RBS na transferência de calor quando elas são integradas ao envelope de uma construção e comparam sua eficiência com material de isolamento térmico tradicional (como poliestireno expandido). Quatro modelos foram analisados: o primeiro com poliestireno; o segundo com barreira radiante; o terceiro com lã de vidro e o último com material sem isolamento, que foi considerado como referência. Diferentes testes foram realizados para avaliar a influência dos parâmetros como absorvidade da cobertura e camada de ar de ventilação na redução do fluxo de calor por meio da cobertura. A redução do fluxo de calor em relação à RBS foi 37% para uma cobertura metálica branca e 33% para a preta. Sem ventilação, a barreira radiante é comparável com o poliestireno e fibra de vidro. Quando o ático é ventilado a barreira radiante proporciona melhor isolamento.

Simioni et al. (2003) também conclui que o uso da RBS melhora o desempenho térmico da cobertura e quando aplicada em uma face de espaço de ar, e que equivale a 2 cm de isolamento com poliestireno expandido. Comprovaram que o melhor lugar para o isolante é acima da laje de concreto, isolando-a para não acumular calor. Nesse caso, a opção por cores claras nas telhas é uma solução de baixo custo, devendo haver sempre a manutenção e limpeza das mesmas. Vittorino et al. (2003) mostram que a simples inserção de um forro com baixa emissividade nas suas duas faces, entre o telhado e o ambiente, reduz o fluxo de calor irradiado para o ambiente em 50%, em comparação com uma cobertura

sem forro. Entretanto constataram que a emissividade do material triplicou durante os sete meses, devido ao acúmulo de poeira.

A perda de propriedades superficiais também afeta a refletância. Bretz (1994) estudou os efeitos provocados pelo envelhecimento sobre 26 tipos de telhados, que, originalmente, apresentavam altas refletâncias. Concluiu que estes efeitos dependem do tipo de revestimento, de sua textura, da inclinação da cobertura e da proximidade de fontes de sujeira. A maior redução da refletância, em torno de 20%, ocorre no primeiro ano. Após o segundo ano, os decréscimos passam a ser pequenos, reduzindo entre 10 e 20% a economia originalmente estimada de energia pelo uso da alta refletância. A lavagem periódica das superfícies pintadas pode restabelecer entre 90 e 100% da refletância original.

A geometria da coberta também pode influenciar. Runsheng et al. (2003) analisaram a radiação térmica absorvida por coberturas curvas comparada com coberturas planas, em Israel, onde essas coberturas são muito usadas. Foram calculadas as insolações absorvidas por estas coberturas e comparadas com as absorvidas por coberturas planas, baseada na dependência angular da absorvância e geometria solar, enfatizando que a absorvância solar de uma superfície depende do ângulo de incidência dos raios solares e das suas propriedades. Os autores concluíram que coberturas curvas absorvem mais radiação total que seu correspondente em cobertura plana. Porém, o calor recebido permanece na área curva da cobertura, não sendo transferido para o interior da edificação. Destaca-se que cobertas inclinadas acumulam menos sujeira, mantendo por mais tempo as propriedades superficiais. Bretz (1994) estudou os efeitos provocados pelo envelhecimento sobre 26 tipos de telhados, que, originalmente, apresentavam altas refletâncias. Concluiu que estes efeitos dependem do tipo de revestimento, de sua textura, da inclinação da cobertura e da proximidade de fontes de sujeira. A maior redução da refletância, em torno de 20%, ocorre no primeiro ano. Após o segundo ano, os decréscimos passam a ser pequenos, reduzindo entre 10 e 20% a economia originalmente estimada de energia pelo uso da alta refletância. A lavagem periódica das superfícies pintadas pode restabelecer entre 90 e 100% da refletância original.

2.3 MÉTODOS DE QUANTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE COBERTURAS

De acordo com Pedrini (1997), a avaliação do desempenho térmico e energético de cobertas pode ser feita por meio de medições de campo, experimentações, cálculos manuais e por meio de simulações computacionais. As simulações apresentam muitas vantagens em relação aos demais métodos. São mais flexíveis que medições “in loco”,

trabalha-se com períodos anuais, o custo é baixo se comparado com as medições; os resultados são mais rápidos e se consegue testar um maior número de alternativas. Entretanto, simulações também possuem desvantagens em relação aos outros métodos: podem apresentar incertezas decorrentes dos modelos físicos empregados no programa; da modelagem da edificação e das características do arquivo climático .

Os programas computacionais mais difundidos são o DOE e sua interfaces, como o *VisualDOE*, e o *EnergyPlus* com sua interface *DesignBuilder*. O método mais comum de análise é a mudança de valor de apenas uma variável de um determinado caso base ou de referência, como empregado por Signor (1999), Pedrini (2003) e Oliveira (2006), que abordaram a influência da transmitância e da absorptância em todos os elementos que compõem a envoltória da edificação.

Os modelos de simulação são abstrações formadas por uma grande quantidade de variáveis com o objetivo de reproduzir as características de uma determinada edificação (real ou fictícia) e seu comportamento frente a situações específicas (PEDRINI, 1997). Os principais aspectos que devem ser definidos na modelagem do caso base são:

- forma (desenho e tamanho do modelo);
- função (rotinas de uso);
- envoltória externa (alvenaria, cobertura, elementos de sombreamento, tipo de vidro, etc);
- instalações (incluindo sistema de condicionamento térmico, energia, iluminação e equipamentos).

Os modelos são caracterizados por meio da declaração de variáveis que reproduzem as características do objeto estudado e do tipo de análise desejada (que implica em simplificações), assim como do entendimento do modelador (usuário do programa que modela o edifício). Como o processo é suscetível de inúmeras influências que podem comprometer a fidelidade dos resultados, é importante que o modelador disponha de recursos de calibração, como registros de uso, de consumo e de demanda de energia elétrica, de temperaturas de controle, dentre outros (PEDRINI, 1997). Durante a calibração do modelo, o pesquisador deve analisar o comportamento das diferenças mensais e tentar identificar as relações de ocorrência. No geral, os principais fatores que interferem na modelagem estão associados aos valores definidos automaticamente pelo programa, às limitações de modelagem e às incertezas dos dados de entrada (disponibilidade e confiabilidade) (PEDRINI, 2003).

Segundo Strachan apud Pedrini (2003) o número de incertezas na simulação paramétrica pode ser reduzido a partir de uma abordagem sensitiva que leve em conta cinco aspectos básicos:

- Realismo do modelo: em que nível de detalhamento o modelo representa a realidade? Ou seja, qual a diferença entre o desempenho real da edificação e aquele simulado;
- Parâmetros de entrada: verificar a confiabilidade dos dados e a atribuição correta de valores na falta de certas características;
- Processos: para qual limite as suposições feitas consideram os efeitos do clima futuro, ocupação e fatores operacionais na simulação?
- Capacidades do programa de simulação: quais incertezas estão associadas ao programa escolhido? Em alguns casos deve-se considerar o uso de ferramentas alternativas, mais apropriadas para etapas específicas;
- Variáveis do projeto: medir as conseqüências de cada mudança no projeto. Deve-se organizá-las a partir de alterações sucessivas na simulação paramétrica verificando a sensibilidade de cada variável.

As simulações computacionais foram usadas para a elaboração de algumas normas e diretrizes, como a publicação Especificações de Etiquetagem Voluntária – Procel/2008. Esta regulamentação cita pré-requisitos para aceitação de simulação computacional: o programa de simulação termo-energética deve possuir, no mínimo, as características de ser um programa para análise do consumo de energia em edifícios; ser validado pela ASHRAE Standard 140; modelar 8760 horas por ano; modelar variações horárias de ocupação, potência de iluminação e equipamentos e sistemas de condicionador de ar, definidos separadamente para cada dia da semana e feriados; modelar efeitos de inércia térmica; permitir a modelagem de multi-zonas térmicas; ter capacidade de simular as estratégias bioclimáticas adotadas no projeto; produzir relatórios horários de uso de energia. Quanto ao arquivo climático adotado na simulação, este deve fornecer valores horários para todos os parâmetros relevantes requeridos pelo programa de simulação, tais como temperatura e umidade, direção e velocidade do vento e radiação solar. O arquivo climático também deve ser representativo para a zona climática do projeto.

2.4 ANÁLISE DE CUSTO X BENEFÍCIO

A relação custo-benefício (RCB) considera os custos e os benefícios totais de uma ou mais ações. Os valores de entrada são medidos em termos de custos de oportunidades, que corresponde ao valor em sua melhor alternativa de uso. O processo envolve valores monetários do custo inicial e de manutenção x retorno esperado (benefício). Na prática, os analistas tentam estimar os custos e os benefícios usando métodos descritivos ou desenhando inferências do comportamento de mercado.

Se um projeto tiver mais de um uso final (como iluminação, climatização, equipamentos, dentre outros) cada um desses usos finais deverá ter a sua RCB calculada individualmente. Deverá também ser apresentada a RCB global do projeto por meio da média ponderada das RCBs individuais. Os pesos serão definidos pela participação percentual da energia economizada em cada uso final. A avaliação econômica do projeto será feita por meio do cálculo da relação custo-benefício (RCB) de cada uso final.

De acordo com estudos realizados na *San José State University – Department of Economics*, um dos problemas do RCB está em reunir os muitos itens de benefícios e custos intuitivamente, havendo outros em que a intuição pode falhar. Assim, sugerem-se métodos de medidas e alguns princípios básicos são mencionados como um guia:

- deve haver uma unidade comum de medida: os aspectos positivos e negativos de projeto devem ser expressos em termos de unidade comum, sendo a mais usada o dinheiro – isto significa que todos os benefícios e custos de projeto devem ser medidos em termos de seu valor equivalente em dinheiro;
- a época deve ser determinada, levando-se em consideração a inflação do período;
- o impacto de uma proposta é a diferença entre o que ela proporciona em relação a um caso de referência;

De acordo a metodologia proposta no Projeto 6 cidades, também utilizada no trabalho de Westphal (2002), deve-se:

- estimar o percentual de consumo para o condicionamento de ar, iluminação e demais equipamentos elétricos, com o consumo energético medido por meio de simulação computacional;

- montar um fluxo de caixa em planilha eletrônica, detalhando os custos de manutenção (gastos com reposição, limpeza, reparos do sistema e conta de energia elétrica do prédio);
- estimar o período de estudo (mínimo múltiplo comum) da vida média dos componentes do sistema;
- representar o fluxo de caixa em valores presentes de todas as capitalizações: por meio da taxa mínima de atratividade (TMA), custo de oportunidade ou taxa de desconto (aquela paga pelo mercado financeiro em investimentos correntes (poupança, por exemplo)).

As análises também podem ser feitas por meio do retorno (*payback*) simples (custo com implantação da medida/redução obtida na conta de energia) e do retorno corrigido, no período que considera a taxa de desconto na qual o investidor poderia ter aplicado o seu capital a juros e a diferença entre os custos de manutenção dos sistemas.

A forma mais freqüente de análise é a anualização dos custos, frequentemente adotada pelas concessionárias de energia e pela Eletrobrás em seu Programa de Eficiência Energética em Edificações, que consiste em:

$$RCB = \frac{\text{custos anualizados}}{\text{benefícios anualizados}} \quad (1)$$

onde os custos anualizados são calculados por camadas de materiais dos sistemas de coberta:

$$CA_{TOTAL} = \sum CA_{equip1} + CA_{equip2} + \dots + CA_{equip n} \quad (2)$$

sendo:

$CA_{equip n}$: custo anualizado por camada de material com mesma vida útil, obtidos por meio de:

$$CA_{equip n} = CPE_{equip n} \times FRC \quad (3)$$

CPE_{equipn} : custo das camadas de material com a mesma vida útil, acrescido da parcela correspondente aos outros custos diretos e indiretos. Esta parcela é proporcional ao percentual do custo da camada de material em relação ao custo total com materiais, obtido por:

$$CPE_{equipn} = CE_{equipn} + \left[(CT - CTE) \times \frac{CE_{equipn}}{CTE} \right] \quad (4)$$

FRC: fator de recuperação de capital, obtido por:

$$FRC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (5)$$

onde:

CE_{equipn} : custo somente de camada de material com mesma vida útil

CT : custo total do projeto (custos diretos + custos indiretos)

CTE : custo total somente das camadas de materiais

n : vida útil (em anos)

i : taxa de juros (taxa de desconto)

Para os benefícios, tem-se:

$$B = (EE \times CEE) + (RDP \times CED) \quad (6)$$

onde:

EE - Energia Economizada (MWh/ano)

CEE - Custo Evitado de Energia (R\$/MWh)

RDP - Redução de Demanda na Ponta (kW)

CED - Custo Evitado de Demanda (R\$/kW)

2.5 NORMAS E PRESCRIÇÕES PROJETUAIS

Há normas e diretrizes que podem ser teoricamente aplicadas ao projeto de edificações em Natal. As limitações e potenciais ainda precisam ser testadas. Segundo Hui (2003), a existência de normas para redução de consumo energético e controle de propriedades da envoltória permite um controle maior sobre o projeto do edifício, e estimula as decisões voltadas para o melhoramento da sua eficiência e operação. Entretanto, algumas destas prescrições não apresentam concordância com as condições climáticas e realidade construtiva locais, sendo incompatíveis com a prática projetual.

As normas de análises podem ser prescritivas ou comparativas. As prescritivas são as que estão associadas com as recomendações, como transmitância térmica e absorvância; sendo que, para o clima quente e úmido, as principais normas que possuem recomendações são a ASHRAE 90.1 e NBR-15220, caracterizando também os sistemas construtivos. A norma 90.1 apresenta exigências mínimas de eficiência para o projeto e construção de edificações e sistemas. Sua aplicação é recomendada para edifícios não residenciais climatizados artificialmente. O documento fornece valores mínimos ou máximos referentes não somente à envoltória, mas aos sistemas de climatização e iluminação do edifício.

Já a NBR-15220 apresenta "(...) recomendações quanto ao desempenho térmico de habitações unifamiliares, de interesse social aplicáveis na fase de projeto." Conforme Lamberts (1999), a proposta consta de:

1. Classificação do clima por meio da aplicação de uma adaptação da carta de Givoni;
2. Identificação de zonas bioclimáticas;
3. Elaboração de recomendações construtivas para cada zona;

Estas duas normas prescritivas foram selecionadas dentro do material pesquisado, por serem as mais significativas e relevantes em nível mundial e nacional, respectivamente. Todavia, a comparação entre os dois documentos é impossibilitada pela divergência de propósitos: enquanto que a ASHRAE (2004b) é destinada a edifícios não-residenciais e climatizados artificialmente, a NBR-15220 se detém às habitações de interesse social.

Outra norma prescritiva relevante ao é a NBR-6401 - norma que estabelece as bases para a elaboração de projetos de instalações de unidades com capacidade individual a partir de 9000 Kcal/h (unidade descrita na norma), tendo sido regulamentada em 1980.

As normas comparativas são empregadas na classificação do desempenho energético das edificações, como o sistema australiano “Greenhouse Rating Scheme Methodology” (BANNISTER, 1999) e, no Brasil, a Regulamentação para etiquetagem voluntária de nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (ELETROBRÁS/PROCEL-2008).

2.5.1 ASHRAE (2004b): 90.1 2004

Dentre as normas internacionais, a 90.1 da ASHRAE é pioneira e provavelmente a mais conhecida internacionalmente. Sua primeira edição é de 1975, seguida por revisões em 1980, 1989, 1999 e 2004. A norma apresenta exigências mínimas de eficiência para o projeto e construção de edificações e sistemas. Ela contempla edifícios não residenciais climatizados artificialmente e limita as características de envoltória para um nível mínimo de aceitação, assim como para os sistemas de climatização e iluminação da edificação.

Todas as recomendações referentes às propriedades da envoltória na norma estão associadas a oito zonas climáticas norte-americanas, conforme a Figura 2-6. A norma extrapola suas recomendações para outros países baseando-se no zoneamento climático americano. No entanto, percebe-se que a relação entre as zonas climáticas da norma e o clima dos demais países por elas representados parece generalista, tornando sua aplicação questionável. Os climas do Brasil, por exemplo, são representados apenas pelas zonas 1 (Belém, Fortaleza, Recife, Salvador e Rio de Janeiro) e 2 (Brasília, Porto Alegre e São Paulo). Embora a cidade de Natal não seja mencionada na norma, as recomendações da zona 1 também podem ser estendidas a ela.

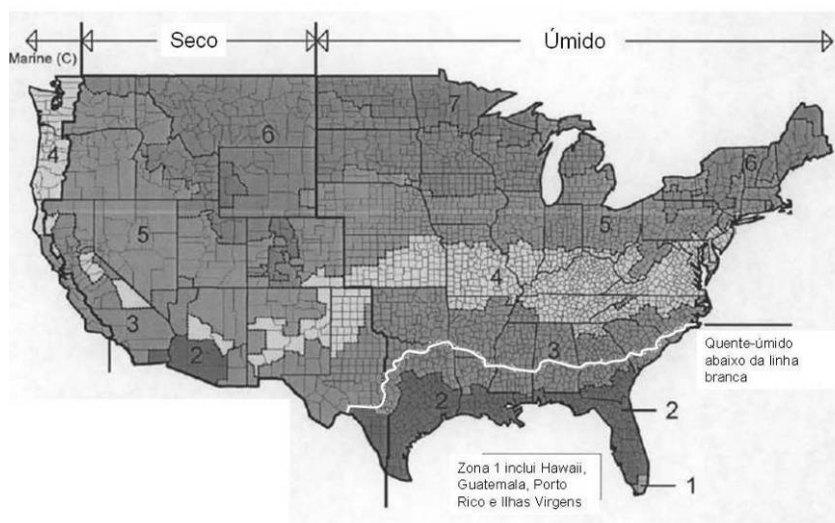


Figura 2-2. Mapa de zoneamento climático proposto para os Estados Unidos

Fonte: Ashrae (2004).

As prescrições da norma são realizadas por meio de índices pouco familiares ao arquiteto, muitos deles desconsiderados no processo projetual local. Não há descrições de sistemas construtivos ou qualquer outro tipo de referência familiar ao projetista local. A envoltória é tratada por meio de um conjunto de 8 tabelas (uma para cada zona bioclimática) que estabelecem valores máximos de transmitância térmica (U), e de resistência térmica (R) para superfícies opacas (cobertas, paredes, pisos e portas) e translúcidas (vertical e horizontal).

As recomendações de transmitâncias térmicas de cobertura para climas similares ao de Natal são entre 0,192 e 0,360 W/m²K para todas as edificações comerciais, e a absorptância máxima é 35%.

Apesar das limitações da *Standard* 90.1, a norma tem servido de base para alguns códigos e recomendações internacionais e agora nacionais.

2.5.2 Guia avançado de projeto para o uso eficiente de energia em pequenos escritórios (*Advanced Energy Design Guide for Small Office Buildings*), ASHRAE (2004a)

Trata-se de um guia voltado para o projeto com base na norma 90.1, cujo objetivo é a redução de consumo de até 30% em relação ao prescrito pela 90.1. O guia apresenta limitações similares, como o mesmo tipo de zona climática, o fator de projeção de proteções solares, a valorização do isolamento térmico, e a pouca relação com a realidade construtiva brasileira quanto aos valores das transmitâncias térmicas dos materiais.

O guia apresenta recomendações que compreendem desde a seleção da equipe (pré-projeto) até o uso do edifício (operação), contendo tabelas com índices normativos por meio de prescrições relacionadas de acordo com as zonas climáticas também constantes na ASHRAE (2004b). Percebe-se que a (ASHRAE, 2004a) é mais voltada ao projetista e suas prescrições consideram o processo de projeto, cujo produto final é o edifício.

2.5.3 NBR-15220-3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes construtivas para Habitações Unifamiliares de interesse social

A NBR-15220-3 apresenta "(...) recomendações quanto ao desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social aplicáveis na fase de projeto". Esta norma classifica o clima das diversas regiões do país por meio da aplicação de uma adaptação da carta de Givoni; subdivide o Brasil em 8 zonas bioclimáticas, elaborando recomendações

construtivas para cada zona. A zona 8 corresponde à cidade de Natal e ocupa 53% do território nacional, conforme a figura 2-6.

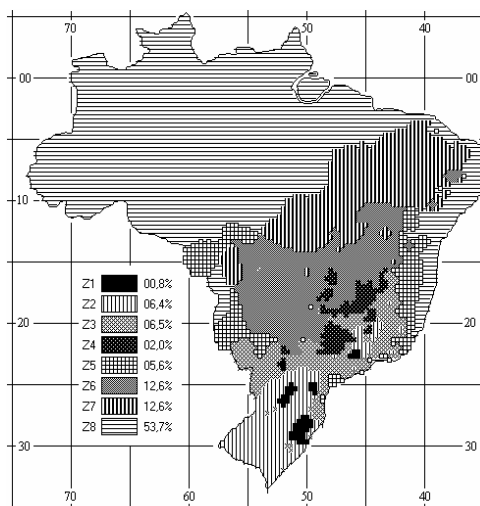


Figura 2-3. Mapa de zoneamento climático brasileiro

Fonte: NBR-15220-3

As prescrições para Natal consiste de cobertas leves e refletoras, transmitância térmica inferior a 2,30 W/m²K para áticos não ventilados, atraso térmico inferior ou igual a 3,3 horas e fator de calor solar inferior a 6,5% (Tabela 2-4). Como o atraso térmico é considerado baixo, o desempenho está condicionado à transmitância e à absorvância térmica.

Tabela 2-4. Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de cobertura

Vedações externas		Transmitância Térmica - U W/m ² .K	Atraso Térmico - φ Horas	Fator de Calor Solar - FCS %
cobertas	Leve refletora	U ≤ 2,30	φ ≤ 3,3	FCS ≤ 6,5

Fonte: NBR-15220

Por comparação, uma cobertura de fibrocimento com forro de concreto apresenta U= 2,25 W/m².K e φ = 2,6h e uma cobertura de telha de barro com 5 cm de lã de vidro sobre forro de madeira apresenta U= 0,62 W/m².K e φ = 3,1h (VENÂNCIO, 2007).

As prescrições para fechamentos opacos são vinculadas a sistemas construtivos usuais, dentre os quais o projetista pode escolher aquele que mais corresponde às necessidades do projeto. Sob esse aspecto, a norma brasileira é de fácil entendimento, além de ser bem ilustrada.

2.5.4 NBR-6401 – Instalações centrais de condicionador de ar para conforto – Parâmetros básicos de projeto

A NBR-6401 é a norma que estabelece as bases fundamentais para a elaboração de projetos de instalações de unidades com capacidade individual a partir de 9000 Kcal/h, tendo sido regulamentada em 1980. As condições estabelecidas nesta norma são as de aprovação de projetos, com base em recomendações ASHRAE da década de 70. Destacam-se.

- condições internas para verão e inverno;
- quantidade de ar exterior para renovação;
- valores para ocupação dos recintos;
- energia dissipada pelas luminárias, classificando por nível de iluminação, local e tipo de luminária utilizada;
- calor liberado por pessoas.

2.5.5 Regulamentação para etiquetagem voluntária de nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (ELETROBRÁS/Procel 2008)

A regulamentação foi elaborado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da UFRN, no âmbito do programa Procel EDIFICA. Ela apresenta os requisitos técnicos necessários para a classificação do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos, visando a etiquetagem voluntária, com foco na eficiência energética para edificações comerciais e públicas.

Esta regulamentação inclui três requisitos principais: eficiência e potência instalada do sistema de iluminação, eficiência do sistema de condicionamento do ar e o desempenho térmico da envoltória do edifício. Este regulamento aplica-se para edifícios com área total útil mínima de 500m² e/ou com tensão de abastecimento superior ou igual a 2,3KV (subgrupos A1, A2, A3, A3a e A4), incluindo edifícios condicionados, parcialmente condicionados e naturalmente ventilados. São atribuídos pesos para os três itens citados acima (sistema de iluminação = 30%; sistema de condicionamento de ar = 40%; envoltória = 30%). Os níveis de eficiência variam de A (mais eficiente) a D (menos eficiente).

Quanto às recomendações, para a cobertura para atingir a classificação máxima (nível A), são obrigatórios os seguintes pré-requisitos para a zona bioclimática de Natal:

-
- em coberturas não aparentes, utilização de cor de absorvância solar baixa, inferior a 0,4, telhas cerâmicas não esmaltadas ou teto jardim;
 - transmitância térmica da cobertura inferior a 2,00 W/(m².K) , para ambientes não condicionados; e inferior a 1,00 W/(m².K) para ambientes condicionados;

Para se obter o nível B, permanecem todos os pré-requisitos acima, apenas modificando o limite para transmitância da cobertura para ambientes condicionados, que não deve ultrapassar 1,5 W/(m².K);

Para se obter o nível C e D, a transmitância térmica da cobertura, seja para ambientes condicionados artificialmente ou não, não deve ultrapassar 2,00 W/(m².K).

3 METODOLOGIA

O método de avaliação do custo-benefício de sistemas de cobertura consiste de seis etapas:

1. Caracterização e simulação da edificação de referência. Esta etapa consiste inicialmente em identificar um modelo de edificação representativa para o tipo escolhido, a exemplo de Signor (1999). Este é modelado no programa computacional *DesignBuilder* e seu desempenho é adotado como referência de comparação para as modificações dos tipos de cobertas.
2. Análise de sensibilidade. Consiste de variações do caso de referência que combinam diversas transmitâncias e absortâncias de sistemas de cobertura. Os resultados são usados para auxiliar a seleção de sistemas de cobertas e para auxiliar as análises de resultados das alternativas de cobertura e confirmar tendências apontadas por Bretz (1997), Simpson (1997), Venâncio (2007), dentre outros.
3. Levantamento, caracterização e simulação de alternativas de sistemas construtivos de cobertas. Essa etapa faz uso de informações obtidas em referências bibliográficas e consulta ao mercado da construção civil para reproduzir as características dos sistemas construtivos e simular seus impactos no consumo de energia elétrica na edificação.
4. Quantificação dos custos de implantação. Calculam-se os custos dos materiais utilizados em sistemas de cobertas, tomando-se como base os estudos de Chang (2008) e Levinson (2005).
5. Quantificação dos benefícios das alternativas em relação ao caso base. Os benefícios das alternativas de cobertas são quantificados por meio da redução do consumo de energia elétrica usada no resfriamento do ar interno, assim como na diferença de dimensionamento dos condicionadores de ar.
6. Análise custo-benefício. Calcula-se a razão entre o custo e o benefício.

3.1 SIMULAÇÕES

O programa *Designbuilder* foi selecionado para simular o consumo energético e capacidade de resfriamento dos condicionadores de ar. Trata-se de uma interface gráfica com recursos mais intuitivos, que executa o algoritmo de cálculo do *EnergyPlus* (DESIGNBUILDER, 2005). Esta combinação proporciona confiabilidade dos resultados, rapidez e fidelidade de modelagem. Há vários usuários locais, uma biblioteca nacional de materiais construtivos, e arquivos climáticos horários brasileiros, incluindo Natal.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO DE REFERÊNCIA

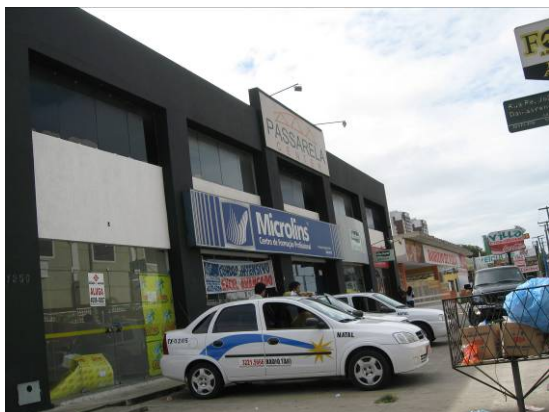
A caracterização da edificação denominada de caso base iniciou-se com a pesquisa de campo e levantamento fotográfico, onde se procurou uma tipologia representativa na construção civil dos últimos 5 anos e que atendessem à horizontalidade construtiva em ambientes comerciais e climatizados artificialmente. Estas características adotadas no caso base se justificam pelo crescente uso em Natal (Figura 3-4), cujo sistema de cobertura pode ter significativa influência no desempenho energético (horizontalidade). As causas desta tendência construtiva na cidade decorrem da facilidade de execução; da flexibilidade para uso e adaptação para diversos setores; da redução do custo e do tempo de execução quando comparado aos outros sistemas construtivos.

Foram realizadas entrevistas informais e observações “*in loco*” para se obter o sistema de cobertura mais usual nestas edificações, assim como as suas características construtivas internas (piso, parede, disposição dos ambientes, dentre outras). O tipo de aparelhos de sistemas de refrigeração mais utilizado nestas edificações também foi determinado por meio de entrevistas a vendedores destas lojas e observações gerais ao longo da pesquisa.

O levantamento fotográfico (Figura 3-1 e Figura 3-2) ilustra as características externas comuns às construções pesquisadas. Após esta constatação em campo da tendência tipológica de um modelo de pequenos centros comerciais horizontalizados, criou-se um modelo hipotético onde adotou-se as características construtivas encontradas na maioria destes estabelecimentos comerciais:

- fachadas principais envidraçadas;
- pé direito duplo na área de vendas e atendimento;
- paredes externas pintadas com cores claras;
- cobertas compostas de telhas de fibrocimento onduladas e forro de gesso;

- o lojas geminadas;
- o cobertas sem beiral frontal, com platibanda;
- o existência de mezanino na parte posterior da edificação;
- o climatização artificial;
- o presença de ático não ventilado.



Av. Sen. Salgado Filho



R. João Damasceno



Av. Hermes da Fonseca



Av. Afonso Pena



Av. Rui Barbosa



Av. Sen. Salgado Filho

Figura 3-1. Fotos de edificações do tipo escolhido na cidade de Natal/RN.



Av. Nascimento de Castro

Av. Prudente de Moraes

Figura 3-2. Fotos de edificações do tipo escolhido na cidade de Natal/RN (continuação).

Dessa forma, a edificação tomada como caso base neste trabalho é do tipo horizontal, uso comercial e climatizada artificialmente; e está dividida em quatro estabelecimentos comerciais distintos, em construção geminada; com forma de disposição, apresentação e venda de produtos; número de funcionários e número de clientes de acordo com cada ramo de atividade. Devido à esta flexibilidade de uso e incertezas na coleta destes dados para a formação do caso base e alternativas, optou-se por usar dados normativos que se referem à parâmetros básicos de projeto para conforto térmico, por meio das normas NBR-6401, ASHRAE e ABNT (NBR-15220).

3.2.1 Envoltória

O caso base corresponde a um de centro comercial térreo, com quatro lojas geminadas, com primeiro pavimento em parte da loja, com área construída total de 600 m², com fachadas envidraçadas voltadas para o Sul², e platibandas sem beirais em três fachadas (Figura 3-3). Na fachada posterior, há um beiral de 1m na coberta. As dimensões da edificação são 28,15m x 17,80m. Com o acréscimo do beiral posterior, a medida geral da área de telhas passa a ser 28,15m x 18,80m.

Cada loja está dividida em zonas que englobam área de estoque de mercadoria não climatizado artificialmente (área construída = 25m², pé direito de 2,50m), escritório interno climatizado artificialmente (área construída = 25m²; pé direito de 2,50m), salão de vendas

² A definição da orientação não tem influência relativos dos resultados porque ela se mantém para o caso base e as alternativas. Esta tendência foi confirmada por meio de simulação do caso de referência e uma das alternativas posicionadas em outra orientação (Leste).

climatizado artificialmente (área construída = 100m²; pé direito duplo= 5m) e áticos não ventilados da cobertura. Estes áticos não ventilados são considerados sempre desocupados e sem climatização artificial. Assim, cada loja possui área construída total de 150m².

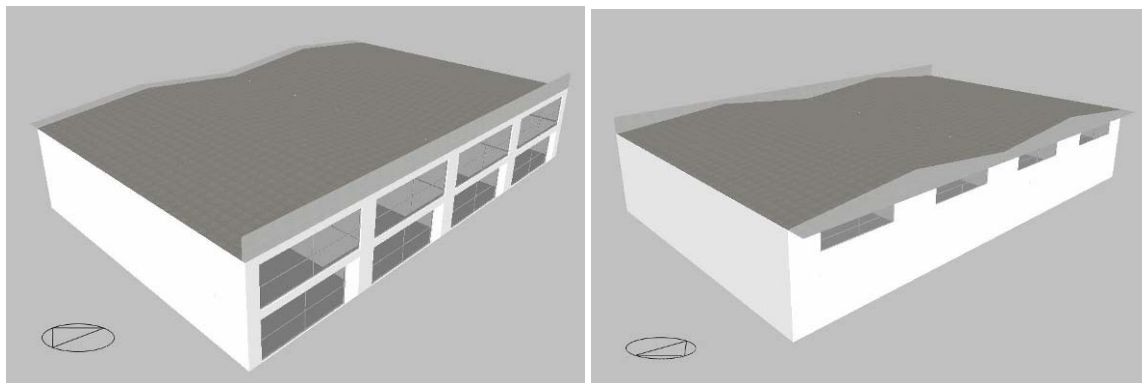


Figura 3-3. Fachadas frontal (Sul) e lateral (Oeste), e fachadas lateral (Leste) e posterior (Norte),

O sistema construtivo apresenta estrutura pré-moldada, alvenaria de tijolos de 8 furos com reboco, emassamento e pintura nos dois lados; esquadrias em blindex, ocupando praticamente toda a fachada frontal; com paredes pintadas na cor branco neve (absortância de aproximadamente 20%), por dentro e por fora, com blindex transparente na fachada frontal com fator solar de 80% e fator de transmissão de luz visível de 87%.

A cobertura é em duas águas, com telhas de fibrocimento onduladas de 8 mm de espessura, de absortância 0,60 com inclinação de 10% e forro em placas de gesso de 50cm x 50cm (2 cm), instaladas com apoios metálicos no madeiramento de sustentação das telhas. O ático não ventilado, ou seja, a câmara de ar não ventilada formada entre a telha e o forro, possui altura de cumeeira de 70 cm. A absortância do sistema de coberta do caso base foi obtido de Ferreira (2003) que apresentou resultados da medição do albedo ou refletância dos materiais utilizados em coberturas no Brasil, nos momentos que antecederam sua instalação, utilizando um espectrofotômetro com esfera integradora (Tabela 3.1).

A absortância do sistema de coberta do caso base foi confirmada por meio do método da medição de refletância de superfícies internas, com o auxílio de luxímetros portáteis e de uma folha de papel branco. Estas medições das luminâncias foram realizadas em telhas de fibrocimento dos corredores do Setor IV do Campus da UFRN (superfície da telha voltada para baixo), utilizando fotocélula voltada para a superfície, afastada 10 cm. Primeiramente, mediu-se a iluminância de um ponto da superfície e depois desse mesmo ponto coberto pelo papel branco. Admitindo que a refletância do papel branco é 90%, a refletância da superfície é determinada por meio de uma proporção:

$$\rho_{\text{sup}} = 90 \times E_{\text{sup}} / E_{\text{pb}} \quad (7)$$

onde ρ_{sup} = refletância da superfície;

E_{sup} = iluminância da superfície;

E_{pb} = iluminância do papel branco;

$$\alpha = 1 - \rho_{\text{sup}}. \quad (8)$$

Tabela 3-1. – Refletância de superfícies mais comuns.

MATERIAIS	ρ (refletância)	$\alpha = \rho - 1$
Fibrocimento sem amianto	39,35	60,75
Alumínio com pintura (marfim-cerâmica asteca)	58,60 – 29,11	41,40 – 70,89
Alumínio sem pintura	73,19	26,81
Aço galvanizado com pintura (branca – cerâmica)	60,82 – 20,30	39,18 – 79,70
Aço galvanizado sem pintura	72,64	27,36
Metal com banho de alumínio/zinco	68,42	31,58
Metal termoacustico na cor alumínio	69,72	30,28
Metal termoacustico na cor verde	63,39	36,61
Metal termoacustico na cor branca - cerâmica	62,54 – 52,24	37,46 – 47,76

Fonte: Ferreira (2003)

As dimensões das telhas empregadas são de 1,10 x 2,44 m, suportadas por três apoios (cada telha) de estrutura de madeira. A transmitância total da cobertura do caso base é de $U = 2,0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, calculada pela norma NBR-15220; absorvância de 0,60 e emissividade 0,90 (Tabela 3-1).

Tabela 3-2. Resumo das características construtivas do caso base

ITEM CONSTRUTIVO	DESCRIÇÃO
Estrutura	premoldada em concreto pintado de branco
Coberta	telha de fibrocimento ondulada de espessura 8mm com forro de gesso e ático não ventilado
Paredes	alvenaria de tijolos de 8 furos com reboco, emassamento e pintura branca dos dois lados
Piso	concreto aparente
Esquadrias externas	blindex transparente
Esquadrias internas	em madeira

3.2.2 Caracterização dos padrões de uso da edificação

Os padrões de uso e ocupação foram estimados por meio de observações em lojas e entrevistas com funcionários, resultando no horário de funcionamento das 8:30 às 18:30 horas, de segunda a sexta-feira. Aos sábados, o funcionamento é das 8:30 às 12:30; sendo que, no mês de dezembro, o horário dos sábados é estendido, ficando igual aos outros dias (8:30 às 18:30 horas).

3.2.3 Condicionador de ar e controle ambiental

De acordo com recomendações contidas na tabela 1 – Condições internas para o verão da NBR-6401 (1980), para as lojas de curto tempo de ocupação é recomendável uma temperatura de bulbo seco (TBS) de 24 a 26°C, com umidade relativa (UR) de 40 a 60%. Para efeito de simulação, adota-se 24°C – limite inferior de temperatura de conforto ditada pela norma, pois sabe-se que há uma tendência das pessoas manterem os ambientes mais frios que a temperatura considerada de conforto térmico. Esta tendência caracteriza um uso inadequado dos condicionadores de ar, a exemplo do apontado na pesquisa de Venâncio (2007). A umidade do ar não foi analisada pois admite-se que o condicionador de ar mantém a umidade controlada e constante.

A climatização do caso base é feita por meio de condicionador de ar do tipo split, sistema predominante nos tipos de lojas pesquisadas. Seu coeficiente de eficiência energética (CEE) é 2,94 (W/W) e corresponde à classificação A do Procel (Tabela 3-2).

Tabela 3-3. Critérios para classificação de condicionadores de ar split

ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia **Critérios 2008**
Selo PROCEL de Economia de Energia

CONDICIONADORES DE AR SPLIT		Data atualização:		19/11/2008	
Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)			Total de modelos por classe	
A	2,94	<CEE		230	39,5%
B	2,76	<CEE ≤	2,94	190	32,6%
C	2,58	<CEE ≤	2,76	120	20,6%
D	2,39	<CEE ≤	2,58	35	6,0%
E		CEE ≤	2,39	7	1,2%

582 un

3.2.4 Ocupação (m^2) e calor liberado por pessoas(kcal/h)

Com base em observações durante as visitas às lojas ao longo dos estudos de campo, estima-se que a densidade de ocupação deve corresponder a 50% da prescrita pela NBR-6401 “tabela 9 – Valores para ocupação dos recintos” (Tabela 3-3). As tarefas realizadas nestes ambientes são consideradas do tipo leve, com pequeno gasto de energia para realizá-las, sendo o fator metabólico de 0,90.

Tabela 3-4. Densidades de ocupação dos ambientes.

AMBIENTE	OCUPAÇÃO
Área de Vendas	0,10 pessoas/ m^2
Área de estoque	0,04 pessoas/ m^2
Área de escritórios	0,10 pessoas/ m^2

3.2.5 Infiltração e renovação de ar

Como a taxa de infiltração tende a variar muito em função das condições climáticas e de ocupação (entrada e saída de pessoas), optou-se por relacionar a infiltração e a renovação de ar com o número de ocupantes. De acordo com a NBR-6401 (1980), considerou-se uma taxa de renovação de ar de 4 m^3/h por pessoa. Já a infiltração é considerada nula, devido à pressão positiva no edifício causada pelo insuflamento do ar interno. Portanto, as frestas não são caracterizadas como entrada de ar e sim, saída de ar.

3.2.6 Iluminação

De acordo com entrevistas a projetistas de iluminação e observações gerais, a maioria dos projetos de iluminação locais ainda não integram a iluminação natural com a artificial por meio de controles automáticos das lâmpadas. Com relação aos materiais utilizados, segundo estes projetistas, as lâmpadas mais usuais em ambientes comerciais na cidade de Natal são as lâmpadas fluorescentes tubulares e compactas suspensas no teto, para uso geral e as lâmpadas halógenas para evidenciar produtos – dicróica, PAR 20/30/38, AR 48/70/111 com diversas aberturas de fachos. Entretanto, a densidade de iluminação varia entre as lojas, sem considerar a eficiência energética do sistema de iluminação.

Por isso, considera-se uma a densidade de potência de iluminação (LPD) para ambientes comerciais compatível com a ASHRAE (2004b), que prescreve uma economia de 30% no consumo energético em relação à ASHRAE 90.1. Considerando-se a zona climática 1, a mais compatível com o clima de Natal obtém-se um LPD de 11,9 W/m^2 . Porém, para os ambientes de venda de produtos, esta norma recomenda que se tenha um adicional de iluminação, dependendo do ramo de atividade da loja. Para os casos

analisados neste trabalho, como não se tem uma atividade comum a todas às lojas, considera-se o adicional recomendado para os espaços mais gerais contidos na tabela de $3,7\text{W/m}^2$. No caso da área de estoques, considera-se a densidade de iluminação geral para ambientes comerciais (Tabela 3-4).

Tabela 3-5. Características do sistema de iluminação artificial adotado nos modelos

AMBIENTE	LPD (W/m^2)	Iluminância (lux)
área de vendas	$11,93 + 3,67 = 15,6$	1000
estoque de produtos	11,9	500
escritórios	11,9	500

As entrevistas realizadas com vendedores/proprietários de pontos comerciais da cidade demonstraram que a quantidade de lâmpadas ligadas durante o dia varia de acordo com a percepção dos ocupantes das lojas, que controlam a iluminação artificial. Segundo os entrevistados, a iluminação artificial destas lojas freqüentemente é utilizada após as 16:00, na maioria dos dias do ano. Para efeito de modelagem, considera-se que os ambientes de exposição de produtos, os quais são os mais iluminados e expostos, apresentam um controle de iluminação simplificado, que regula o acionamento das luminárias em três etapas (ligação de 1/3 por vez), regulados por um sensor de iluminância regulado para 1000 lux.

3.2.7 Equipamentos

A caracterização da densidade de potência instalada de equipamentos (EPD) considera que há equipamentos que são usados continuamente no período de funcionamento, como microcomputadores e frigobar, enquanto que há outros equipamentos que são ligados por curtos períodos de tempo, como cafeteiras e impressoras. Para a área de vendas (Tabela 3-6) estima-se o uso de 01 cafeteira, 03 microcomputadores, uma impressora e um aparelho de fax. Para a área do escritório (Tabela 3-7), estima-se 02 computadores, 1 impressora, 1 frigobar, 1 cafeteira e 1 TV de plasma. Para a área de estoque, não há equipamentos instalados. Considera-se que o uso da cafeteira, impressora e fax é de apenas 10 min a cada hora.

Tabela 3-6. Características dos equipamentos do ambiente de vendas (área de $96,95\text{ m}^2$).

Equipamento e quantidade	Potência total instalada (W)	EPD instalada (W/m^2)	Fração de uso horário	EPD corrigida (W/m^2)
03 micromputadores	$3 \times 120 = 360$	3,71	100%	3,7
01 cafeteira	600	6,19	17%	1,0
01 impressora	60	0,62	33%	0,2

01 aparelho de fax	60	0,62	17%	0,1
Total				5,1

Tabela 3-7. Características dos equipamentos do ambiente de escritório (área de 24,24 m²).

Equipamento e quantidade	Potência total instalada (W)	EPD instalada (W/m ²)	Fração de uso horário	EPD corrigida (W/m ²)
02 micromputadores	2 x 120 = 240	9,9	100%	9,9
01 impressora	60	2,48	33%	0,8
01 frigobar	70	2,89	1%	0,0
01 cafeteira	600	24,75	17%	4,1
Total				14,9

3.2.8 Dados Climáticos

A região de estudo – Natal/RN, caracteriza-se por um clima quente e úmido. Suas coordenadas (latitude 5° 45'54" Sul e longitude 35° 12'05" Oeste) definem uma posição intertropical muito próxima à linha do Equador (Figura 3-1). O clima quente e úmido é caracterizado por temperaturas médias acima dos 20° C, altas taxas de umidade relativa, em torno de 70 a 90% e baixa amplitude térmica diurna (em torno de 5° C). A incidência de radiação é alta sobretudo em superfícies horizontais. Essa característica é decorrente da geometria solar (Figura 3-2) e da alta incidência de radiação solar decorrente da sua proximidade com o equador (Figura 3-3).

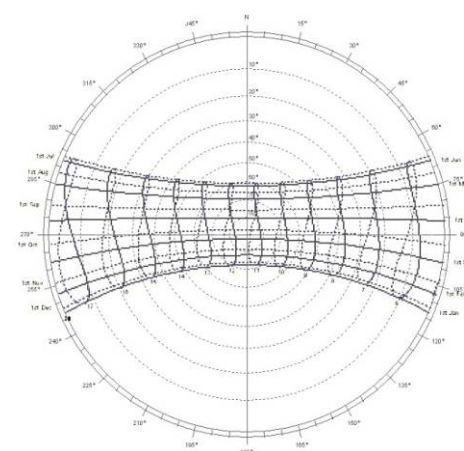
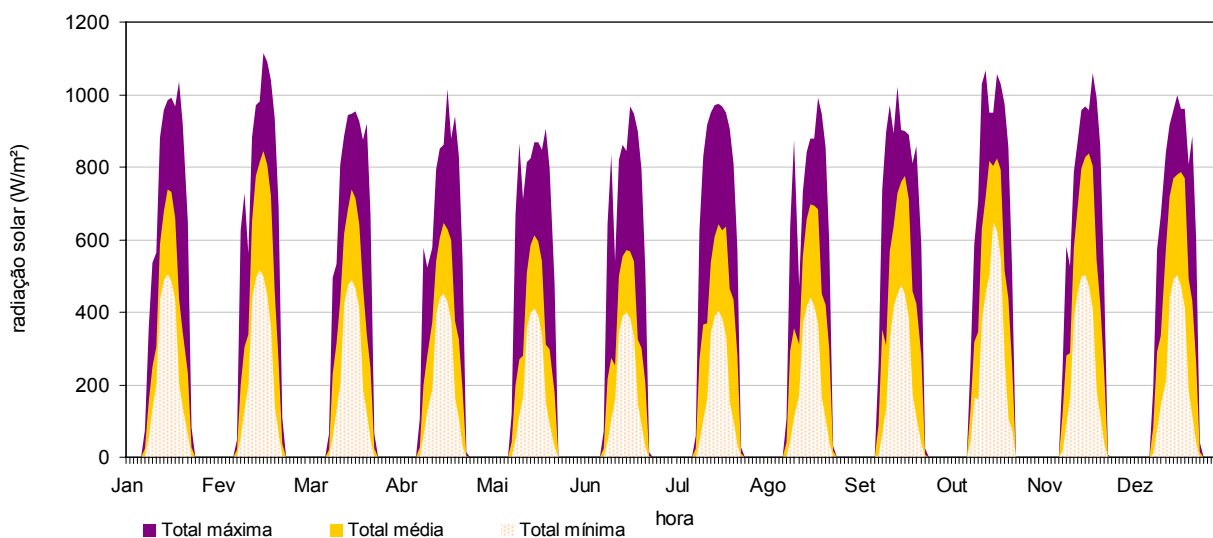


Figura 3-5. Diagrama solar para Natal/RN

Fonte: Venâncio (2007)

Figura 3-4. Localização de Natal-RN.

Fonte: Venâncio (2007)

**Figura 3-6. Radiação solar estimada do arquivo TRY.**

Fonte: adaptado de Goulart (1998)

O desempenho de cobertas, principalmente durante períodos de ocupação diária (horário comercial), pode ser mais influenciado pela radiação solar incidente do que pela temperatura do ar. Entretanto, há várias limitações para sua determinação.

Desde abril de 2007, a radiação solar em Natal está sendo medida no INPE-CRN. Não há publicação com as análises dos dados, embora estejam disponíveis por meio da internet gratuitamente, no endereço <http://www.crn2.inpe.br/lavat/index.php?id=climatologica>

O único arquivo climático devidamente produzido para esse fim é o TRY (*Test Reference Year*) de 1954, obtido por Goulart (1998), a partir de uma base de dados de 1951 a 1970.

3.3 ANÁLISE DE SENSITIVIDADE

São realizadas simulações com diferentes combinações de transmitância térmica e absorvância do sistema de cobertura, justificadas pelos seguintes motivos:

- A revisão bibliográfica destacou essas duas variáveis de sistemas de cobertura como as mais influentes no desempenho térmico e energético.
- Durante a realização do levantamento de campo, observou-se que diversas cobertas apresentam transmitância térmica e/ou absorvância muito próximas, principalmente para os casos de telha de fibrocimento ou metálica sem forro. Nesse último caso, as

resistências térmicas dos materiais geralmente são pequenas se comparada com as resistências superficiais internas e externas, e as transmitâncias térmicas tendem a $4,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ($R_T = 0,17 + 0,04$). Para evitar que alternativas com similares características fossem simuladas desnecessariamente, foi criada a hipótese de que a caracterização da transmitância térmica e da absorvância térmica poderiam ser suficientes para estimar o impacto do consumo de energia para um determinado caso, desde que fossem conhecida o impacto da relação “transmitância térmica x absorvância” ou o impacto do fator de calor solar.

- A combinação de valores extremos de transmitância térmica e de absorvância contribuem para estimar a faixa de influência da cobertura no consumo de energia da edificação, servindo como parâmetro de avaliação dos resultados das alternativas.

Optou-se por simular 30 combinações de transmitância (U) e absorvância (α) para um sistema simplificado de cobertura formado apenas por telha e isolamento térmico (quando existente) que representam a combinação entre seis valores de transmitância térmica (0, 1, 2, 3, 4 e $4,8 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$) e cinco valores de absorvância (20, 40, 60, 80 e 100%). Foram usados isolamento térmico do tipo poliestireno expandido com espessura de 500, 32, 11, 4,8 e 1,5mm.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DAS ALTERNATIVAS

Os impactos das alternativas de sistemas de cobertas no consumo de energia elétrica são quantificados e comparados com o caso base. Como apenas as características da cobertura são modificadas, as variações de consumo de energia que ocorrem no condicionamento ambiental para manter a temperatura interna controlada são atribuídas inteiramente a esta modificação.

As variáveis transmitância térmica e absorvância são abordadas com maior ênfase na seleção dos sistemas de cobertas devido à sua alta influência sobre o desempenho térmico, confirmada em literatura, normas, recomendações e pelas análises de sensibilidade.

Os sistemas de cobertura são modelados por meio de camadas de materiais, sendo que cada um deles é caracterizado quanto à espessura, condutividade térmica, calor específico, densidade, absorvância e emissividade. A classificação das variáveis térmicas empregou a norma NBR-15220 - “Desempenho Térmico de Edificações Parte 2: Métodos

de Cálculo de transmitância Térmica, da Capacidade Térmica, do atraso térmico e do Fator de Calor Solar de elementos e componentes de edificações”³.

A seleção e a caracterização das cobertas empregam pesquisas bibliográficas e de campo para identificar os materiais e as configurações construtivas. As alternativas são escolhidas de acordo com a frequência de ocorrência local para o tipo de edificação, pelo potencial de uso divulgado no mercado e confirmado com literatura científica, consultas a fornecedores e lojas do setor, e em sítios eletrônicos de fabricantes. Constatou-se que os principais materiais usados na fabricação de telhas opacas são os metais (aço inox, alumínio, aço galvanizado, aço revestido com diversos materiais, ligas metálicas como o zinco-titânio, dentre outros), o fibrocimento, a fibra vegetal e o betume (Tabela 3-8). Alguns sistemas construtivos não são considerados nesta pesquisa devido às limitações do método de simulação, ou do potencial de aplicação, como custo, complexidade de instalação, manutenção, inadequação (cobertas transparentes).

Tabela 3-8. Absortância (α) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade (ϵ) para radiações a temperaturas

Tipo de superfície	α	ϵ
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25	0,25
Caiçação nova	0,12 / 0,15	0,90
Concreto aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro	0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro	0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
Vidro comum de janela	Transparente	0,90 / 0,95
Pintura:		
- branca	0,20	0,90
- amarela	0,30	0,90
- verde claro	0,40	0,90
- “alumínio”	0,40	0,50
- verde escuro	0,70	0,90
- vermelha	0,74	0,90
- preta	0,97	0,90

Fonte: NBR-15220-3

As alternativas e sua principais características são apresentadas a seguir.

Telha ondulada de fibrocimento branca, e=8mm: U= 2,0 W/(m².K) e α = 0,20

³ Destaca-se que a norma caracteriza a resistência térmica de camadas para uma temperatura média da camada entre 0°C e 20°C e com uma diferença de temperatura entre as superfícies limitantes menor do que 15°C.

Essa alternativa consiste em reproduzir o desempenho da telha de fibrocimento ondulada clara, pintando a sua superfície de branco. A telha de fibrocimento é um produto de grande versatilidade, vencendo grandes áreas de telhado com rapidez na montagem e fixação, exigindo ainda estrutura de apoio simplificada. Em relação ao caso base, há uma mudança da absorvância de 0,60 para 0,20 (Tabela 3-9).

**Tabela 3-9. Características da alternativa com telha ondulada de fibrocimento clara, e= 8mm:
U=2,0 (W/(m².K) e α=0,20**

camada	material	Espessura (m)	Condutividade térmica (W/m.K)	Densidade (Kg/m ³)	Calor específico (kJ/(kg.K)	Resistência térmica ((m ² .K)/W)
1	Telha de fibrocimento	0,008	0,95	2200	0,84	0,00842
2	Câmara de ar (e>5cm) - (ε = 0,90)					0,21
3	Forro de gesso	0,02	0,35	1000	0,84	0,0571
Resistência térmica superficial interna e externa						0,21
Resistência térmica total						0,48552
Transmitância térmica total						2,06

Telha metálica ondulada e=0,65mm:U= 1,1 W/(m².K) e α=0,25

A alternativa consta de telhas metálicas onduladas de espessura 0,65mm, em aço galvanizado, dimensões de 1,08m x 2,10m, inclinação de 10%, com sustentação em três apoios de estrutura de madeira, e forro de placas de gesso 50 x 50 cm, instaladas com apoios metálicos no madeiramento de sustentação das telhas.

A telha de aço galvanizado apresenta resistência à oxidação e é adequada para o litoral. A transmitância é de 1,1 W/(m².K), com a absorvância 0,25 e emissividade 0,25 (Tabela 3-10).

Tabela 3-10. Características da alternativa com telha metálica ondulada e=0,65mm: U=1,1 W/(m².K) e α=0,25

camada	material	Espessura (m)	Condutividade térmica (W/m.K)	Densidade (Kg/m ³)	Calor específico (kJ/(kg.K)	Resistência térmica ((m ² .K)/W)
1	Telha de aço galvanizado	0,00065	55	7800	0,46	0,000012
2	Câmara de ar (e>5cm) - (ε = 0,05)					0,61
3	Forro de gesso	0,02	0,35	1000	0,84	0,0571
Resistência térmica superficial interna e externa						0,21
Resistência térmica total						0,877112
Transmitância térmica total						1,14

Telha onduline com fibra vegetal $e=8\text{mm}$: $U= 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ e $\alpha=0,74$

Nesta alternativa, utiliza-se a telha onduline, bastante difundida no mercado local. É sendo composta por fibras vegetais, impermeabilizadas com betume e protegidas por uma resina especial. Suas dimensões são de 0,95 x 2,00 m e está disponível em cores escuras – vermelha, marrom, verde e preta. A telha é modificada e permanece o forro de gesso., Há uma modificação apenas na absorvância que passa de 0,60 para 0,74. Os valores da transmitância e emissividade permanecem os mesmos do caso base (Tabela 3-11). Foram consideradas a mesma densidade e calor específico da telha de fibrocimento, uma vez que não foram determinados as propriedades desse material.

Tabela 3-11. Características da alternativa com telha onduline com fibra vegetal $e=8\text{mm}$: $U=2,0 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ e $\alpha=0,74$

camada	material	Espessura (m)	Condutividade e térmica ($\text{W}/\text{m}.\text{K}$)	Densidad e (Kg/m^3)	Calor específico ($\text{kJ}/(\text{kg}.\text{K})$)	Resistência térmica ($(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$)
1	Telha onduline	0,008	0,46	2200	0,84	0,01739
2	Câmara de ar ($e>5\text{cm}$) - ($\varepsilon = 0,90$)					0,21
3	Forro de gesso	0,02	0,35	1000	0,84	0,0571
Resistência térmica superficial interna e externa						0,21
Resistência térmica total						0,49449
Transmitância térmica total						2,02

Telha metálica ondulada branca $e=0,65\text{mm}$: $U= 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, $\alpha = 0,20$

A alternativa consiste de telha metálica com pintura branca no exterior, modificando sua absorvância para 0,20 e emissividade externa para 0,90 (Tabela 3-12). Considera-se a cor da tinta aplicada, interferindo na absorvância do material.

Tabela 3-12. Características da alternativa com telha metálica ondulada branca $e=0,65\text{mm}$: $U=1,1 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ e $\alpha=0,20$

camada	material	Espessura (m)	Condutividade térmica ($\text{W}/\text{m}.\text{K}$)	Densidade (Kg/m^3)	Calor específico ($\text{kJ}/(\text{kg}.\text{K})$)	Resistência térmica ($(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$)
1	Telha de aço galvanizado	0,00065	55	7800	0,46	0,000012
2	Câmara de ar ($e>5\text{cm}$) - ($\varepsilon = 0,05$)					0,61
3	Forro de gesso	0,02	0,35	1000	0,84	0,0571
Resistência térmica superficial interna e externa						0,21
Resistência térmica total						0,877112
Transmitância térmica total						1,14

Inclinação da telha de 35%: $U= 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, $\alpha = 0,60$

Alterando-se a inclinação da telha do caso base de 10% para 35%, avalia-se a influência do ângulo de incidência solar na absorção do calor. Há um aumento de área a ser coberta pelas telhas em relação ao caso base, aumentando o custo total da cobertura (Figura 3-7). As características térmicas do caso base permanecem as mesmas (Tabela 3-13).

Tabela 3-13. Características da alternativa de aumento na inclinação do telhado para 35%.

camada	material	Espessura (m)	Condutividade térmica (W/m.K)	Densidade (Kg/m ³)	Calor específico (kJ/(kg.K))	Resistência térmica ((m ² .K)/W)
1	Telha de fibrocimento	0,008	0,95	1800-2200	0,84	0,00842
2	Câmara de ar (e>5cm) - ($\epsilon = 0,90$)					0,21
3	Forro de gesso	0,02	0,35	1000	0,84	0,0571
Resistência térmica superficial interna e externa						0,21
Resistência térmica total						0,48552
Transmitância térmica total						2,06

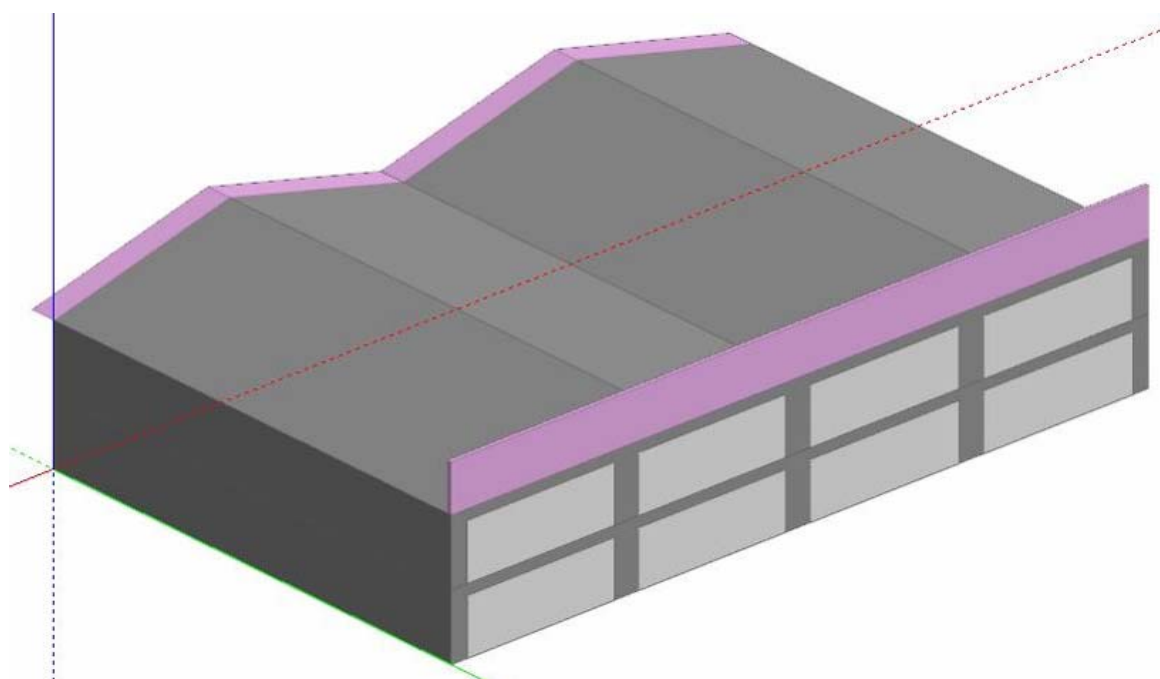


Figura 3-7. Alternativa com cobertura inclinada.

Barreira radiante junto à telha : $U= 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, $\alpha =0,60$

Corresponde à instalação de filmes de baixa absorvância ($\alpha=0,15$) e baixa emitância ($\epsilon=0,12$) junto à telha para irradiar menos calor para o ático. Como resultante, tem-se $U = 1,1 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$. A absorvância desta alternativa permanece a mesma do caso base (Tabela 3-14). Para efeito de cálculo, considera-se que a barreira radiante corresponde a uma câmara de ar com superfície de baixa emissividade e de espessura maior que 5 cm e para fluxo

descendente, classificando-a de acordo com a NBR-15220, resultando em uma câmara de ar com $R=0,61 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$.

Tabela 3-14. Características da alternativa de barreira radiante junto à telha: $U=1,1 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ e $\alpha=0,60$

camada	material	Espessura (m)	Condutividade térmica (W/m.K)	Densidade (Kg/m ³)	Calor específico (kJ/(kg.K))	Resistência térmica ((m ² .K)/W)
1	Telha de fibrocimento	0,008	0,95	2200	0,84	0,00842
2	Barreira radiante	0,0				0,0
3	Câmara de ar (e>5cm) - ($\varepsilon = 0,05$)					0,61
4	Forro de gesso	0,02	0,35	1000	0,84	0,0571
Resistência térmica superficial interna e externa						0,21
Resistência térmica total						0,88552
Transmitância térmica total						1,13

Barreira radiante junto ao forro: $U= 1,1 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, $\alpha =0,60$

Corresponde à instalação de filmes de baixa emitância ($\varepsilon=0,12$) e alta refletividade (0,15) junto ao forro para absorver menos calor por radiação térmica vinda da telha (Tabela 3-15). Este caso difere do anterior apenas na localização da barreira radiante.

Tabela 3-15. Características da alternativa da barreira radiante junto ao forro: $U=1,1\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$ e $\alpha=0,60$

camada	material	Espessura (m)	Condutividade térmica (W/m.K)	Densidade (Kg/m ³)	Calor específico (kJ/(kg.K))	Resistência térmica ((m ² .K)/W)
1	Telha de fibrocimento	0,008	0,95	1800-2200	0,84	0,00842
2	Barreira radiante	0,0				0,0
3	Câmara de ar (e>5cm) - ($\varepsilon = 0,05$)					0,61
4	Forro de gesso	0,02	0,35	750-1000	0,84	0,0571
Resistência térmica superficial interna e externa						0,21
Resistência térmica total						0,88552
Transmitância térmica total						1,13

Isolante térmico junto ao forro: $U= 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, $\alpha = 0,60$

Aplica-se o poliestireno expandido (EPS) junto ao forro de gesso. O poliestireno foi escolhido como isolante térmico devido à maior disponibilidade no mercado e facilidade de aplicação. A transmitância se reduz para $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ enquanto que as propriedades superficiais permanecem as mesmas (Tabela 3-16).

Tabela 3-16. Características da alternativa do isolante térmico junto ao forro: $U=0,70\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$ e $\alpha=0,60$

camada	material	Espessura (m)	Condutividade térmica ($\text{W}/\text{m}.\text{K}$)	Densidade (Kg/m^3)	Calor específico ($\text{kJ}/(\text{kg}.\text{K})$)	Resistência térmica ($(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$)
1	Telha de fibrocimento	0,008	0,95	2200	0,84	0,00842
2	Câmara de ar ($e>5\text{cm}$) - ($\varepsilon = 0,90$)					0,21
3	poliestireno expandido	0,03	0,035	40	1,42	0,85714
4	Forro de gesso	0,02	0,35	1000	0,84	0,0571
Resistência térmica superficial interna e externa						0,21
Resistência térmica total						1,34266
Transmitância térmica total						0,74

Isolante térmico junto à telha: $U= 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, $\alpha=0,60$

Aplica-se isolante térmico junto à telha, utilizando o poliestireno expandido, a exemplo do caso anterior. Neste caso, o isolante fica em contato direto com as telhas (Tabela 3-17).

Tabela 3-17. Características da alternativa do isolante térmico junto à telha: $U=0,7 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ e $\alpha=0,60$

camada	material	Espessura (m)	Condutividade térmica ($\text{W}/\text{m}.\text{K}$)	Densidade (Kg/m^3)	Calor específico ($\text{kJ}/(\text{kg}.\text{K})$)	Resistência térmica ($(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$)
1	Telha de fibrocimento	0,008	0,95	2200	0,84	0,00842
2	poliestireno expandido	0,03	0,035	25	1,42	0,85714
3	Câmara de ar ($e>5\text{cm}$) - ($\varepsilon = 0,90$)					0,21
4	Forro de gesso	0,02	0,35	1000	0,84	0,0571
Resistência térmica superficial interna e externa						0,21
Resistência térmica total						1,34266
Transmitância térmica total						0,74

Telha Sanduíche de poliestireno expandido: $U=0,6 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, $\alpha = 0,25$

A alternativa é composta por uma telha metálica de espessura 0,65 mm, com injeção de poliestireno expandido de 3 cm de espessura, e por uma segunda telha metálica igual a primeira, permanecendo o forro de gesso e a camada de ar. A sua transmitância calculada é de $0,60 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$, absorvância de 0,25 e emissividade de 0,25 (Tabela 3-18).

Tabela 3-18. Características da alternativa da telha sanduíche de poliestireno expandido $U=0,6 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ e $\alpha=0,25$

camada	material	Espessura (m)	Condutividade térmica ($\text{W}/\text{m}.\text{K}$)	Densidade (Kg/m^3)	Calor específico ($\text{kJ}/(\text{kg}.\text{K})$)	Resistência térmica ($(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$)
1	Telha de aço galvanizado	0,00065	55	7800	0,46	0,000012
2	Poliestireno expandido	0,03	0,035	25-40	1,42	0,85714
3	Telha de aço galvanizado	0,00065	55	7800	0,46	0,000012
2	Câmara de ar ($e>5\text{cm}$) - ($\epsilon = 0,05$)					0,61
3	Forro de gesso	0,02	0,35	750-1000	0,84	0,0571
Resistência térmica superficial interna e externa						0,21
Resistência térmica total						1,734264
Transmitância térmica total						0,58

Telha Sanduíche de poliuretano expandido: $U= 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, $\alpha = 0,25$

Esta alternativa faz uso do poliuretano expandido ($\lambda = 0,030 \text{ W}/(\text{m}.\text{K})$) como isolante térmico, mantendo as mesmas espessuras tanto das telhas como do isolante utilizado no caso anterior. O forro de gesso e a camada de ar também são mantidos. As suas dimensões são 1,08 x 2,10m, com mão-de-obra mais cara na sua instalação. A sua transmitância calculada é de $0,5 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$, absorvância de 0,25 e emissividade de 0,25 (Tabela 3-19).

Tabela 3-19. Características da alternativa da telha sanduíche com poliuretano expandido $U=0,5 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ e $\alpha=0,25$

camada	material	Espessura (m)	Condutividade térmica ($\text{W}/\text{m}.\text{K}$)	Densidade (Kg/m^3)	Calor específico ($\text{kJ}/(\text{kg}.\text{K})$)	Resistência térmica ($(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$)
1	Telha de aço galvanizado	0,00065	55	7800	0,46	0,000012
2	Poliuretano	0,03	0,030	35	1,67	1,0
3	Telha de aço galvanizado	0,00065	55	7800	0,46	0,000012
2	Câmara de ar ($e>5\text{cm}$) - ($\epsilon = 0,05$)					0,61
3	Forro de gesso	0,02	0,35	750-1000	0,84	0,0571
Resistência térmica superficial interna e externa						0,21
Resistência térmica total						1,877124
Transmitância térmica total						0,53

O poliuretano foi escolhido para análise devido à resistência térmica, baixo peso, auto-aderência durante a espumação, resistência estrutural, não serve de alimento para

insetos e microorganismos, não apodrece e não mofa e ainda apresenta uma baixíssima absorção de água quando submerso ou em contato direto com ela.

Telha Sanduíche de poliestireno expandido sem forro: $U= 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, $\alpha= 0,25$

Neste caso, retira-se o forro de gesso e a camada de ar entre o forro e a telha. A característica térmica modificada é a transmitância que passa para $0,9 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$, (Tabela 3-19).

Tabela 3-20. Características da alternativa de telha sanduíche de poliestireno expandido sem forro $U=0,9 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ e $\alpha= 0,25$

camada	material	Espessura (m)	Condutividade térmica ($\text{W}/\text{m}.\text{K}$)	Densidade (Kg/m^3)	Calor específico ($\text{kJ}/(\text{kg}.\text{K})$)	Resistência térmica ($(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$)
1	Telha de aço galvanizado	0,00065	55	7800	0,46	0,000012
2	Poliestireno expandido (expandido)	0,03	0,035	40	1,42	0,85714
3	Telha de aço galvanizado	0,00065	55	7800	0,46	0,000012
Resistência térmica superficial interna e externa						0,21
Resistência térmica total						1,067164
Transmitância térmica total						0,94

Telha Sanduíche de poliuretano expandido sem forro: $U= 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, $\alpha= 0,25$

Retira-se o forro e a camada de ar entre o forro e a telha. A transmitância passa para $0,8 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$, permanecendo as demais características (Tabela 3-20).

Tabela 3-21. Características da alternativa da telha sanduíche de poliuretano expandido sem forro $U=0,8 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ e $\alpha=0,25$

camada	material	Espessura (m)	Condutividade térmica ($\text{W}/\text{m}.\text{K}$)	Densidade (Kg/m^3)	Calor específico ($\text{kJ}/(\text{kg}.\text{K})$)	Resistência térmica ($(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$)
1	Telha de aço galvanizado	0,00065	55	7800	0,46	0,000012
2	Poliuretano de alta densidade	0,03	0,030	35	1,67	1,0
3	Telha de aço galvanizado	0,00065	55	7800	0,46	0,000012
Resistência térmica superficial interna e externa						0,21
Resistência térmica total						1,210024
Transmitância térmica total						0,82

Forro de madeira: $U= 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, $\alpha = 0,60$

Emprega-se o forro de lambri de madeira em substituição ao forro de gesso. Para analisar a influência do material utilizado no forro (Tabela 3-21).

Tabela 3-22. Características da alternativa com forro de madeira $U=2,0 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ e $\alpha=0,60$

camada	material	Espessura (m)	Condutividade térmica ($\text{W}/\text{m}.\text{K}$)	Densidade (Kg/m^3)	Calor específico ($\text{kJ}/(\text{kg}.\text{K})$)	Resistência térmica ($(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$)
1	Telha de fibrocimento	0,008	0,95	1800-2200	0,84	0,00842
2	Câmara de ar ($e>5\text{cm}$) - ($\epsilon = 0,90$)					0,21
3	Forro de madeira	0,01	0,15	450-600	1,34	0,06667
Resistência térmica superficial interna e externa						0,21
Resistência térmica total						0,49509
Transmitância térmica total						2,02

Forro de PVC: $U= 1,70 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, $\alpha = 0,60$

Emprega-se o forro de PVC em substituição ao forro de gesso. O forro de PVC vendido no mercado é composto por uma camada de 0,50mm de PVC + câmara de ar com 1 cm de espessura + 0,50mm de PVC, resultando em transmitância térmica de $1,7 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$. A absorvância é de 0,60 e emissividade de 0,90 (Tabela 3-22).

Tabela 3-23. Características da alternativa com forro de PVC $U=1,7 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, $\alpha = 0,60$

camada	material	Espessura (m)	Condutividade térmica ($\text{W}/\text{m}.\text{K}$)	Densidade (Kg/m^3)	Calor específico ($\text{kJ}/(\text{kg}.\text{K})$)	Resistência térmica ($(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$)
1	Telha de fibrocimento	0,008	0,95	2200	0,84	0,00842
2	Câmara de ar ($e>5\text{cm}$) - ($\epsilon = 0,90$)					0,21
3	Forro de PVC (PVC- $e=0,5\text{mm}$ + câmara de ar - $e= 1 \text{ cm}$ + PVC $e = 0,50\text{mm}$)	0,01	0,20	1400	0,90	0,155
Resistência térmica superficial interna e externa						0,21
Resistência térmica total						0,58342
Transmitância térmica total						1,71

3.5 CUSTOS

O levantamento dos custos dos materiais prioriza as informações locais obtidas por meio de pesquisa local em lojas do setor da construção civil. Na ausência de dados locais, são empregadas informações da revista Construção Mercado⁴ (editora PINI).

Os custos de mão-de-obra são obtidos preferencialmente por meio de consultas a construtoras de Natal, em custo por unidade de área (R\$/m²) ou por empreitada. Na ausência dessas informações, emprega-se o custo tabelado do Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado do Rio Grande do Norte (SINDUSCON/RN) e o tempo previsto de execução, retirado da Tabela de Custos Outros (TCPO) da editora PINI.

Informações da PINI editora podem implicar em distorções porque são obtidas das regiões Sul e Sudeste do país. Os custos de mão-de-obra do SINDUSCON/RN estão divididos em valores para mestre de obras, profissional, auxiliar e servente; não possuindo valores específicos para serviços de telhadista e ajudante de telhadista, bem como, carpinteiro e ajudante de carpinteiro. Considerou-se que o preço da hora do telhadista e carpinteiro se equipara ao do profissional, assim como o do ajudante do telhadista e ajudante de carpinteiro é semelhante ao do auxiliar. Os valores são confirmados pelos telhadistas locais.

Os quantitativos de materiais e mão-de-obra são calculados por meio de dimensionamento, tomando como base as medidas e especificações dos materiais existentes no mercado e consultas ao TCPO.

Na quantificação dos custos são considerados:

- implantação da cobertura, incluindo estrutura de suporte, mão-de-obra, aquisição de telhas e outros componentes;
- manutenção da cobertura, como limpeza e pintura das partes externas da cobertura;
- aquisição e aplicação de materiais complementares como forros, barreiras radiantes, isolantes térmicos, pinturas, dentre outros.

Os custos são anualizados considerando o tempo de vida útil estimado para cada tipo de material utilizado. Não são considerados os custos de materiais de fixação de estruturas e telhas, calhas, rufos e cumeeiras, porque são relativamente baixos. Também

⁴ Os dados mais recentes foram da edição de dezembro de 2008.

não são considerados os custos de reposição de componentes durante a vida útil do sistema.

3.6 BENEFÍCIOS

Os benefícios da redução das cargas térmicas das cobertas são calculados para cada alternativa em relação ao caso base, e correspondem à redução do custo da energia elétrica consumida e à redução do custo do sistema de condicionador de ar.

O primeiro benefício considera a diferença de consumo de energia elétrica, que é multiplicada pela tarifa local cobrada pela concessionária COSERN.

O segundo benefício considera a redução da carga de resfriamento necessária para manter o controle da temperatura interna. É estabelecida uma relação entre a capacidade de resfriamento e o custo de condicionadores de ar do tipo split a partir de consulta ao mercado, a fim de identificar o custo por unidade de capacidade de resfriamento (R\$/kW) (pag. 120, "Apêndice 2. Custo de condicionadores de ar split.")

3.7 CUSTO X BENEFÍCIO

O método escolhido de avaliar a viabilidade econômica de sistemas de coberta é o mesmo adotado pela ANEEL e projetos de efficientização da Eletrobrás/Procel e consiste da relação custo-benefício (RCB), conforme equação 11.

$$RCB = \frac{\text{custos anualizados}}{\text{benefícios anualizados}} \quad (9)$$

Estima-se a vida útil de cada material que compõe cada alternativa do sistema de coberta e calcula-se o custo anualizado de cada camada de material que compõe o sistema de coberta (equação 12). É considerado a sua vida útil, por meio do fator de recuperação de capital e da taxa de desconto adotada pelo mercado (equações 13,14 e 15)

$$CA_{TOTAL} = \sum CA_{equip1} + CA_{equip2} + \dots + CA_{equip n} \quad (10)$$

sendo que:

$CA_{equip n}$: custo anualizado por camadas de materiais com mesma vida útil, obtidos por meio de:

$$CA_{equip n} = CPE_{equip n} \times FRC \quad (11)$$

$CPE_{equip\ n}$: custo das camadas de materiais com a mesma vida útil, acrescido da parcela correspondente aos outros custos diretos e indiretos. Esta parcela é proporcional ao percentual do custo do material em relação ao custo total com materiais, obtido por:

$$CPE_{equip\ n} = CE_{equip\ n} + \left[(CT - CTE) \times \frac{CE_{equip\ n}}{CTE} \right] \quad (12)$$

onde

$CE_{equip\ n}$: custo somente de equipamento com mesma vida útil

CT : custo total do projeto (custos diretos + custos indiretos)

CTE : custo total somente de equipamentos

Cálculo dos benefícios (B)

e

FRC: fator de recuperação de capital, obtido por:

$$FRC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (13)$$

onde

n : vida útil (em anos)

i : taxa de juros (taxa de desconto)

Os benefícios são pela equação 16, sendo que a parcela da redução da demanda de ponta e o custo evitado de demanda é considerado nulo (equação 16).

$$B = (EE \times CEE) + (RDP \times CED) \quad (14)$$

onde:

EE - Energia Economizada (MWh/ano)

CEE - Custo Evitado de Energia (R\$/MWh)

RDP - Redução de Demanda na Ponta (kW)

CED - Custo Evitado de Demanda (R\$/kW)

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Os resultados são apresentados em ordem de abordagem, a seguir.

4.1 ANÁLISE DE SENSITIVIDADE

Os resultados apresentados na Tabela 4-1 e Figura 4-20 demonstram que quanto menor o valor da absorptância, menor é a influência da transmitância no consumo total de energia. Da mesma forma, quanto menor a transmitância, menor é a influência da absorptância no consumo.

Tabela 4-1. Consumo total de energia por área para análise de sensibilidade (kWh/m²).

abs (W/m ² K)	(%)\U	0	1	2	3	4	4.7
20		88	87	87	87	88	89
40		88	91	95	98	102	105
60		88	94	102	109	116	122
80		88	98	109	119	131	140
100		89	101	116	130	146	158

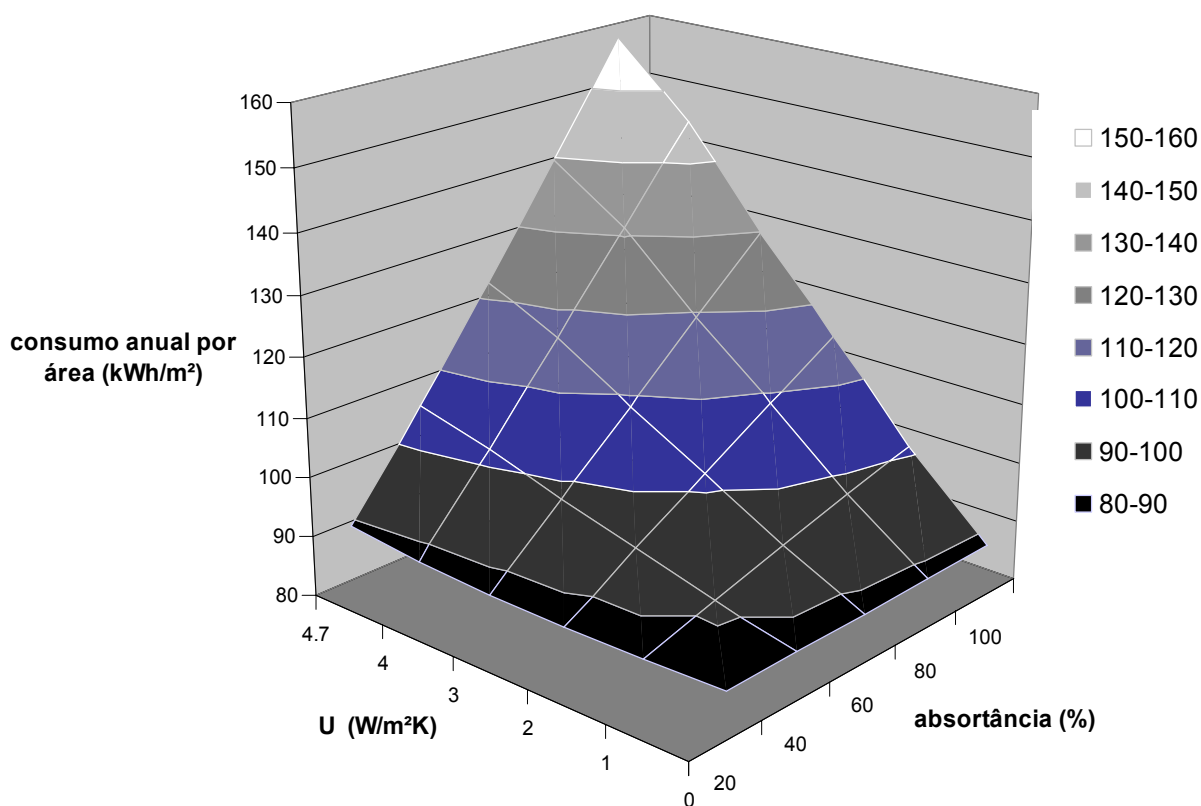


Figura 4-1. Consumo total de energia por área para análise de sensibilidade.

Observa-se na Tabela 4-1 que, para absorptância baixa (0,20), a variação no consumo de energia com a transmitância variando de 0 a 4,7 (W/(m².K)) foi de aproximadamente 2 kWh/m² (2%). Enquanto que para absorptância alta (1,00), variando a transmitância no intervalo de 0 a 4,7 (W/(m².K)), o consumo de energia aumenta 69 kWh/m² (78%).

A influência da absorptância é apresentada na Tabela 4-2, onde se vê um aumento progressivo do consumo anual por área na medida em que se aumentam a transmitância e absorptância. Para os casos de absorptância mais alta, a diferença no consumo quando a transmitância aumenta é bem mais acentuada.

Esta linearidade encontrada nos resultados entre transmitância, absorptância e consumo de energia também foi observada no trabalho de Lima (2006), para o setor hoteleiro na cidade de Natal/RN.

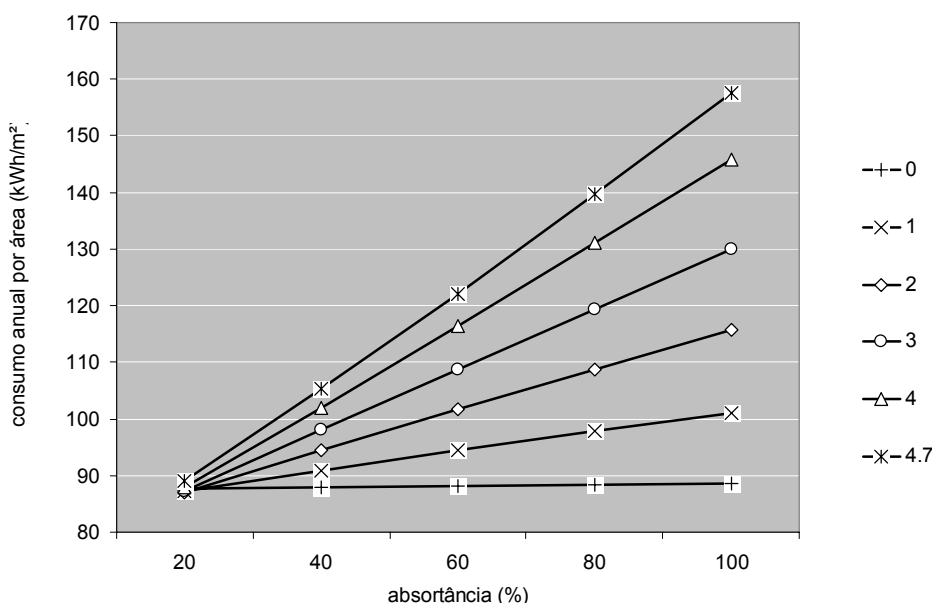


Figura 4-2. Consumo total de energia por área para análise de sensibilidade, destacando a influência da absorptância.

A comparação entre o fator de calor solar (equação 18) e o consumo de energia demonstra uma linearidade, destacando que fator solar pode ser representativo para prever o impacto da transmitância e da absorptância.

$$FCS = 4.\alpha.U$$

(18)

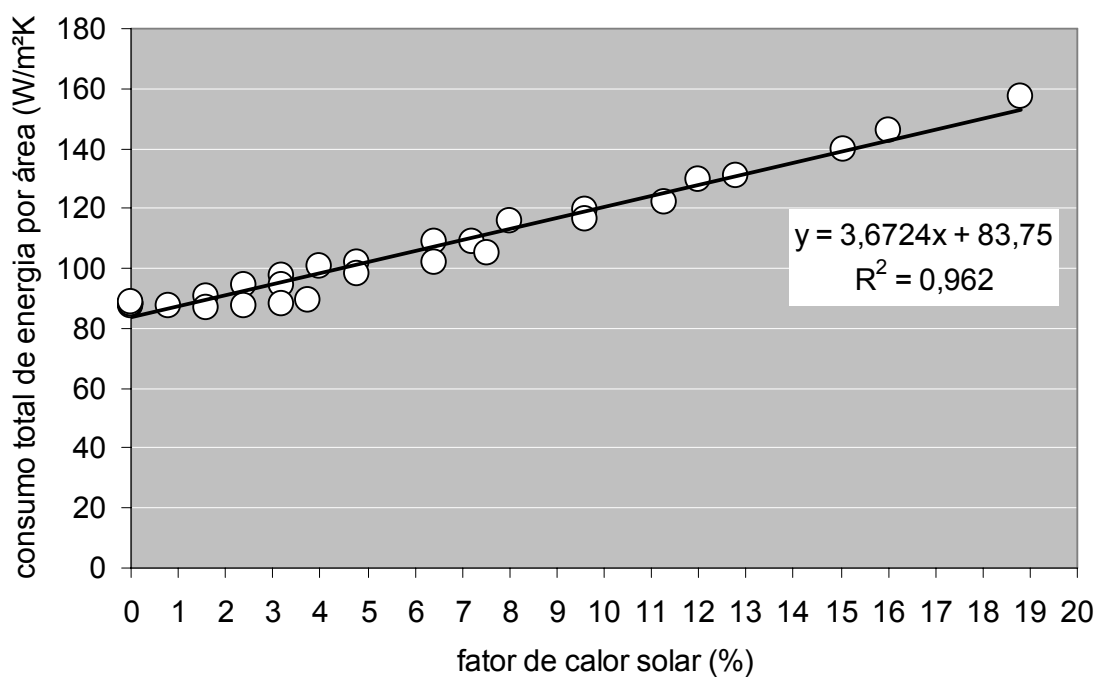


Figura 4-3. Consumo total de energia como função do fator solar.

4.2 CASO BASE

As primeiras análises confirmam diversas características do modelo, principalmente as rotinas e a coerência do comportamento térmico. São analisadas as temperaturas internas (Figura 4-4 e Figura 4-5), os ganhos internos de calor por ocupantes, equipamentos e iluminação artificial para cada um dos ambientes e para os diferentes dias da semana, a exemplo das Figura 4-6 a Figura 4-10. Conforme Figura 4-4, as temperaturas do ar interno são mantidas a 24°C durante o período comercial (de ocupação), enquanto que nos outros horários a temperatura interna tende a ser sempre maior do que a externa. Destaca-se a temperatura radiante média sempre maior que a temperatura do ar.

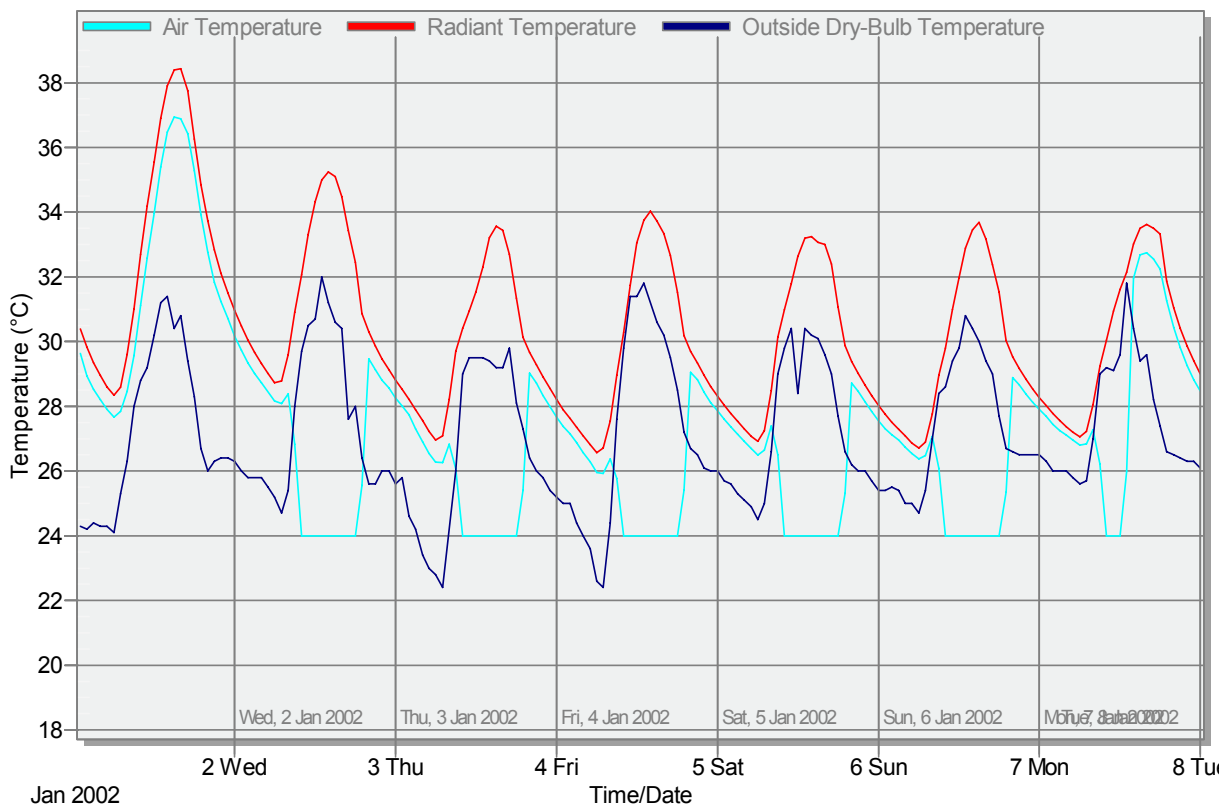


Figura 4-4. Confirmação do período de atendimento das condições de temperatura interna controlada pelo condicionador de ar (loja 1).

A temperatura do ar do ático (Figura 4-5) está sempre muito próxima da temperatura radiante e muito maior que a temperatura do ar externo. Os comportamentos das temperaturas obedecem a uma mesma tendência, com picos próximos do meio dia.

Os ganhos internos de calor nos domingos e feriados (Figura 4-6) na área de vendas demonstram a contribuição do ganho por radiação solar pelas aberturas, e seguem seu comportamento ao longo do dia, com picos próximos do meio do dia. Não há a contribuição dos ocupantes, equipamentos e iluminação já que as lojas não funcionam nestes dias.

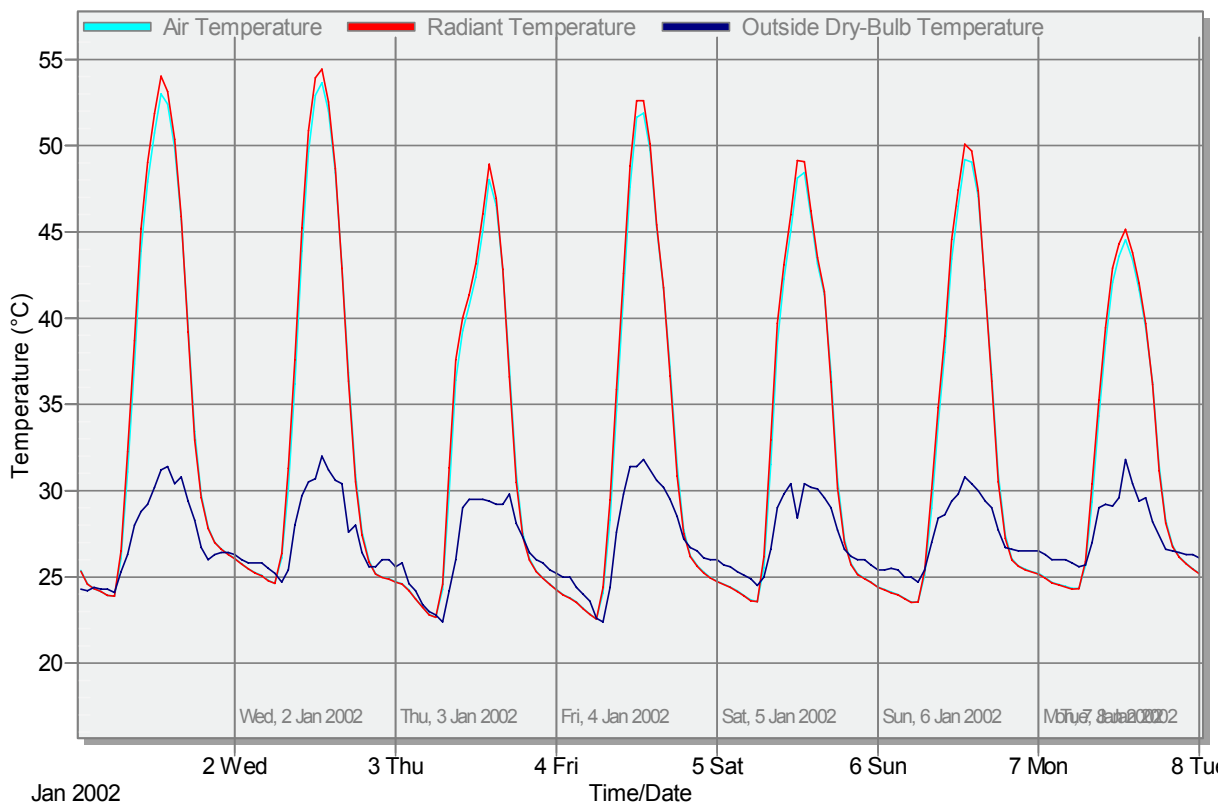


Figura 4-5. Temperaturas do ático.

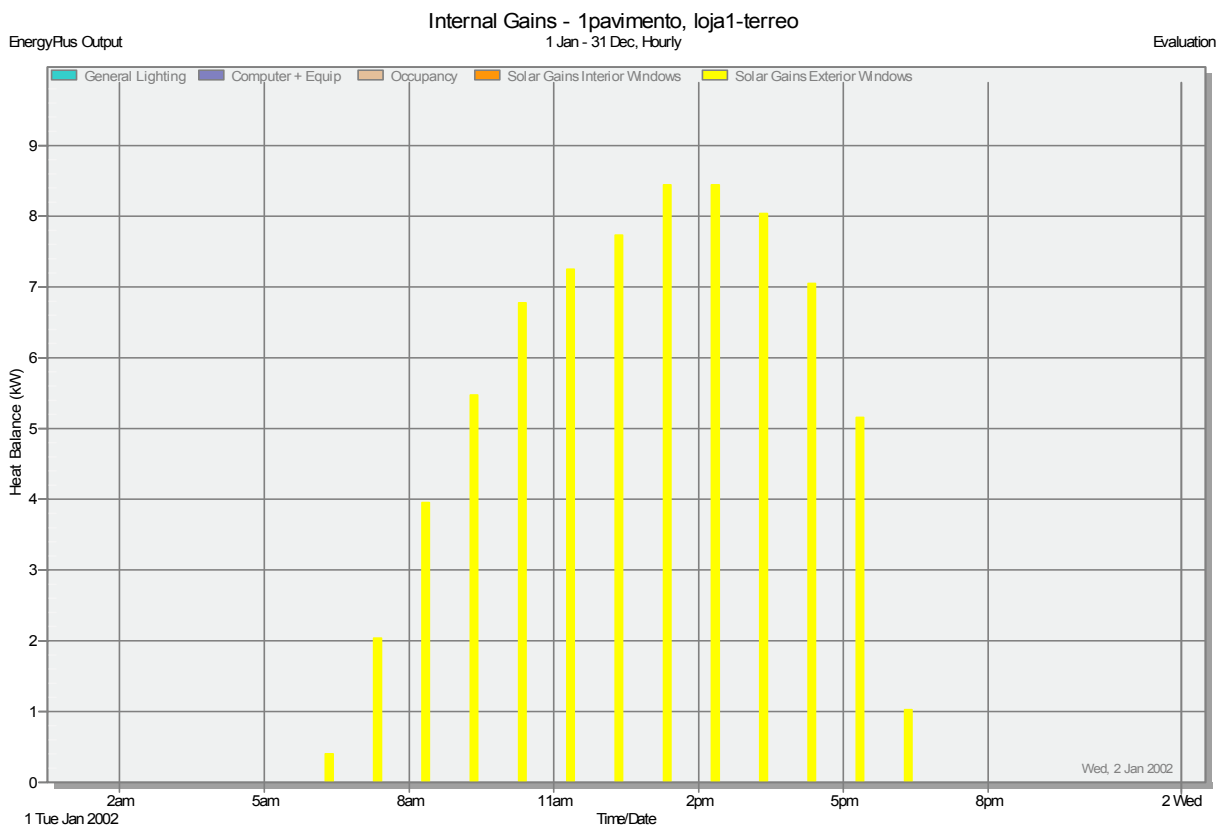


Figura 4-6. Ganhos internos em domingos e feriados da loja 1.

Para os dias úteis, os ganhos internos na área de vendas têm a contribuição de calor pelas aberturas, acrescida dos ganhos com ocupantes, equipamentos e iluminação; sendo estes últimos com contribuições bem inferiores às contribuições pelas aberturas. Como a ocupação e o uso dos equipamentos foram considerados constantes ao longo do dia nas simulações, as suas contribuições nos ganhos internos são praticamente constantes durante o horário comercial. O aumento da contribuição da iluminação a partir das 17 horas se justifica pelo uso combinado da iluminação natural com a artificial, tendo como limite 1000 lux para acionamento complementar ou total das lâmpadas (Figura 4-7). Não há contribuição de carga térmica com ocupantes e iluminação na área de estoque da loja aos domingos e feriados.

Os ganhos internos para a área de vendas aos sábados (Figura 4-8) obedecem ao comportamento dos ganhos internos nos dias úteis, quando as lojas estão funcionando (Figura 4-8).

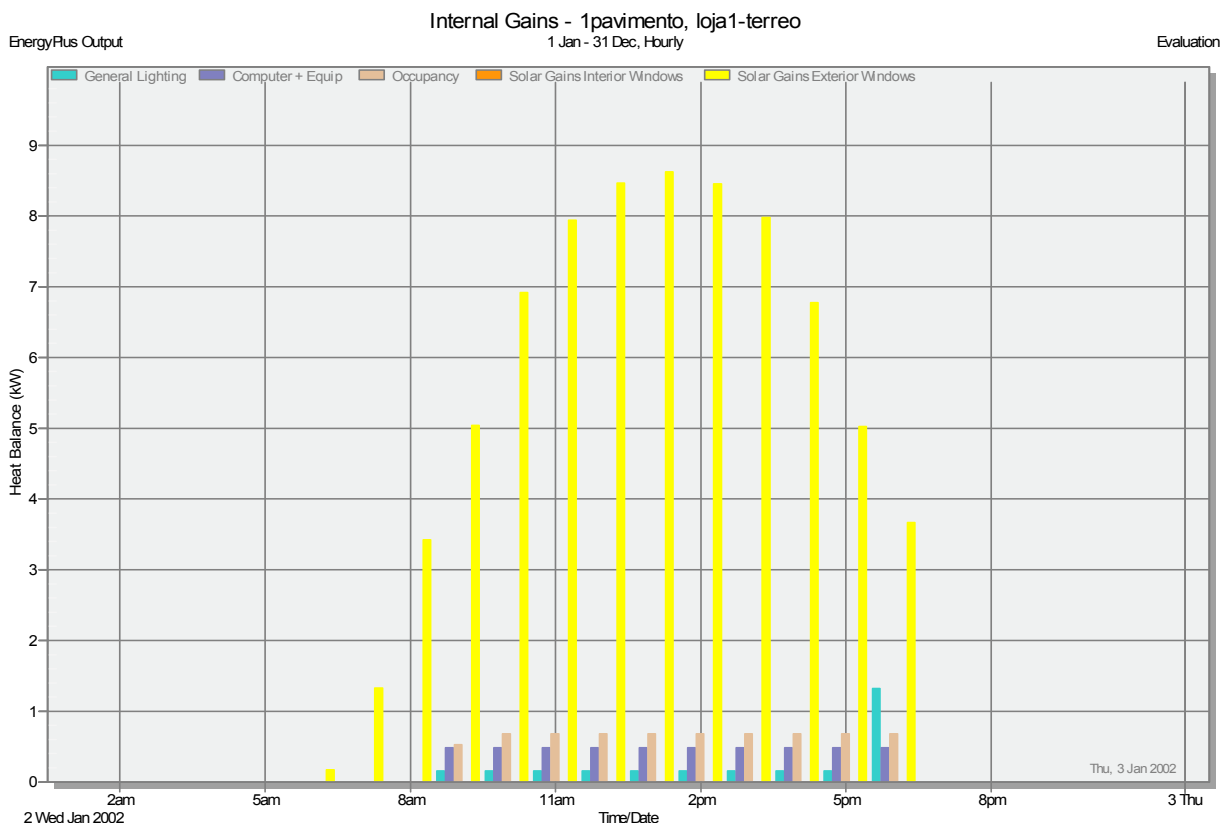


Figura 4-7. Ganhos internos dias úteis da loja 1.

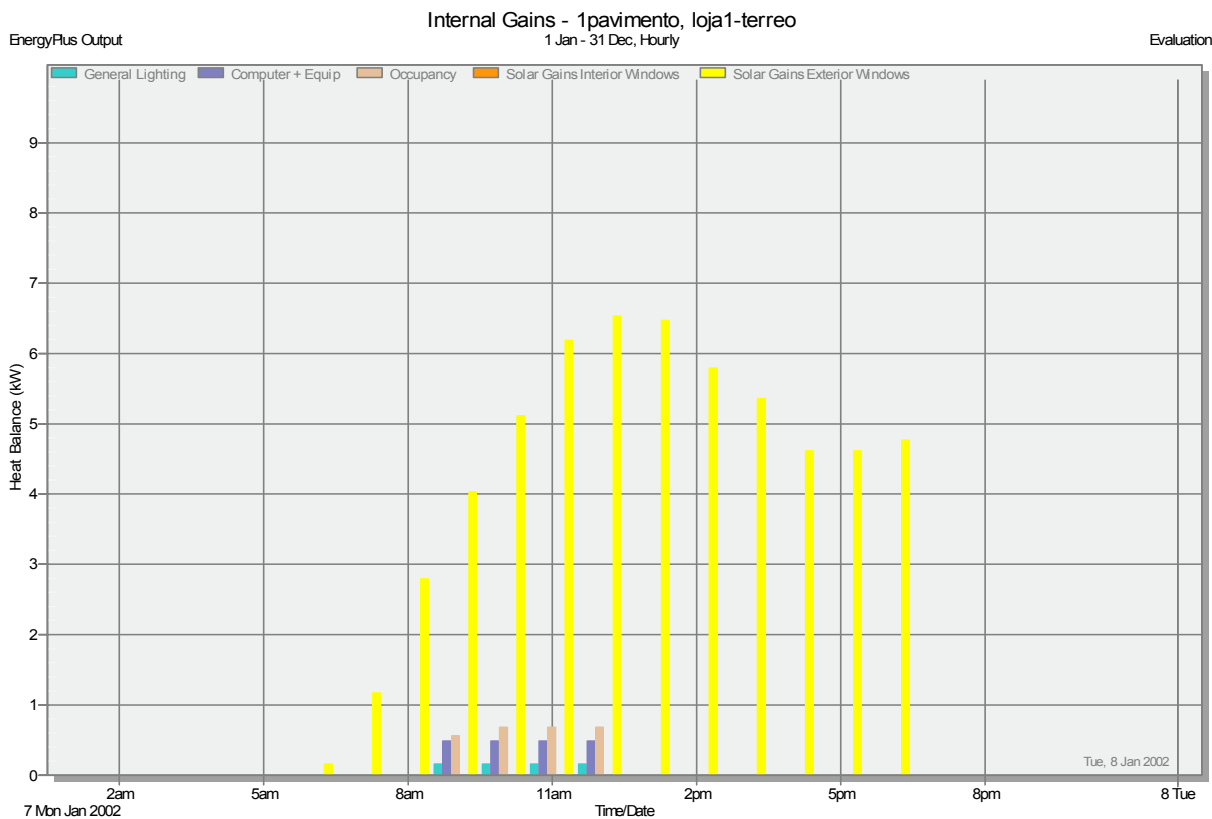


Figura 4-8. Ganhos internos para sábados da loja 1.

A Figura 4-9 registra a contribuição constante dos ganhos internos nos dias úteis pela iluminação artificial, sendo bem superior à contribuição advinda dos ocupantes.

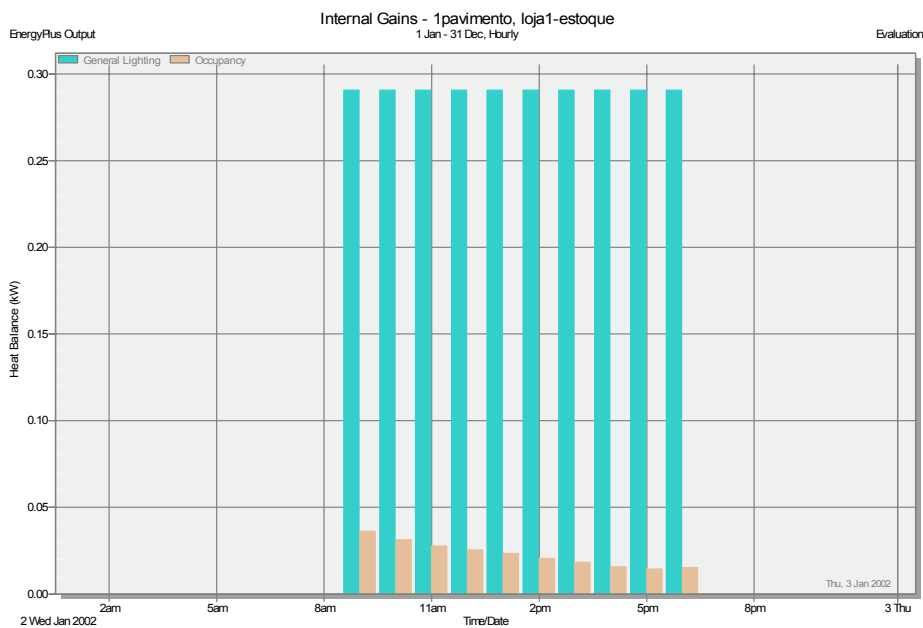


Figura 4-9. Ganhos internos dias úteis da loja 1.

O comportamento dos ganhos internos para sábados da área de estoque (Figura 4-10) é similar ao mesmo horário dos outros dias úteis. Os ganhos com iluminação e ocupantes é o mesmo no mesmo horário de funcionamento.

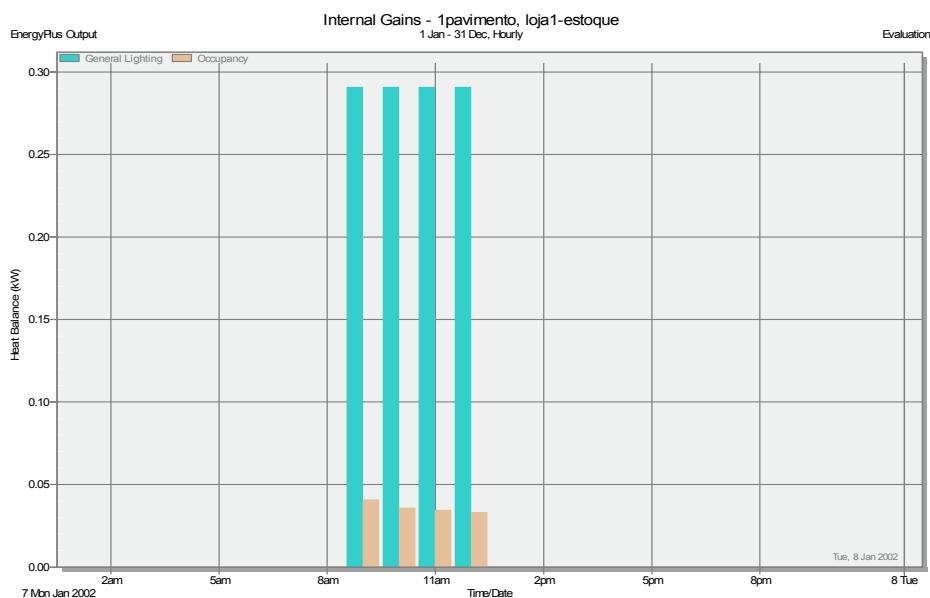


Figura 4-10. Ganhos internos para sábados da loja 1.

4.2.1 Desempenho energético

O consumo anual por área é de 110,0 kWh/m², sendo que os consumos de energia por uso final indicam variações diurnas e mensais.

São analisados os consumos de energia por uso final do tipo horário, mensal (Figura 4-13) e anual (Figura 4-11). O consumo de energia horária por uso final (Figura 4-11 e Figura 4-12) demonstra que a contribuição dos equipamentos de climatização é muito superior aos outros componentes – iluminação e equipamentos. O comportamento de consumo de energia ao longo do dia demonstra que o condicionador de ar apresenta picos próximos do meio do dia. O consumo dos equipamentos permanece constante durante todo o horário comercial; e o consumo com iluminação aumenta no final do dia, quando a iluminação natural diminui.

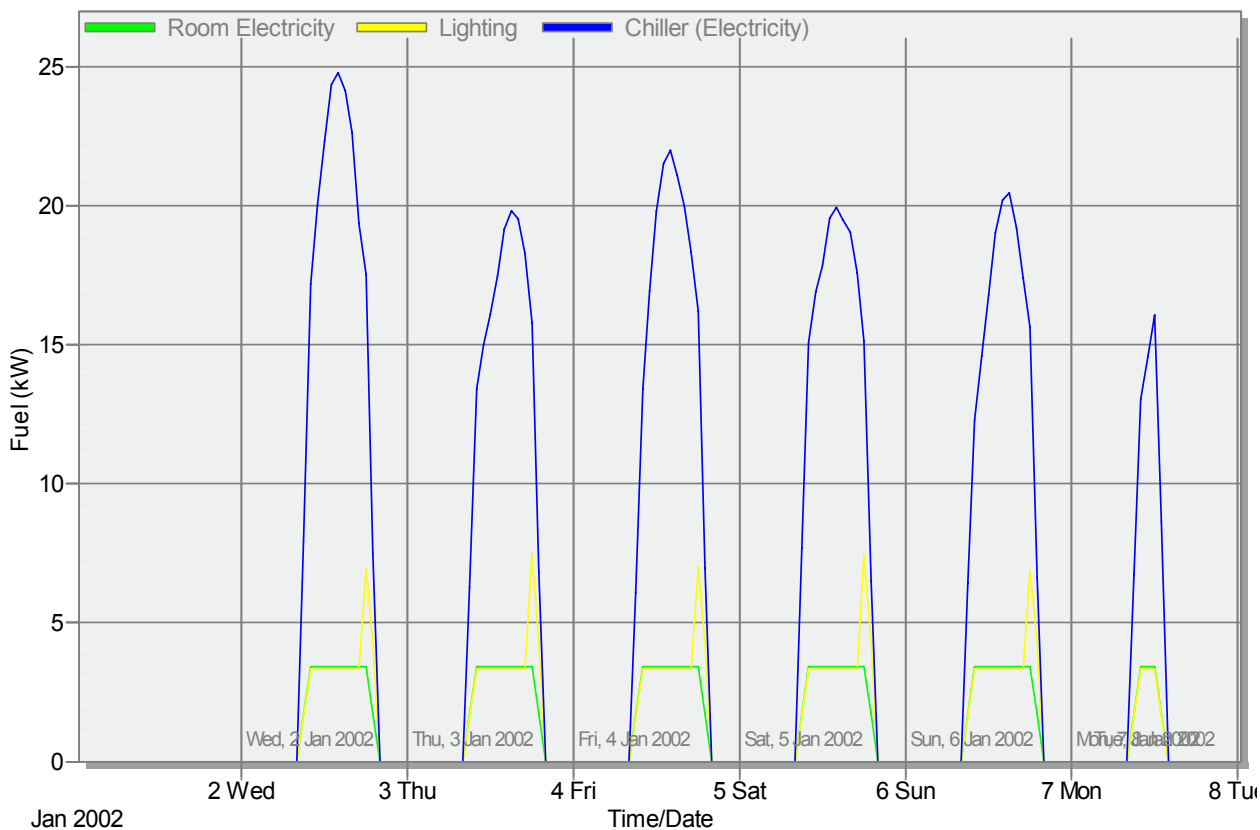


Figura 4-11. Consumo de energia elétrica horária por uso final (exemplo: 1º semana de janeiro).

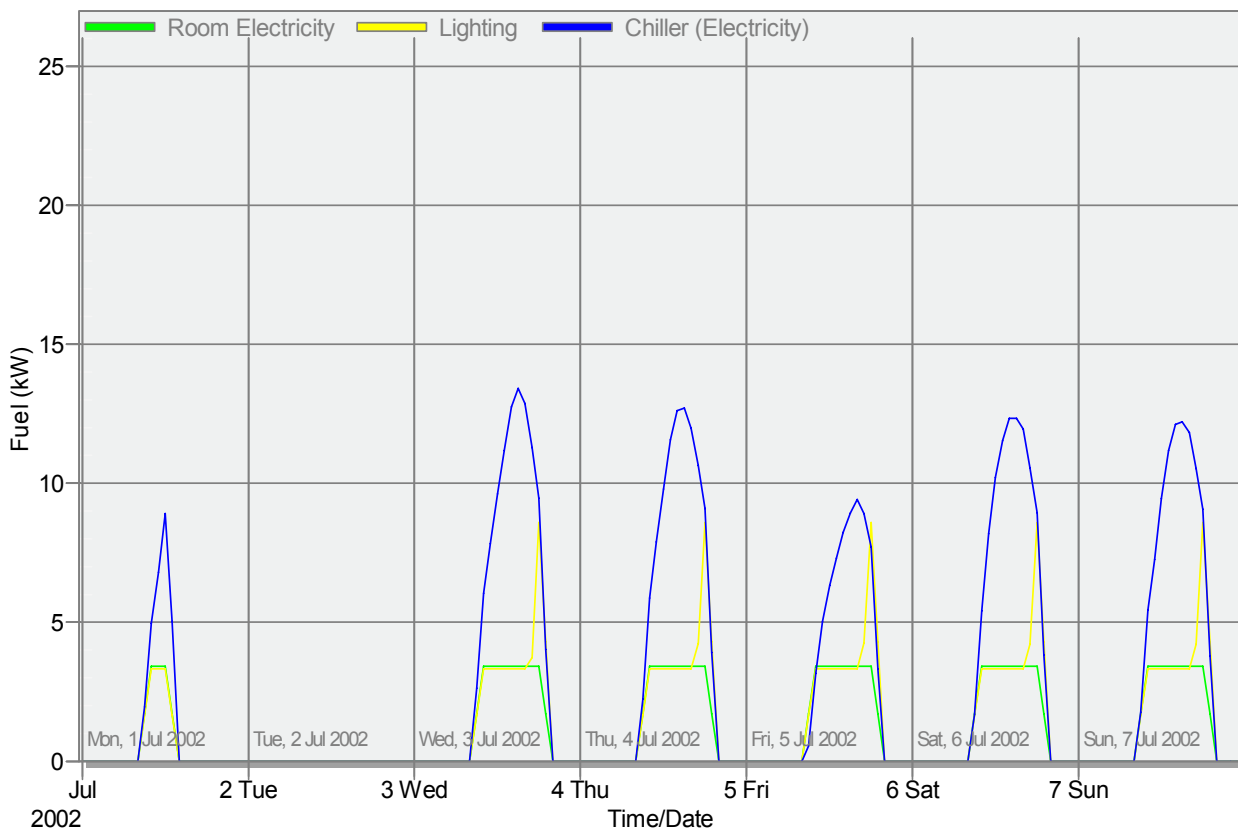


Figura 4-12. Consumo de energia elétrica horária por uso final (exemplo: 1º semana de julho).

Na Figura 4-13, demonstra-se que há uma diminuição do consumo de energia de climatização nos meses de junho, julho e agosto; isto acontece devido à insolação na fachada Sul, que incide em maior quantidade nos meses de setembro a março. As contribuições com iluminação e equipamentos permanecem constantes ao longo do ano. O consumo anual de energia elétrica com equipamentos de climatização é superior à soma das contribuições da iluminação e equipamentos (Figura 4-14).

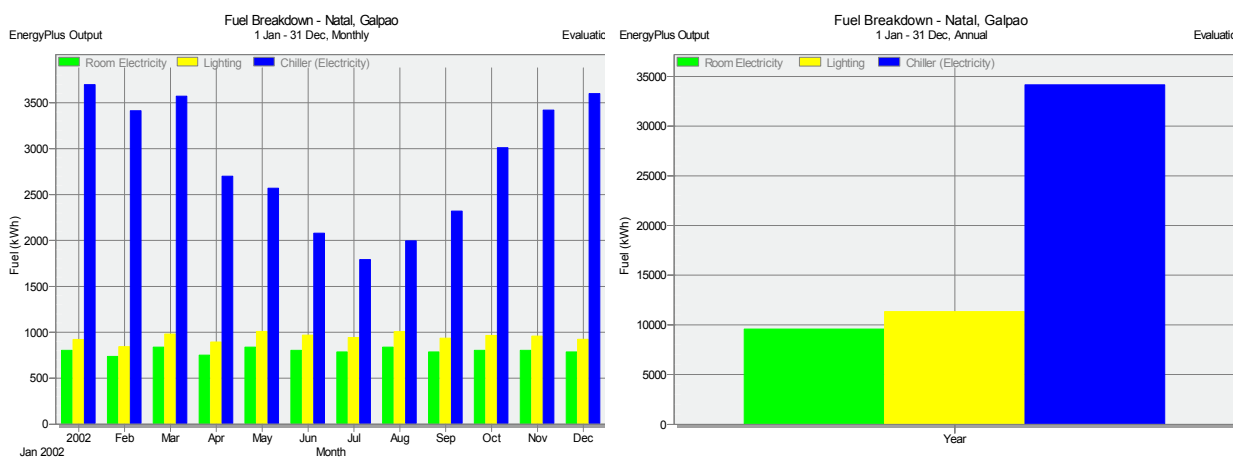


Figura 4-13. Consumo de energia elétrica mensal por uso final.

Figura 4-14. Consumo de energia elétrica anual por uso final.

4.2.2 Cargas térmicas

O comportamento das cargas térmica são exemplificadas para uma semana de janeiro e uma em julho porque apresentam maiores diferenças. Também são apresentados os comportamentos térmicos para um dia do mês de janeiro e um dia para o mês de julho. A maior contribuição de carga térmica na edificação, conforme Figura 4-15, corresponde às aberturas envidraçadas na fachada frontal (*solar gains exterior windows*) e ao sistema de coberta (*ceiling*). Observa-se também uma repetição diária da contribuição dos diversos componentes, tendo picos de ganhos térmicos em horários próximos do meio do dia. As contribuições dos componentes das janelas e das cobertas são as mais significativas, destacando-se a perda de calor pela coberta nos períodos noturnos. Os equipamentos de refrigeração atingem seus picos nos horários próximos do meio dia (Figura 4.15 e Figura 4.16).

Em julho, observa-se uma redução das cargas térmicas de resfriamento em relação ao período de janeiro, sendo que o comportamento das cargas é muito similar. Observa-se também a pequena contribuição dos ocupantes no ganho térmico nos dois casos (Figura 4-17 e Figura 4.18).

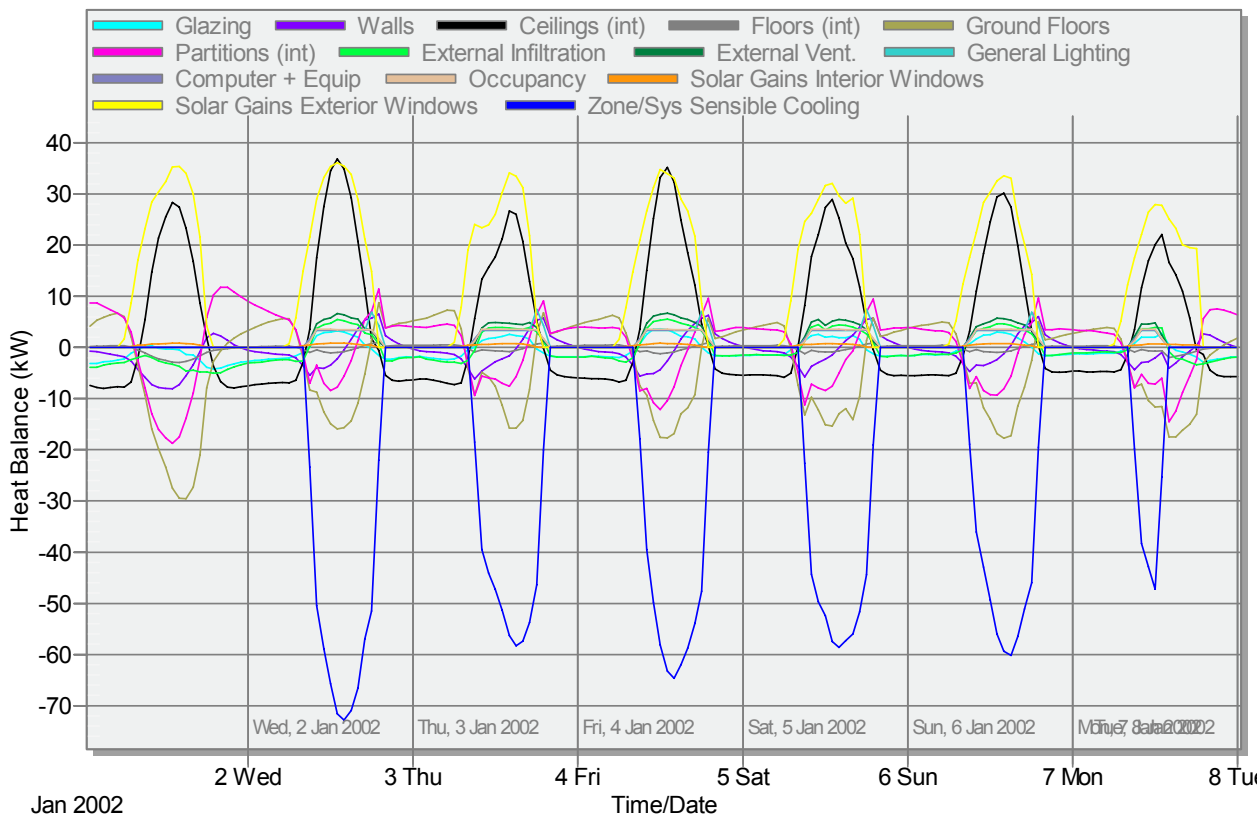


Figura 4-15. Cargas térmicas horárias, para a primeira semana de janeiro.

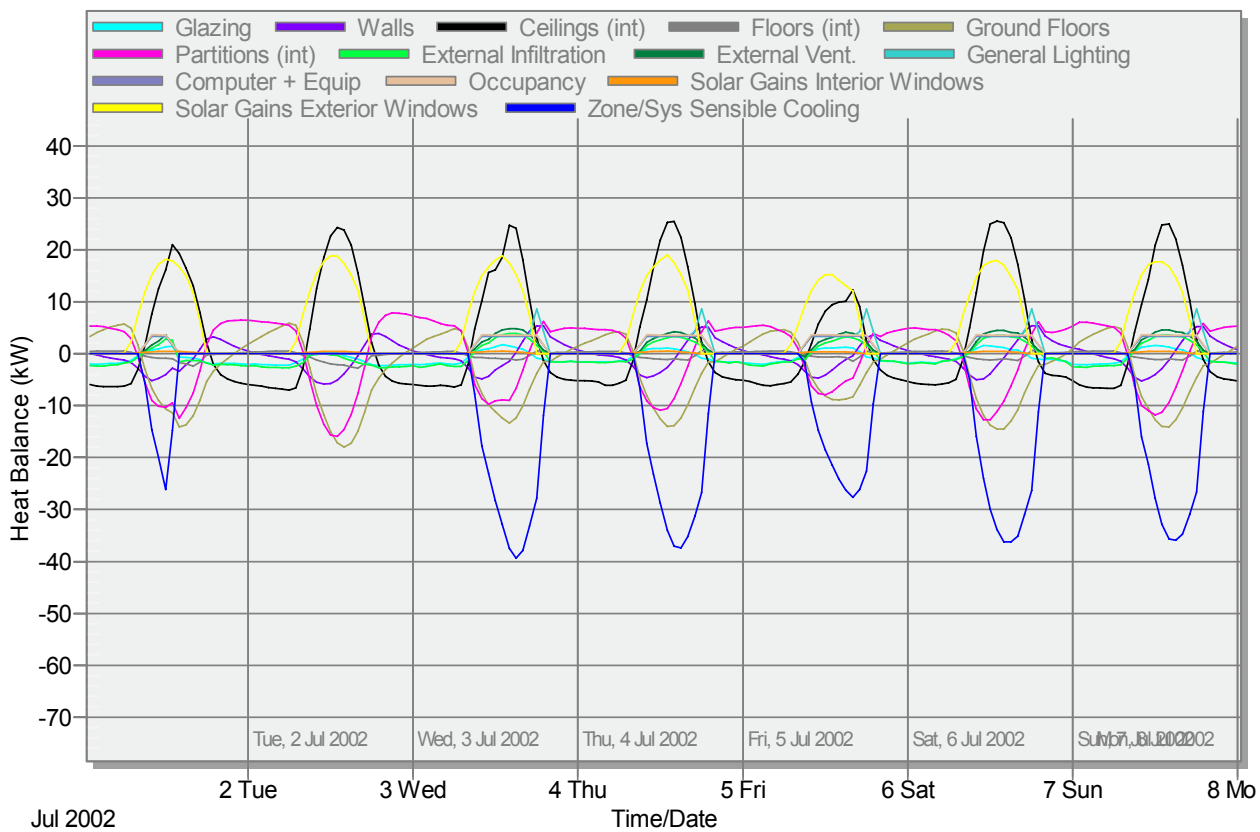


Figura 4-16. Cargas térmicas horárias, para a primeira semana de julho.

A análise do comportamento das cargas térmicas horárias (Figura 4-17 e Figura 4-18) demonstra que a cobertura e as fachadas envidraçadas ganham calor enquanto o piso e as paredes internas perdem calor. O balanço é de ganho de calor. A exemplo do dia 2 de janeiro, observa-se que as aberturas e cobertura atingem seu pico de carga térmica nos horários próximos do meio dia. Para o dia 1 de julho, o piso e as paredes são as únicas contribuições para a perda do calor interno, sendo reduzida a demanda do condicionador de ar.

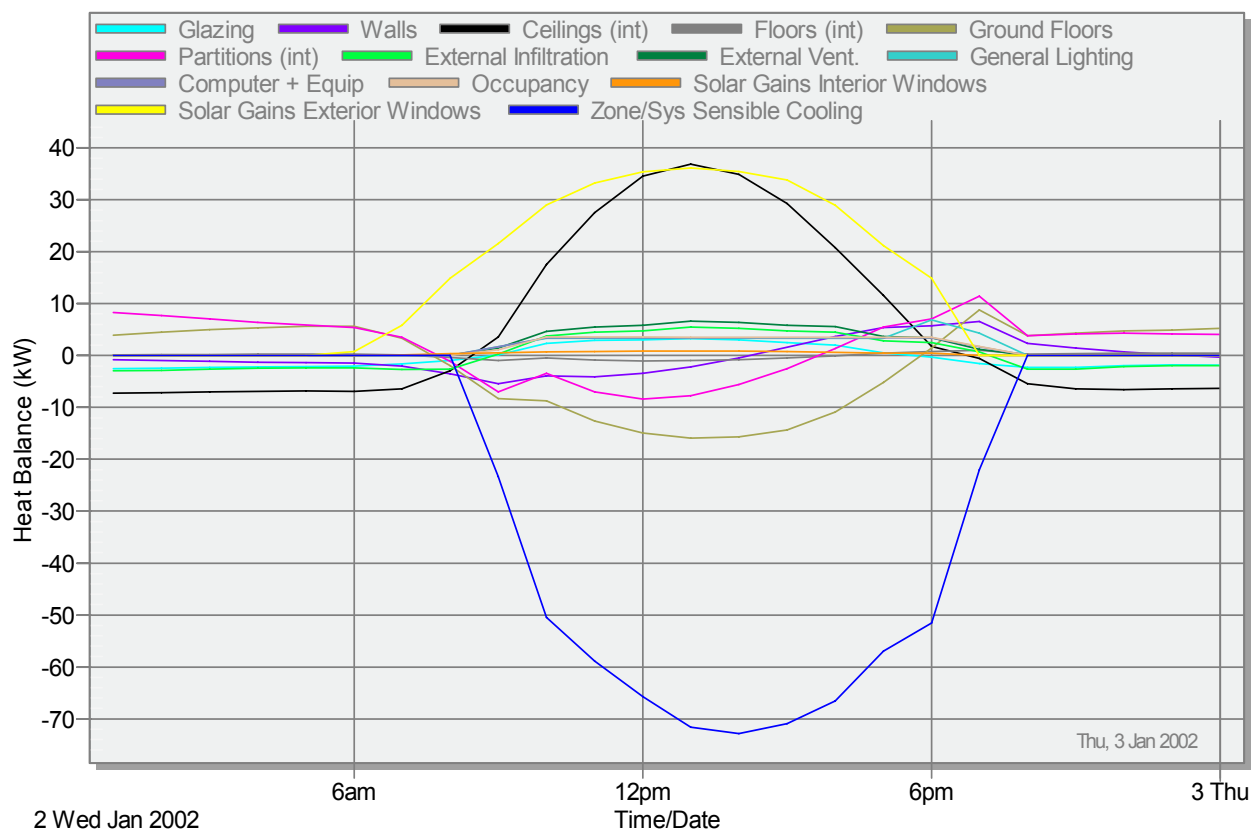


Figura 4-17. Cargas térmicas de envoltória internamente, para o dia 2 de janeiro.

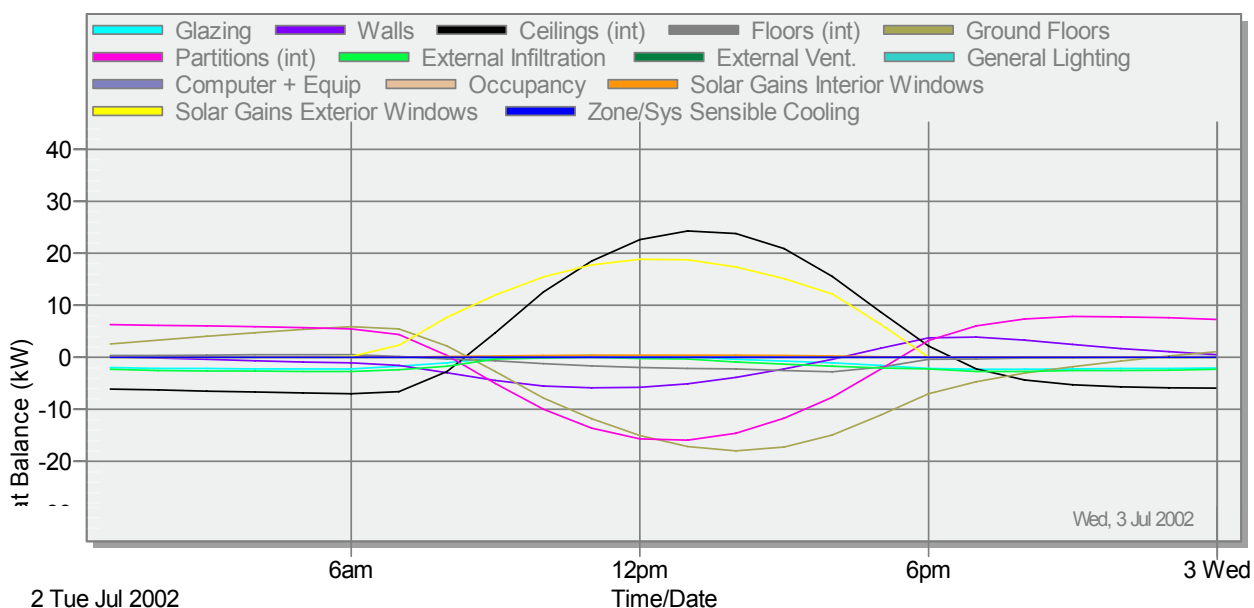


Figura 4-18. Cargas térmicas de envoltória internamente, para o dia 1 de julho.

Como as cargas térmicas horárias da cobertura podem ser positivas ou negativas, o somatório diário e mensal tende a mascarar seu impacto. Por isso optou-se em representar graficamente apenas as cargas térmicas (que são removidas pelo condicionador de ar no seu período de funcionamento (Figura 4.19). Destaca-se a contribuição dos vidros devido à grande área envidraçada na fachada frontal da edificação.

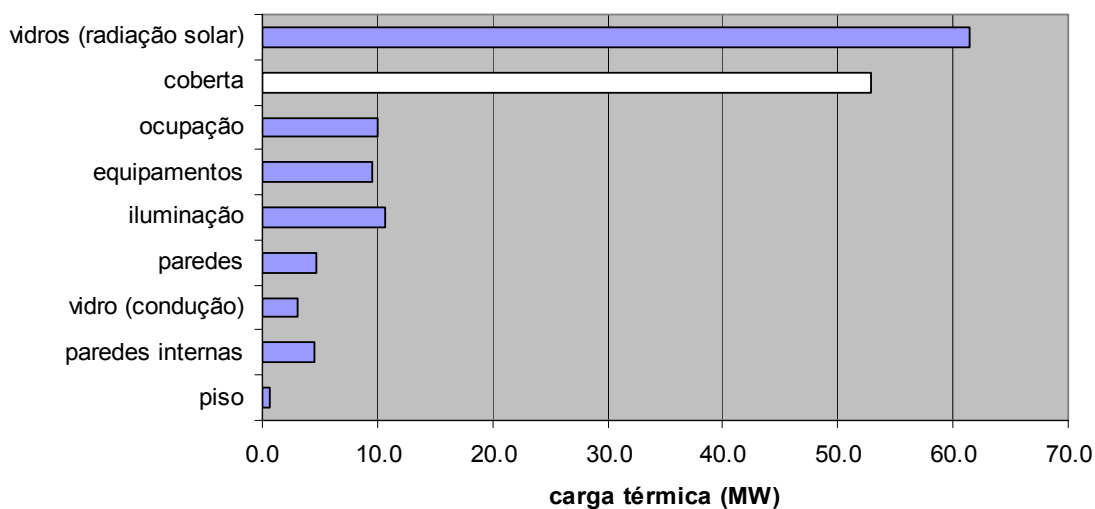


Figura 4-19. Principais cargas térmicas de resfriamento.

Conforme Tabela 4-2, observa-se a grande contribuição percentual da cobertura nas cargas térmicas de resfriamento do caso analisado (2º maior contribuição), ficando bem acima dos outros itens, excetuando o item vidros (maior contribuição). A contribuição da cobertura somada à dos vidros atinge 73% das cargas térmicas de resfriamento. Isto demonstra a importância da cobertura, assim como a importância do ganho térmico por meio

das aberturas, evidenciando que o sombreamento das aberturas para menor incidência solar e conseqüente ganho térmico é uma alternativa apropriada.

Tabela 4-2. Principais cargas térmicas de resfriamento

Fontes	carga térmica (MW)	fração (%)
piso	0.6	0%
paredes internas	4.6	3%
vidro (condução)	3.1	2%
paredes	4.7	3%
iluminação	10.7	7%
equipamentos	9.6	6%
ocupação	10.0	6%
coberta	52.8	34%
vidros (radiação solar)	61.4	39%
Total	157.5	

4.3 ALTERNATIVAS

Algumas considerações foram feitas com relação à modelagem destas alternativas no *Designbuilder*.

- a modelagem da telha metálica ondulada branca consistiu em reproduzir duas camadas de aço com espessura 0,35 mm (metade da espessura original) para que a camada externa apresente características superficiais de tinta branca e a camada interna apresente as característica originais do aço galvanizado;
- a barreira radiante junto à telha foi modelada com a adição de uma camada de alumínio junto à parte inferior da telha, com as propriedades de um filme de alumínio;
- a barreira radiante junto ao forro foi modelada com a adição de uma camada de alumínio junto à parte superior do forro de gesso, com as propriedades de um filme de alumínio;
- a modelagem da cobertura inclinada pode ser vista na Figura 4-20.

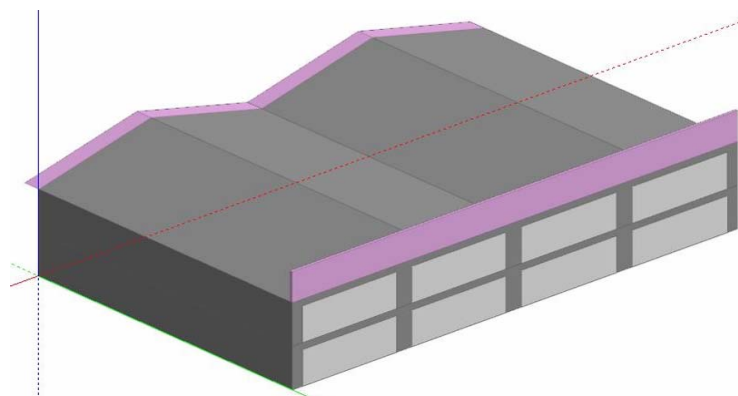


Figura 4-20. Alternativa com coberta inclinada.

Os resultados de consumos totais anuais por área (kWh/m². ano) e de capacidade de resfriamento instalada (kW) são apresentados na (Figura 4-21) e discutidos ao longo dessa seção.

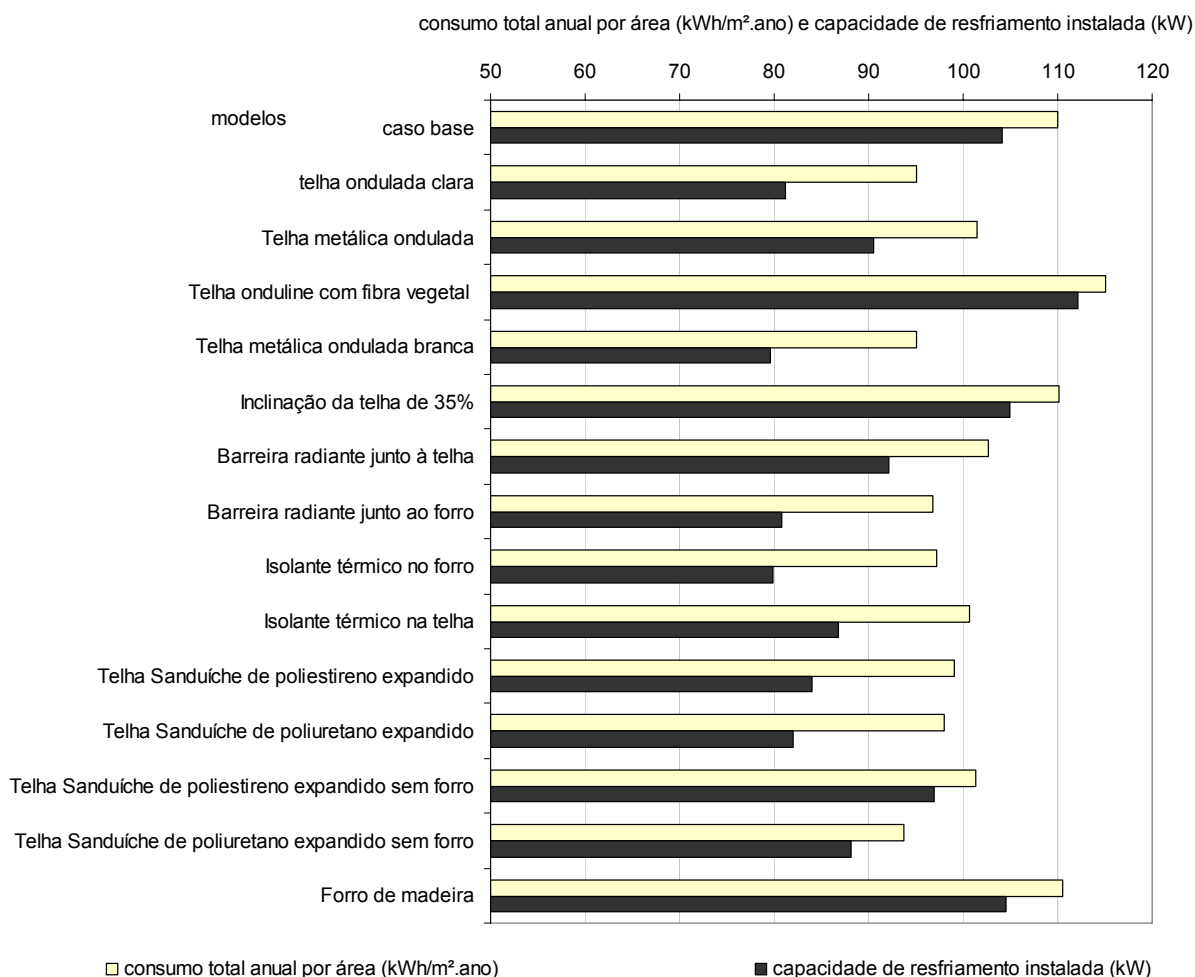


Figura 4-21. Consumo total anual por área e capacidade de resfriamento instalada.

A comparação dos resultados das simulações das alternativas (tabela 4-3) com os resultados da análise de sensibilidade (Tabela 4-2 e Figura 4-21) demonstra concordâncias

entre si. Por exemplo, a diferença de transmitância de 0,7 para 2,0 $W/(m^2.K)$ para uma mesma absorptância de 0,60 aumenta o consumo de energia de 100,7 para 110,5 ($kWh/m^2.ano$). Este aumento é de aproximadamente 10%, estando de acordo com os resultados obtidos na tabela 4-2 e figura 4.21 da análise de sensibilidade.

Para os casos com mesma transmitância de 2,0 $W/(m^2.K)$, o aumento da absorptância de 0,20 para 0,74 acarreta um aumento do consumo de 95,0 para 114,6 ($kWh/m^2.ano$), ou 20% (Tabela 4.3). Este caso também obedece às diferenças encontradas na tabela 4-2 e Figura 4.21 da análise de sensibilidade.

Tabela 4-3. Resumo do caso base e alternativas analisadas.

SISTEMAS DE COBERTAS	TRANSMITÂNCIA (U) – $W/(m^2.K)$	ABSORTÂNCIA (α) - %	CONSUMO DE ENERGIA ($kWh/m^2.ano$)
Telha sanduíche de poliuretano expandido	0,5	25	98,8
Telha sanduíche de poliestireno expandido	0,6	25	99,0
Isolante térmico junto a telha	0,7	60	100,7
Telha sanduíche de poliuretano expandido sem forro	0,8	25	96,0
Telha sanduíche de poliestireno expandido sem forro	0,9	25	101,3
Telha metálica ondulada branca $e=0,65mm$	1,1	20	95,0
Telha metálica ondulada $e=0,65mm$	1,1	25	101,5
Barreira radiante junto ao forro	1,1	60	96,9
Isolante térmico junto ao forro	1,1	60	97,1
Barreira radiante junto a telha	1,1	60	102,6
Forro de PVC	1,7	60	108,0
Telha ondulada de fibrocimento $e=8mm$	2,0	20	95,0
Caso Base	2,0	60	110,0
Inclinação da telha 35%	2,0	60	110,2
Forro de madeira	2,0	60	110,5
Telha onduline com fibra vegetal $e=8mm$	2,0	74	114,6

4.3.1 Consumo total anual por área

A máxima energia economizada em relação ao caso base ocorre nas alternativas onde os valores da absorptância são mais baixos (telhas pintadas de branco), salientando que esta economia independe do material da telha. O consumo cai 14% em relação ao caso base.

Nas alternativas de modificação da inclinação da telha, forro de madeira e uso da telha onduline clara, o consumo de energia é o mesmo. Salientando que esta telha onduline clara não existe à venda no mercado: ela foi analisada a partir da simulação da telha onduline vendida no mercado (escura) e, obtendo como resultado um consumo maior de energia em relação ao caso base (4%), optou-se por analisar o que aconteceria com a mesma telha, porém com uma absorvância mais baixa. Os resultados demonstraram que, com a modificação da absorvância, o consumo é praticamente o mesmo encontrado no caso base. A energia economizada usando-se barreira radiante ou isolante térmico é praticamente a mesma se localizados junto ao forro, da ordem de 12% em relação ao caso base (Tabela 4-4. Consumo total de energia das alternativas e energia economizada.

).

Tabela 4-4. Consumo total de energia das alternativas e energia economizada.

modelo	consumo total (MWh)	energia economizada (MWh)	consumo total anual por área (kWh/m ² .ano)	Diferença % de energia economizada
caso base	55,1		110,0	
telha de fibrocimento ondulada e=8mm clara	47,6	7,5	95,0	14%
Telha metálica ondulada em aço galvanizado e=0,65mm	50,9	4,2	101,5	8%
Telha onduline e=8mm (fibra vegetal)	57,4	-2,3	114,6	-4%
Telha metálica ondulada em aço galvanizado branca e=0,65mm	47,6	7,5	95,0	14%
Inclinação da telha de 35%	55,2	-0,1	110,2	0%
Barreira radiante junto à telha	51,4	3,7	102,6	7%
Barreira radiante junto ao forro	48,5	6,6	96,9	12%
Isolante térmico no forro	48,7	6,4	97,1	12%
Isolante térmico na telha	50,5	4,6	100,7	8%
Forro de madeira	55,4	-0,3	110,5	0%
Telha onduline cinza com fibra vegetal	54,8	0,3	109,4	0%
Forro de pvc	54,1	1,0	108,0	2%
Telha Sanduíche de poliestireno expandido	49,6	5,5	99,0	10%
Telha Sanduíche de poliuretano expandido sem forro	48,1	7,0	96,0	13%
Telha Sanduíche de poliuretano expandido	49,5	5,6	98,8	10%
Telha Sanduíche de poliestireno expandido sem forro	50,7	4,4	101,3	8%

Áticos não ventilados com barreira radiante apresentam desempenho similar ao uso de isolamento térmico, confirmando Soubdhan (2005).

4.3.2 Capacidade de resfriamento instalada

O maior impacto da alternativa de cobertura sobre o caso base corresponde às alternativas com absorvâncias mais baixas: telha metálica branca e telha de fibrocimento branca, ficando em torno de do caso base. E a menor diferença se verifica no uso do forro de madeira, sendo praticamente o mesmo custo de aquisição (Tabela 4-5).

Tabela 4-5. Capacidade de resfriamento instalada e diferença de custo de aquisição dos sistemas de condicionadores de ar das alternativas em relação ao caso base

sistema de cobertura	capacidade de resfriamento instalada (kW)	capacidade de resfriamento instalada em relação ao caso base	diferença do custo de condicionador de ar em relação ao caso convencional (R\$)
caso base	104,09		45.807,34
telha de fibrocimento ondulada e=8mm clara	81,16	78%	-10.090,91
Telha metálica ondulada em aço galvanizado e=0,65mm	90,48	87%	-5.989,41
Telha onduline e=8mm (fibra vegetal)	111,3	107%	3.172,94
Telha metálica ondulada em aço galvanizado branca e=0,65mm	79,6	76%	-10.777,42
Inclinação da telha de 35%	104,99	101%	396,07
Barreira radiante junto à telha	92,18	89%	-5.241,29
Barreira radiante junto ao forro	80,79	78%	-10.253,73
Isolante térmico no forro	79,92	77%	-10.636,60
Isolante térmico na telha	86,86	83%	-7.582,48
Forro de madeira	104,58	100%	215,64
Telha onduline cinza com fibra vegetal	111,3	107%	3.172,94
Forro de pvc	99,04	95%	-2.222,38
Telha Sanduíche de poliestireno expandido	83,96	81%	-8.858,70
Telha Sanduíche de poliuretano expandido sem forro	91,87	88%	-5.377,71
Telha Sanduíche de poliuretano expandido	83,51	80%	-9.056,73
Telha Sanduíche de poliestireno expandido sem forro	96,95	93%	-3.142,13

4.3.3 Barreira radiante

Há uma confirmação dos estudos de Miranville (2003), demonstrando que a localização da barreira radiante interfere na energia economizada em relação ao caso base. Quando localizada junto ao forro, a economia em relação à localização da barreira radiante junto à telha é praticamente o dobro. Estima-se que é decorrente do contato da barreira

radiante com a telha (superfície com temperatura mais alta), ocorrendo o aumento da temperatura por condução (Figura 4-25).

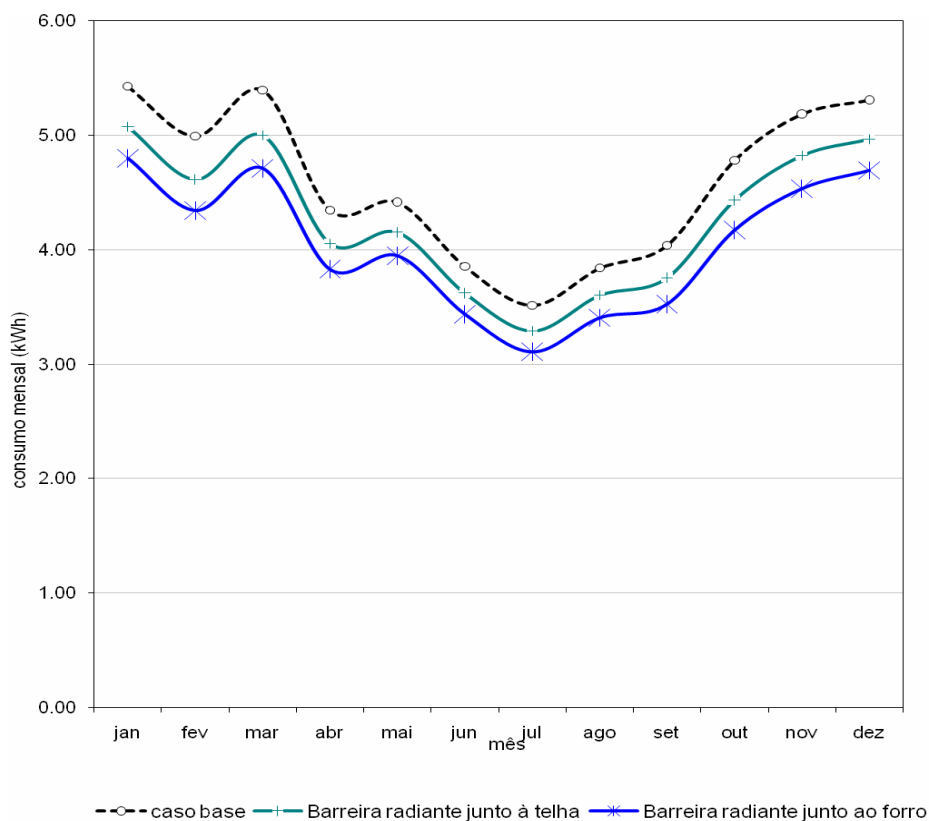


Figura 4-22. Diferenças de consumo mensal quanto à localização das barreiras radiantes

4.3.4 Isolante térmico

O melhor desempenho em relação ao caso base no uso do isolante térmico é com a telha sanduíche de poliuretano expandido sem forro, acarretando uma diferença no consumo de energia da ordem de 13%.

Independente do tipo de isolante utilizado, a telha sanduíche quando adicionado o forro de gesso proporciona similar economia de energia.

No caso da telha sanduíche utilizada sem forro, o poliuretano como isolante possui melhor desempenho energético, economizando 13% em relação ao caso base, enquanto que o uso do poliestireno economiza 8% (Figura 4-26).

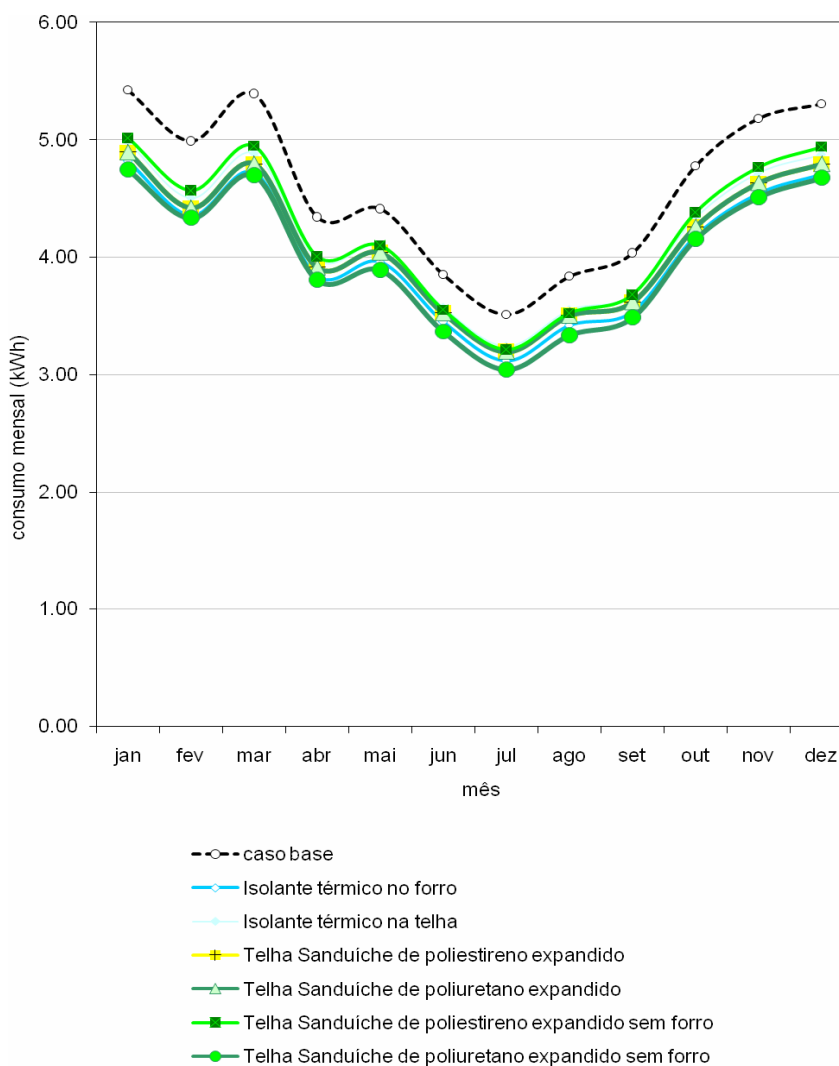


Figura 4-23. Diferenças de consumo mensal quanto ao tipo e localização do isolante térmico

Destaca-se que a aplicação da telha de fibrocimento com forro de gesso e isolante térmico que o melhor desempenho ocorre quando o mesmo se localiza junto ao forro. Nos estudos de Al-Sanea (2002), a localização junto ao forro também é destacada como a mais eficiente energeticamente.

4.3.5 Diferença de consumo em relação aos meses do ano

O consumo de energia varia ao longo dos meses do ano, onde o menor consumo de energia, para todas as alternativas analisadas, é nos meses de junho, julho e agosto (Figura 4-27). Isto se deve à orientação da fachada com painéis envidraçados (fachada sul), tendo a incidência solar nos meses de setembro a março.

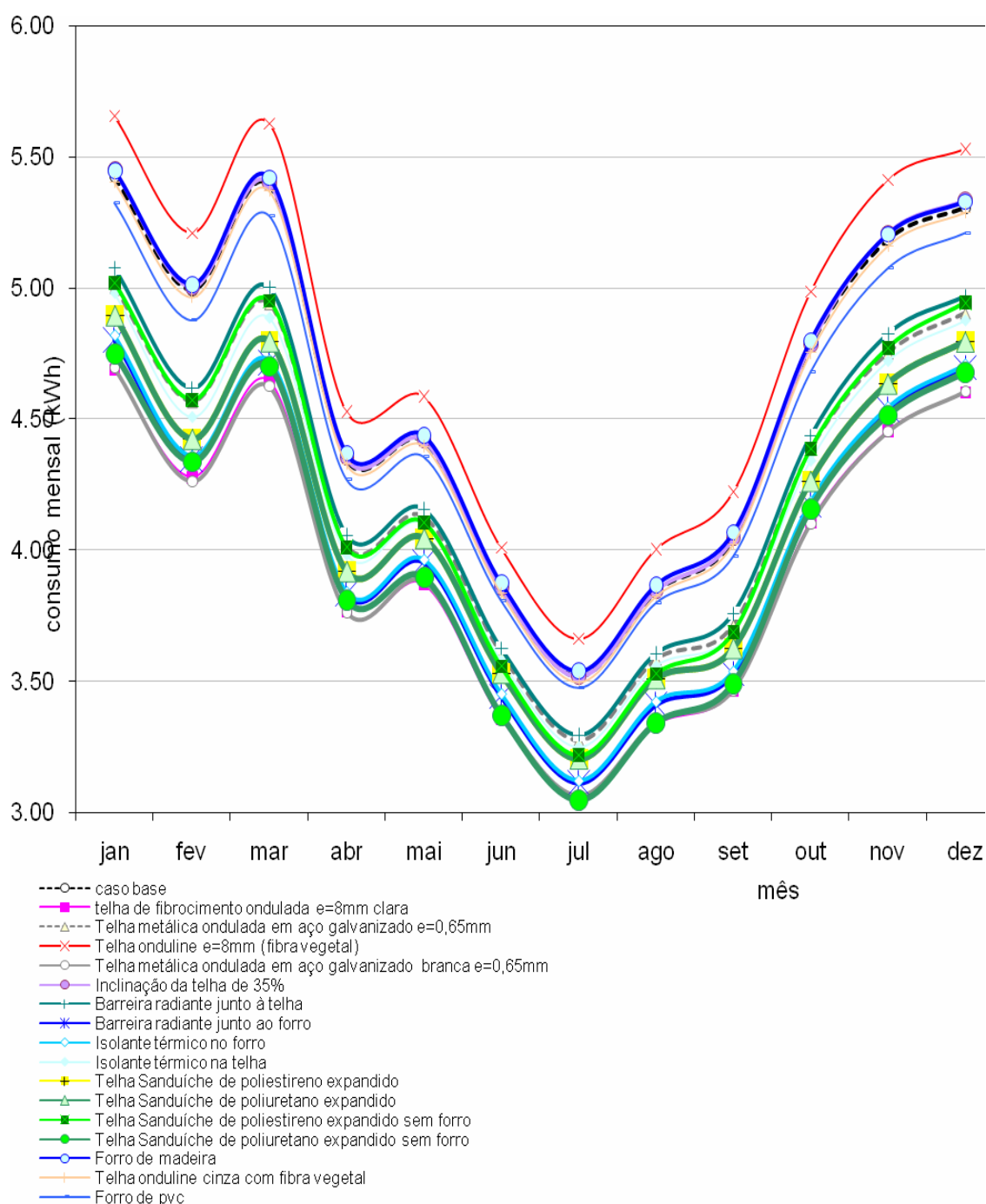


Figura 4-24. Diferença de consumo com relação aos meses do ano

4.4 ANÁLISE DE SENSITIVIDADE X SIMULAÇÕES DAS ALTERNATIVAS

A comparação entre os resultados encontrados na análise de sensibilidade com os resultados das alternativas demonstra uma concordância nos dois casos. A diferença de transmitância de 0,7 para 2,0 W/m².K para uma mesma absorvância de 0,60 nas alternativas representa um aumento de 10% no consumo de energia. Para os casos com mesma

transmitância de 2,0 W/m².K, aumentando-se a absortância de 0,20 para 0,74, o consumo de energia aumenta 20%.

Para o fator de calor solar, os resultados das simulações das alternativas foram superiores ou coincidiram com os maiores resultados da análise de sensibilidade (Figura 4-25), principalmente para os modelos de fator de calor solar mais baixo.

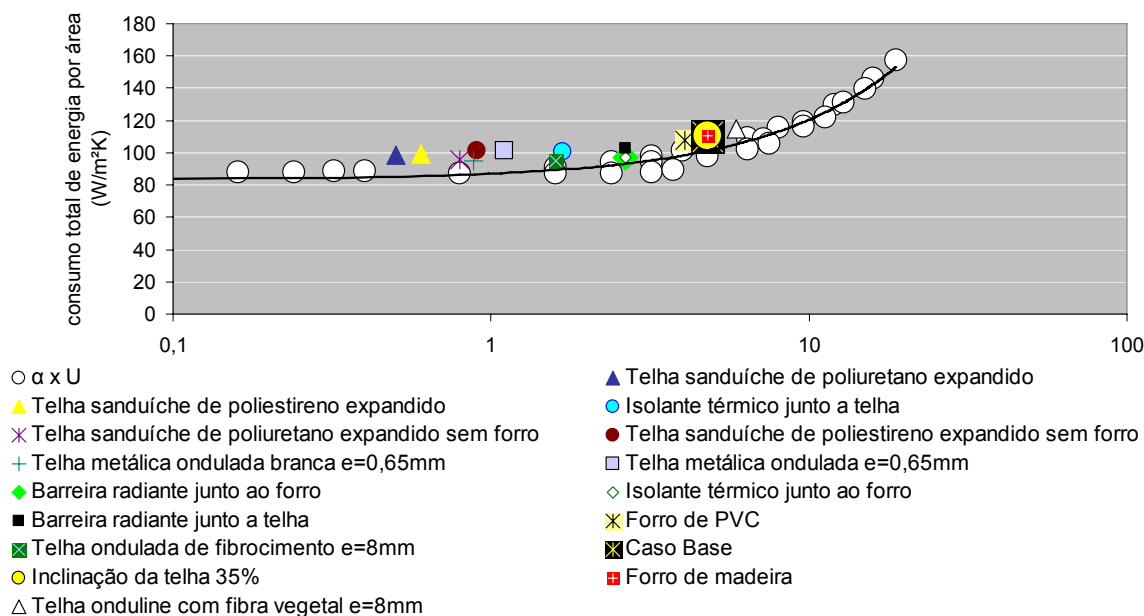


Figura 4-25. Comparação dos resultados empregando fator de calor solar como parâmetro.

4.5 CUSTO

Os custos são apresentados na Tabela 4-6. Não foram adicionados valores para as obrigações sociais dos preços da mão-de-obra pesquisados no mercado local por considerar que esses custos estão inseridos no preço dado pelos profissionais. Na maioria dos casos, estes profissionais trabalham como autônomos, prestando serviços em construtoras e são responsáveis pelos pagamentos dos seus custos sociais.

Para efeito de cálculo do valor dos sistemas de cobertura, o BDI (bônus de despesas indiretas) também não foi acrescentado porque é considerado um bônus de despesas indiretas, ou seja, é um valor acrescentado ao valor do serviço para cobrir um eventual erro no cálculo do custo. Assim, o custo dos sistemas de cobertura neste trabalho é composto pela soma do valor da aquisição do material, custo da mão-de-obra e eventual manutenção com limpeza ou repintura da parte externa das telhas.

Tabela 4-6. Custo e vida útil de materiais

MATERIAL	PREÇO	FONTE DE PESQUISA	VIDA ÚTIL (anos)
TELHAS			

Fibrocimento 8 mm	R\$ 41,00/un	Revista Construção Mercado, preço cotado em São Paulo	45
onduline	R\$ 35,90/un	Mercado local	35
Metálica (aço galvanizado e= 0,65mm e largura útil de 988mm)	R\$ 26,44/m ²	Revista Construção Mercado, preço cotado em São Paulo	45
Sanduiche com poliuretano, utilizando a telha de aço	R\$ 81,33/m ²	Revista Construção Mercado, preço cotado em São Paulo	45
Sanduiche com poliestireno expandido	R\$ 81,33/m ²	Revista Construção Mercado, preço cotado em São Paulo	45
FORROS (material e mão-de-obra)			
Placas de gesso 50cm x 50cm (2cm), incluindo emassamento e pintura	R\$ 18,00/m ²	Mercado local	10
PVC (1cm)	R\$ 27,00/m ²	Mercado local	25
Lambri de madeira (1cm)	R\$ 58,00/m ²	Mercado local	25
PINTURA (material)			
Lavável na cor branca	R\$ 0,80/m ²	Construtor local	2
Aparelhamento e pintura em esmalte sintético	R\$ 6,00/m ²	Construtor local	5
OUTROS MATERIAIS			
poliestireno expandido 3 cm	R\$ 3,00/m ²	Mercado local	15
Barreira radiante 1 face	R\$ 4,70/m ²	Mercado local	2
Barreira radiante 2 faces	R\$ 6,50/m ²	Mercado local	2
Laje pre-moldada de forro incluindo material (concreto, laje e reboco) e mão-de-obra.	R\$ 50,00/m ²	Construtor local	45
Linha 3"x 8"	R\$ 24,20/m	Mercado local	45
frechal	R\$ 4,95/m	Mercado local	45
MÃO-DE-OBRA			
Mestre de obras	R\$ 5,23/hora normal	SINDUSCON/RN	
Contra Mestre	R\$ 3,60/hora normal	SINDUSCON/RN	
Profissional	R\$ 2,45/hora normal	SINDUSCON/RN	
Auxiliar	R\$ 2,06/hora normal	SINDUSCON/RN	
Servente	R\$ 2,04/hora normal	SINDUSCON/RN	
Estrutura de madeira para cobertura	R\$ 5,00/m ²	Profissional local	
Aplicação de telhas (seja ela onduline, fibrocimento ou metálica)	R\$ 4,00/m ²	Profissional local	
Pintura lavável na cor branca	R\$ 0,40/m ²	Construtor local	
Pintura em esmalte sintético com aparelhamento	R\$ 3,00/m ²	Construtor local	

4.5.1 Cálculo dos custos do caso base e alternativas

Caso Base – telha de fibrocimento com forro de gesso

Para o caso base, serão utilizadas telhas de fibrocimento de dimensões 1,10 x 2,44m, estrutura de sustentação em madeira com linhas 3"x 8", no sentido longitudinal da telha e frechais no sentido transversal ao maior tamanho da telha. A inclinação do telhado é

de 10%. O vão considerado é de 18,80m x 28,15m; portanto, a quantidade de telhas necessárias para cobrir um vão de 18,80m (17,80m da edificação e 1,00m de beiral) – 19 telhas x 28,15 m – 12 telhas será de $19 \times 12 = 228$ telhas.

Considera-se, um transpasse de 14 cm como recobrimento no sentido longitudinal, para assim, ajustar o tamanho da telha e não haver a necessidade de custear a mão-de-obra para corte da mesma: todas as telhas, neste caso, serão usadas inteiras.

No sentido transversal, o recobrimento será de 11 cm para também usar as telhas inteiras e evitar o desperdício da mão-de-obra do corte.

Neste caso, para o cálculo da mão-de-obra de instalação e fixação das telhas foi utilizado o TCPO 13, tendo como resultado que o ajudante do telhadista gasta 0,60h e o telhadista 0,30h para instalar 1m² de telha. Os preços desta mão-de-obra foram retirados da tabela do SINDUSCON/RN. Fazendo-se estes cálculos e conferindo com a realidade local, obtém-se valores que não condizem com a realidade da construção civil em Natal. Os valores encontrados são muito baixos. Assim, para este caso, utilizam-se os valores pesquisados nas construtoras locais, por acreditar que estes são mais significativos, já que refletem a capacidade de trabalho dos profissionais locais. Logo, esta mão-de-obra custa R\$ 4,00/m², já somados os valores do telhadista e ajudante de telhadista.

No cálculo da estrutura de sustentação do telhado, tem-se 28 linhas de madeira 3"x 8", com 7,07 m cada, totalizando 197,96m; e 28 apoios em frechais de madeira com 18,80m cada, totalizando 526,40m de frechal. Assim, calcula-se o valor deste material e divide-se pela área de estrutura de madeira, a fim de obter o valor da estrutura/m², já que o TCPO calcula o valor da mão-de-obra deste serviço por m². Nesta tabela é dado que o ajudante de carpinteiro e o carpinteiro dispendem 1 hora para executar cada m² deste serviço.

Portanto, para uma área de estrutura de (4 x 7,07 x 18,80) de 531,67m², estima-se um gasto de 531,67 horas para cada profissional. Utilizando-s da tabela do SINDUSCON/RN, obtém-se um valor de R\$ 2,45/h de carpinteiro e R\$ 2,06/h de ajudante, obtendo um valor de R\$ 4,51/m² de estrutura. Este valor é próximo da realidade local, se pesquisado em construtoras e pessoas que executam este tipo de serviço. Porém, o custo local, obtido por profissional local da área é R\$ 5,00/m²; então, este será o valor adotado no trabalho.

Para o cálculo da área total de cobertura soma-se a área da edificação com a área correspondente ao beiral da parte posterior da edificação, levando-se em consideração a inclinação do telhado. Portanto, a área total de cobertura será (4 x 7,07 x 18,80) de 531,67m². No cálculo da quantidade de telhas é levado em consideração o aumento da área com a inclinação de 10% em relação à área construída.

O forro de gesso é plano e considera-se a área construída sem as paredes como sendo a área total deste forro. Assim, tem-se 4 vãos de 6,85m x 17,50m, obtendo-se uma área total de forro de gesso de 479,50 m² (Tabela 4-7).

Tabela 4-7. Composição de preço do caso base

MATERIAL	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
Telha de fibrocimento 8mm (1,10m x 2,44m)	228 un	41,00	9.348,00
Estrutura de madeira (197,96 m de linha 3"x 8") e 526,40m de frechais	531,67 (197,96m x R\$19,94 de linha e 526,40m x R\$4,95 de frechal)	12,33	6.555,50
Forro de gesso (incluindo material e mão-de-obra)	479,50 m ²	18,00	8.631,00
Mão – obra (estrutura)	531,67 m ²	5,00	2.658,35
Mão-de-obra (aplicação e fixação das telhas)	531,67 m ²	4,00	2.126,68
TOTAL			29.319,53

Telha ondulada de fibrocimento e=8mm branca com forro de gesso

Para esta alternativa, foi considerada a telha de fibrocimento pintada em sua parte superior na cor branca, usando tinta lavável em três demãos. São considerados os custos do caso base, acrescidos do valor desta pintura. O preço de mercado da pintura já engloba o material e a mão-de-obra do serviço (

Tabela 4-8).

Tabela 4-8. Composição de preço da alternativa de telha de fibrocimento e=8mm branca com forro de gesso

MATERIAL	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
----------	------------	----------------------	-------------------

		(R\$)	
Telha de fibrocimento	228 un	41,00	9.348,00
Estrutura de madeira	531,67 (197,96m x R\$19,94 de linha e 526,40m x R\$4,95 de frechal)	12,33	6.555,50
Forro de gesso (incluindo material e mão-de-obra)	479,50 m ²	18,00	8.631,00
Mão-de-obra (estrutura)	531,67 m ²	5,00	2.658,35
Mão-de-obra (aplicação e fixação das telhas)	531,67 m ²	4,00	2.126,68
Pintura branca nas telhas (material e mão-de-obra)	531,67 m ²	1,20	638,00
TOTAL			29.957,53

Telha metálica ondulada e=0,65mm

Nesta alternativa, a telha de fibrocimento é substituída por telha metálica de aço galvanizado, permanecendo o forro de gesso constante no caso base.

Para a telha de aço galvanizado com dimensões 1,08 x 2,10m é necessário o uso de mais um apoio nos frechais de estrutura de madeira e utiliza-se um maior número de telhas com corte em algumas delas, já que as suas dimensões não se encaixam perfeitamente no vão das lojas e também não é possível um ajuste no seu recobrimento.

Como a mão-de-obra da estrutura de madeira é por m², o aumento do número de frechais não incidirá no valor total da mão-de-obra; apenas terá o custo adicional da aquisição deste material (

Tabela 4-9).

Tabela 4-9. Composição de preços usando a telha metálica ondulada e=0,65mm

MATERIAL	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
Telha de aço galvanizado cor natural (1,08 x 2,10m)	531,67 m ²	26,44	14.057,35
Estrutura de madeira	531,67 m ²	13,03	6.927,66
Forro de gesso (material e mão-de-obra)	479,50 m ²	18,00	8.631,00
Mão-de-obra (estrutura)	531,67 m ²	5,00	2.658,35
Mão-de-obra (aplicação e fixação das telhas)	531,67 m ²	4,00	2.126,68
TOTAL			34.401,04

Telha onduline e=8mm (fibra vegetal)

Há a substituição da telha de fibrocimento por telha onduline, permanecendo o forro de gesso e a mesma estrutura de madeira do caso base.

No caso da telha onduline, que possui dimensões de 0,95 x 2,00, são necessárias 16 telhas no sentido transversal x 22 telhas no sentido longitudinal; sendo, portanto, necessárias 354 telhas para a cobertura total desta edificação.

A quantidade de material para a estrutura de madeira é a mesma necessária para a telha metálica de aço galvanizando.

Tabela 4-10. Composição de preços usando a telha onduline e=8mm

MATERIAL	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
Telha onduline (2,00 x 0,95m)	354 un	35,90	12.708,60
Estrutura de madeira	531,67 m ²	13,03	6.927,66

Forro de gesso (material e mão-de-obra)	479,50 m ²	18,00	8.631,00
Mão-de-obra (estrutura)	531,67 m ²	5,00	2.658,35
Mão-de-obra (aplicação e fixação das telhas)	531,67 m ²	4,00	2.126,68
TOTAL			33.052,29

Telha metálica ondulada branca e=0,65mm

Neste caso, a parte superior da telha ondulada em aço galvanizado é pintada com esmalte sintético na cor branca, permanecendo o forro de gesso do caso base (Tabela 4-11)

Tabela 4-11. Composição de preços usando a telha metálica ondulada branca e=0,65mm

MATERIAL	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
Telha de aço galvanizado cor natural	531,67 m ²	26,44	14.057,35
Estrutura de madeira	531,67 m ²	13,03	6.927,66
Forro de gesso (material e mão-de-obra)	479,50 m ²	18,00	8.631,00
Mão-de-obra (estrutura)	531,67 m ²	5,00	2.658,35
Mão-de-obra (aplicação e fixação das telhas)	531,67 m ²	4,00	2.126,68
Pintura branca na telha (material e mão-de-obra)	531,67 m ²	9,00	4.785,03
TOTAL			39.186,07

Inclinação da telha para 35%

Nesta alternativa, a diferença de custo entre este caso e o caso base está no aumento do vão para aplicação das telhas, que passará de 7,07 m para 7,42 m, necessitando de mais 28 telhas para complementação da cobertura. Assim, a área a ser coberta pelas telhas passará de 531,67 m² para 558 m². Nota-se que, neste caso, haverá uma perda de material nas telhas, que será computado como material utilizado, já que não tem como comprar frações de telha no mercado local (Tabela 4-12).

Tabela 4-12. Composição de preços modificando a inclinação do telhado

MATERIAL	QUANTIDADE	VALOR	VALOR TOTAL
----------	------------	-------	-------------

		UNITÁRIO (R\$)	(R\$)
Telha de fibrocimento	256 un	41,00	10.496,00
Estrutura de madeira	558 m ²	12,33	6.880,14
Forro de gesso (material e mão-de-obra)	479,50 m ²	18,00	8.631,00
Mão – obra (estrutura)	558 m ²	5,00	2.790,00
Mão-de-obra (aplicação e fixação das telhas)	558 m ²	4,00	2.232,00
TOTAL			31.029,14

Barreira radiante de duas faces

A barreira radiante é acrescentada ao sistema de cobertura composto por telha de fibrocimento ondulada 8mm + forro de gesso. Para tanto, foi feita a cotação do preço da barreira radiante com duas faces laminadas (Tabela 4-13).

Tabela 4-13. Composição de preços utilizando a barreira radiante

MATERIAL	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
Telha de fibrocimento	228 un	41,00	9.348,00
Estrutura de madeira	531,67 m ²	12,33	6.555,50
Forro de gesso (incluindo material e mão-de-obra)	479,50 m ²	18,00	8.631,00
Mão-de-obra (estrutura)	531,67 m ²	5,00	2.658,35
Mão-de-obra (aplicação e fixação das telhas)	531,67 m ²	4,00	2.126,68
aquisição e aplicação da barreira radiante na cobertura	531,67 m ²	6,50	3.455,86
TOTAL			32.775,39

Isolante térmico poliestireno expandido (EPS)

O isolante térmico é acrescentado ao sistema de cobertura composto por telha de fibrocimento + forro de gesso. O preço do isolante cotado foi o poliestireno expandido, com 3 cm de espessura, vendido no mercado local em placas de 0,50cm x 1,00m (

Tabela 4-14).

Tabela 4-14. Composição de preço utilizando isolante térmico

MATERIAL	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
Telha de fibrocimento	228 un	41,00	9.348,00
Estrutura de madeira	531,67 m ²	12,33	6.555,50
Forro de gesso (incluindo material e mão-de-obra)	479,50 m ²	18,00	8.631,00
Mão-de-obra (estrutura)	531,67 m ²	5,00	2.658,35
Mão-de-obra (aplicação e fixação das telhas)	531,67 m ²	4,00	2.126,68
aquisição do poliestireno expandido 3cm	479,50 m ²	9,60	4.603,20
Mão-de-obra de aplicação do isolante (0,20 horas de ajudante/m ² – SINDUSCON/RN)	479,50 m ²	0,41	196,60
TOTAL			34.119,33

Telha sanduíche cor natural

Neste caso, a telha de fibrocimento foi substituída por telha sanduíche. O forro de gesso permaneceu neste sistema (Tabela 4-15).

Adotou-se o mesmo preço para as telhas sanduíches analisadas, independentemente do isolante utilizado. Isto ocorreu por não se ter conseguido o preço real da telha sanduíche de poliuretano, colocando assim, o preço da telha sanduíche de poliestireno para os dois casos.

Tabela 4-15. Composição de preço utilizando telha sanduíche

MATERIAL	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
Telha sanduíche cor natural	531,67 m ²	81,33	43.240,72
Estrutura de madeira	531,67 m ²	13,03	6.027,66
Forro de gesso (mat.e mão-de-obra)	479,50 m ²	18,00	8.631,00
Mão – obra (estrutura)	531,67 m ²	5,00	2.658,35
Mão-de-obra (aplicação e fixação das telhas)	531,67 m ²	12,00	6.380,04
TOTAL			66.937,77

Telha sanduíche sem forro

Esta alternativa é composta de telha sanduíche sem o forro de gesso constante no caso base. Sendo a composição de preços dada pelos valores da estrutura de madeira e telha sanduíche, tanto da aquisição do material quanto do valor da mão-de-obra (Tabela 4-16).

Tabela 4-16. Composição de preços da telha sanduíche sem forro

MATERIAL	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
Telha sanduíche cor natural – utilizando poliuretano ou poliestireno	531,67 m ²	81,33	43.240,72
Estrutura de madeira	531,67 m ²	13,03	6.027,66
Mão – obra (estrutura)	531,67 m ²	5,00	2.658,35
Mão-de-obra (aplicação e fixação das telhas)	531,67 m ²	12,00	6.380,04
TOTAL			58.306,77

Forro de PVC

Para esta alternativa, o material do forro foi substituído por PVC, permanecendo a telha de fibrocimento neste sistema de cobertura (Tabela 4-17).

Tabela 4-17. Composição de preços utilizando o forro de PVC

MATERIAL	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
Telha de fibrocimento 8mm (1,10m x 2,44m)	228 un	41,00	9.348,00
Estrutura de madeira (197,96 m de linha 6"x 8") e 526,40m de frechais	531,67 m ²	12,33	6.555,50
Forro de PVC (incluindo material e mão-de-obra)	479,50 m ²	27,00	12.946,50
Mão – obra (estrutura)	531,67 m ²	5,00	2.658,35
Mão-de-obra (aplicação e fixação das telhas)	531,67 m ²	4,00	2.126,68
TOTAL			33.635,03

Forro de madeira

Neste caso, o material do forro foi substituído por lambri de madeira, espessura de 1cm, permanecendo a telha de fibrocimento e a mesma altura de câmara de ar neste sistema de cobertura (Tabela 4-18).

Tabela 4-18. Composição de preços utilizando forro de madeira

MATERIAL	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
Telha de fibrocimento 8mm (1,10m x 2,44m)	228 un	41,00	9.348,00
Estrutura de madeira (197,96 m de linha 6"x 8") e 526,40m de frechais	531,67 m ²	12,33	6.555,50
Forro de lambri de madeira (incluindo material e mão-de-obra)	479,50 m ²	58,00	27.811,00
Mão – obra (estrutura)	531,67 m ²	5,00	2.658,35
Mão-de-obra (aplicação e	531,67 m ²	4,00	2.126,68

fixação das telhas)			
TOTAL		96,81	48.499,53

4.6 CUSTO X BENEFÍCIO

Foram analisados o caso base e mais 16 alternativas de combinações de materiais para os sistemas de cobertas. Os resultados são obtidos por meio do método da relação custo-benefício das alternativas de sistema de cobertas analisados em relação ao caso base. O custo-benefício leva em consideração o peso dos custos anualizados totais esperados e dos benefícios anualizados totais esperados. Para a análise do custo-benefício na escolha do sistema construtivo de cobertas em Natal, algumas considerações devem ser feitas:

- Período de coleta de preços e índices financeiros: dez/2008;
- Índices financeiros utilizados: os índices utilizados pelo Procel para investimentos financeiros – 12% a.a; consumo energético: tarifa da Cosern;
- Vida útil dos materiais: estimados de acordo com entrevistas a construtores e vendedores de lojas do ramo;
- Área de abrangência: sistemas de cobertas na cidade de Natal/RN em edificações comerciais;
- Critério de decisão: a menor relação custo-benefício.

Primeiramente, são calculados os custos de aquisição dos materiais que constituem a coberta, levando-se em consideração a vida útil de cada material empregado, por meio do fator de remuneração de capital. Os custos com mão-de-obra de aplicação destes materiais na coberta só são computados no custo total do projeto (custos diretos + custos indiretos). À exceção apenas dos preços dos materiais coletados no mercado que já incluem aquisição de material e mão-de-obra de aplicação, como é o caso dos forros de gesso, PVC e lambri de madeira e das pinturas das telhas. Esta é uma limitação na coleta de dados, já que o método indica que o valor da mão-de-obra não deve entrar nesta parcela. O custo total anualizado da alternativa é encontrado por meio da soma dos custos dos equipamentos com mesma vida útil (corrigidos por meio do FRC) e acrescido da parcela correspondente aos outros custos diretos e indiretos (no caso, a mão-de-obra). A diferença do custo total anualizado de cada alternativa em relação ao custo total anualizado do caso base também foi calculada.

Os benefícios adotados para as alternativas são a energia economizada no consumo anual (calculada pela economia do consumo em relação ao caso base multiplicada pela

tarifa cobrada pela concessionária local (COSERN) para edificação comercial acrescido da diferença de custo de aquisição dos equipamentos de refrigeração em relação aos custos de aquisição dos equipamentos de refrigeração do caso base.

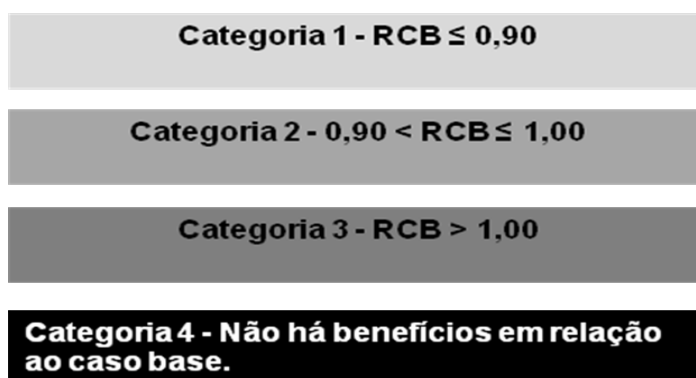
A tarifa adotada no cálculo dos custos com energia foi a cobrada pela concessionária do estado (COSERN), sendo de R\$ 0,429/KWh para o mês de dezembro/2008. Neste valor estão inclusas as tarifas de geração de energia, transmissão, distribuição da COSERN, encargos setoriais e tributos (Tabela 4-19). Não é considerada nesta tarifa a taxa de iluminação pública cobrada na conta de energia elétrica.

Tabela 4-19. Composição dos custos da energia cobrada pela COSERN

COMPOSIÇÃO DO CONSUMO	%
Geração de energia	21,53
Transmissão	4,89
Distribuição (COSERN)	32,94
Encargos Setoriais	7,30
Tributos	33,34
Total	100,00

Para determinação dos custos de aquisição dos equipamentos de refrigeração foi feita uma pesquisa de mercado em alguns sites da internet, fazendo-se um gráfico com os valores encontrados. A partir daí, fez-se uma normalização do gráfico e achou-se um valor uniforme de aproximação de R\$ 0,13/Btu/h (Apêndices).

Observa-se que as alternativas de cobertas podem ser classificadas em 4 categorias:



Os casos em que a relação custo-benefício é menor ou igual a 0,90 são consideradas as melhores, significando que a diferença de custo de implantação anualizado da alternativa em relação ao caso base é compensada pelos benefícios advindos desta mesma alternativa. O valor de 0,90 foi escolhido para este limite por ser em torno de 10%, na prática, o percentual de ajuste no orçamento de obras de construção civil. Assim, a alternativa será viável, mesmo considerando eventuais variações de orçamento.

Nos casos em que a $0,90 < RCB \leq 1,00$, a alternativa é viável, desde que o orçamento represente exatamente os gastos na implantação do sistema de coberta.

Portanto, há um risco de um erro no orçamento compensar os benefícios advindos da alternativa.

Para $RCB > 1,00$, apesar de produzir benefícios, o custo anualizado de implantação do sistema em relação ao caso base não justifica a sua implantação; superando assim, os benefícios que advém da alternativa.

As alternativas que não produzem benefícios em relação ao caso base são aquelas onde o consumo de energia aumentou em relação ao caso base e não houve economia financeira no dimensionamento dos equipamentos de refrigeração.

A melhor alternativa analisada em relação ao caso base é a telha de fibrocimento pintada de branco, obtendo uma relação custo-benefício de 0,096. Isto significa que o custo anualizado adicional desta alternativa em relação ao caso base representa 9,6% dos benefícios advindos desta alternativa. Observa-se também que a soma dos benefícios, nesta alternativa, em relação ao caso base é maior que o custo anualizado de implantação do caso base. Ou seja, a economia utilizando esta alternativa permite a aquisição de outro sistema de coberta semelhante ao caso base, com uma diferença positiva de 13,96%.

A diferença no custo de aquisição dos equipamentos de refrigeração desta alternativa em relação ao caso base equivale ao preço de mercado de aquisição de um split de 7500 btus/ano (Tabela 4-21).

Tabela 4-20. Relação custo-benefício – caso base x alternativas

SISTEMA DE COBERTA	CUSTO ANUALIZADO TOTAL (R\$)	DIFERENÇA (A) (R\$)	ENERGIA ECONOMIZADA (B) (R\$)	DIFERENÇA DE CUSTO DOS SPLITS (C) (R\$)	RCB = (A)/(B + C)
Caso Base	4.120,09				
Telha de fibrocimento ondulada e=8mm clara	4.571,22	451,13	3.213,74	1.481,59	0,0961
Forro de PVC	4.267,16	147,07	417,85	326,30	0,1976
Isolante térmico na telha	5.227,45	1.107,36	1.989,39	1.113,29	0,2563
Telha metálica ondulada em aço galvanizado e=0,65mm	4.853,27	733,18	1.821,21	879,39	0,2714
Isolante térmico no forro	5.227,45	1.107,36	2.759,06	1.561,71	0,3569
Telha metálica ondulada em aço galvanizado e=0,65mm branca	6.439,57	2.319,48	3.212,96	1.582,39	0,4837
Barreira radiante junto ao forro	6.563,72	2.443,63	2.819,14	1.505,50	0,5650
Telha Sanduiche de poliuretano expandido sem forro	7.108,63	2.988,54	3.013,46	789,58	0,7858
Barreira radiante junto a telha	6.563,72	2.443,63	1.870,39	769,55	0,9256
Telha onduline cinza e=8mm (fibra vegetal)	4.658,67	538,58	114,88	465,86	0,9274
Telha Sanduiche de poliestireno expandido sem forro	7.108,63	2.988,54	1.870,39	461,34	1,2816
Telha Sanduiche de poliuretano expandido	8.934,10	4.814,01	2.404,37	1.329,75	1,2892
Telha Sanduiche de poliestireno expandido	8.934,10	4.814,01	2.351,89	1.300,67	1,3180
Forro de madeira	6.532,09	2.412,00	-112,41	-31,66	sem benefício
Telha onduline e=8mm (fibra vegetal)	4.658,67	538,58	-994,49	-465,86	sem benefício
Inclinação da telha de 35%	4.332,57	212,48	-46,52	-58,15	sem benefício

4.6.1 Categoria 1

Nesta categoria, estão presentes os sistemas de cobertas que possuem $RCB \leq 0,90$. A diferença na relação custo - benefício das alternativas apresentadas nesta categoria: o

investimento (custo) adicional em relação ao caso base varia de 9,6% a 78,6% do benefício adquirido na escolha da alternativa em relação ao caso base (Tabela 4-21).

Na Tabela 4-21 a importância da localização tanto da barreira radiante quanto do isolante térmico, estando presentes nesta categoria apenas as alternativas onde estes componentes são instalados junto ao forro. Outro ponto observado é a presença da telha sanduíche usando o poliuretano e sem forro. Isto demonstra que no uso da telha sanduíche não justifica o benefício do uso do forro em relação ao seu custo de aquisição.

Tabela 4-21. Relação custo-benefício – caso base x alternativas – Categoria 1

SISTEMA DE COBERTA	CUSTO ANUALIZADO TOTAL DA ALTERNATIVA (R\$)	DIFERENÇA (A) (R\$)	ENERGIA ECONOMIZADA (B) (R\$)	DIFERENÇA DE CUSTO ANUALIZADO DOS SPLITS (C) (R\$)	RCB = (A)/(B + C)
Telha de fibrocimento ondulada e=8mm clara	4.571,22	451,13	3.213,74	1.481,59	0,0961
Forro de PVC	4.267,16	147,07	417,85	326,30	0,1976
Isolante térmico na telha	5.227,45	1.107,36	1.989,39	1.113,29	0,2563
Telha metálica ondulada em aço galvanizado e=0,65mm	4.853,27	733,18	1.821,21	879,39	0,2714
Isolante térmico no forro	5.227,45	1.107,36	2.759,06	1.561,71	0,3569
Telha metálica ondulada em aço galvanizado e=0,65mm branca	6.439,57	2.319,48	3.212,96	1.582,39	0,4837
Barreira radiante junto ao forro	6.563,72	2.443,63	2.819,14	1.505,50	0,5650
Telha Sanduíche de poliuretano expandido sem forro	7.108,63	2.988,54	3.013,46	789,58	0,7858

Assim, a telha sanduíche utilizando poliuretano expandido sem forro é a única alternativa de telha sanduíche economicamente viável em relação ao caso base para o clima de Natal, sob a ótica da RCB.

4.6.2 Categoria 2

Os sistemas classificados nesta categoria possuem $0,90 < RCB \leq 1,00$.

A alternativa da telha onduline se fabricada em cor mais clara passaria a ser mais viável que o caso base, melhorando em 7% a sua RCB em relação ao caso base.

Os sistemas classificados nesta categoria possuem, praticamente, a mesma relação custo-benefício; salientando-se que estas alternativas são viáveis, porém com um ganho no seu uso em relação ao caso base em torno de 10%. Esta diferença pode ser anulada se houver algum erro na composição de preços da cobertura (Tabela 4-22)

Tabela 4-22. Relação custo-benefício – caso base x alternativas – Categoria 2

SISTEMA DE COBERTA	CUSTO ANUALIZADO TOTAL DA ALTERNATIVA (R\$)	DIFERENÇA EM RELAÇÃO AO CASO BASE (A) (R\$)	VALOR DA ENERGIA ECONOMIZADA POR ANO (B) (R\$)	DIFERENÇA DE CUSTO ANUALIZADO NA AQUISIÇÃO DOS SPLITS (C) (R\$)	RCB = (A)/(B + C)
Barreira radiante junto a telha	6.563,72	2.443,63	1.870,39	769,55	0,9256
Telha onduline cinza e=8mm (fibra vegetal)	4.658,67	538,58	114,88	465,86	0,9274

A localização tanto da barreira radiante quanto do isolante interfere no consumo de energia e no dimensionamento dos condicionadores de ar. Isto pode ser observado na medida em que a alternativa de barreira radiante junto ao forro está classificado na Categoria 1, enquanto que a barreira radiante junto à telha está classificada na categoria 2.

4.6.3 Categoria 3

Nesta categoria, estão presentes as alternativas em que produzem benefícios, porém o seu custo de implantação é superior, causando uma $RCB > 1,0$. Estas alternativas não são viáveis economicamente em relação ao caso base (Tabela 4-23)

A alternativa da telha sanduíche de poliuretano expandido com forro possui RCB praticamente igual a alternativa da telha sanduíche de poliestireno sem forro. Este resultado da maioria das telhas sanduíche estarem enquadradas na categoria 3 indica que a solução da telha sanduíche para o clima de Natal não é adequada, tendo um benefício pequeno em relação ao seu custo.

Tabela 4-23. Relação custo-benefício – caso base x alternativas – Categoria 3

SISTEMA DE COBERTA	CUSTO ANUALIZADO TOTAL DA ALTERNATIVA (R\$)	DIFERENÇA EM (A) (R\$)	ENERGIA ECONOMIZADA (B) (R\$)	DIFERENÇA DE CUSTO ANUALIZADO DOS SPLITS (C) (R\$)	RCB = (A)/(B+C)
Telha Sanduiche de poliestireno expandido sem forro	7.108,63	2.988,54	1.870,39	461,34	1,2816
Telha Sanduiche de poliuretano expandido	8.934,10	4.814,01	2.404,37	1.329,75	1,2892
Telha Sanduiche de poliestireno expandido	8.934,10	4.814,01	2.351,89	1.300,67	1,3180

4.6.4 Categoria 4

Nesta categoria, estão representadas as alternativas que não produzem benefícios em relação ao caso base. Nestes casos, houve um aumento no consumo de energia e na aquisição dos splits se comparados ao caso base.

As alternativas da telha onduline, do forro de madeira e do aumento da inclinação do telhado não produzem nenhum benefício energético em relação ao caso base, por isso, não teve a sua RCB calculada (

Tabela 4-24).

Tabela 4-24. Relação custo-benefício – caso base x alternativas

SISTEMA DE COBERTA	CUSTO ANUALIZADO (R\$)	DIFERENÇA (A) (R\$)	ENERGIA ECONOMIZADA POR ANO (B) (R\$)	DIFERENÇA DE CUSTO ANUALIZADO DOS SPLITS (C) (R\$)	RCB = (A)/(B +C)
Forro de madeira	6.532,09	2.412,00	-112,41	-31,66	Não produz benefícios em relação ao caso base
Telha onduline e=8mm (fibra vegetal)	4.658,67	538,58	-994,49	-465,86	Não produz benefícios em relação ao caso base
Inclinação da telha de 35%	4.332,57	212,48	-46,52	-58,15	Não produz benefícios em relação ao caso base

Na tabela 4.26 apresentam-se os resultados obtidos no trabalho quanto ao desempenho térmico, energético e relação custo-benefício das alternativas em relação ao caso de referência – caso base.

Tabela 4-25. Desempenho energético x Relação custo-benefício

SISTEMA DE COBERTA	Diferença % de energia economizada em relação ao caso base	RCB = (A)/(B +C)
Caso Base		
Telha de fibrocimento ondulada e=8mm clara	14	0,0961
Forro de PVC	2	0,1976
Isolante térmico na telha	8	0,2563
Telha metálica ondulada em aço galvanizado e=0,65mm	8	0,2714
Isolante térmico no forro	12	0,3569
Telha metálica ondulada em aço galvanizado e=0,65mm branca	14	0,4837
Barreira radiante junto ao forro	12	0,5650
Telha Sanduiche de poliuretano expandido sem forro	13	0,7858
Barreira radiante junto a telha	7	0,9256
Telha onduline cinza e=8mm (fibra vegetal)		0,9274
Telha Sanduiche de poliestireno expandido sem forro	8	1,2816
Telha Sanduiche de poliuretano expandido	10	1,2892
Telha Sanduiche de poliestireno expandido	10	1,3180
Forro de madeira	0	Não produz benefícios em relação ao caso base
Telha onduline e=8mm (fibra vegetal)	-4	Não produz benefícios em relação ao caso base
Inclinação da telha de 35%	0	Não produz benefícios em relação ao caso base

CATEGORIA 1

2

3

4

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, a cobertura pode ter uma grande influência do consumo de energia de uma edificação. Os resultados para a tipologia selecionada e para o clima de Natal mostram a predominância de cargas térmicas de envoltória, principalmente de aberturas e cobertas, enquanto que as cargas térmicas geradas internamente são comparativamente baixas.

A quantificação do impacto por meio da análise de sensibilidade mostra que o consumo de energia elétrica total anual pode variar em até 82% (de 87 a 158 kWh/m² ao ano). Essa mesma variação pode ser obtida com a mudança da transmitância térmica apenas, ou da absorvância, ou combinando-as.

A combinação entre transmitância e absorvância demonstrou que quanto maior o valor da transmitância, maior é a influência da absorvância. Quando a transmitância térmica ou a absorvância for baixa, a influência da segunda variável é minimizada. Esse comportamento foi confirmado em diversas simulações de alternativas.

A baixa absorvância obtida por meio de cores claras é uma maneira eficaz de reduzir o consumo de energia. Todas as telhas claras obtiveram os melhores desempenhos na análise de sensibilidade e na simulação das alternativas. As alternativas de cobertas claras com transmitância térmica no limite da norma NBR-15220, 2,0 W/m².K, têm desempenho equivalente à cobertura com transmitância térmica muito baixa (0,50 W/(m².K)). O efeito da baixa absorvância também aparece na etiquetagem de edificações comerciais (PROCEL/ELETOBRÁS, 2007): o desempenho de uma cobertura clara de 2,0 W/(m².K) (limite superior para edificações condicionadas naturalmente) é o mesmo de uma cobertura clara de 1,0 W/(m².K) (limite superior para edificações condicionadas artificialmente).

Nenhuma das alternativas atendem os limites de transmitância térmica da ASHRAE 90.1, que varia entre 0,192 e 0,360 W/m².K para todas as edificações comerciais. Isso demonstra como os parâmetros da ASHRAE são incompatíveis com o mercado local. Entretanto, uma vez atendendo o parâmetro da ASHRAE de absorvância, inferior a 0,35, transmitâncias inferiores a 1 W/m².K proporcionam pouco benefício, segundo a análise de sensibilidade.

A caracterização do sistema de cobertura pelo fator de calor solar é suficiente para estimar seu consumo de energia, para os casos analisados. Porém ele é mais indicado como um parâmetro qualitativo do que quantitativo devido às variações que pode apresentar.

A alternativa com cobertura branca proporcionou 7% de redução do consumo de energia em relação à metálica, 16% em relação à cinza e 21% em relação à escura. A telha branca obteve melhor desempenho térmico que a cobertura refletiva, indicando a influência da baixa emissividade do material, conforme Simpson (1997).

Os resultados da relação custo-benefício indicam que as melhores alternativas envolvem a redução da absorvância da cobertura porque permitem economizar energia com custos baixos, conforme Simioni (2003). O custo chega a representar até mesmo 10% do benefício gerado.

Os custos das telhas analisadas do tipo sanduíche, com isolamento térmico, ainda são superiores aos benefícios. Na prática, a aquisição dessa telha pode ter descontos que levem a um RCB aceitável. Logo, recomenda-se que o método de análise de custo-benefício seja realizado a cada caso.

5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

As principais limitações do trabalho são:

- a influência do atraso térmico não foi analisada;
- não se considerou ventilação no ático;
- as transmitâncias térmicas das alternativas se limitou à faixa de 0,5 e 2,00 W/m².K;
- não foram consideradas as variações das propriedades termofísicas dos materiais devido ao processo de fabricação, componentes e conteúdo de umidade;
- simplificações no cálculo do RCB, como inobservância dos custos de manutenção, e materiais complementares, estimativas de vida útil, assim como modificações das propriedades térmicas dos sistemas de cobertas ao longo da vida útil;
- o arquivo climático de 1954 pode apresentar limitações, sobretudo devido à estimativa de radiação solar, que é calculada com base em cobertura de nuvens;
- O *software* apresenta limitações de modelagem do condicionador de ar, sobretudo das curvas de eficiência;

5.2 CONSIDERAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se as seguintes abordagens:

- aplicação da metodologia, porém com dados climáticos mais atuais e com medições de radiação solar;

- modelagem e simulação de áticos ventilados;
- detalhamento da composição de custos, com inclusão de mais elementos, como rufos, cumeeiras, calhas, dentre outros;
- analisar as variações das propriedades térmicas dos materiais da cobertura

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-15220: Desempenho Térmico de Edificações**. Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR-15220: Desempenho Térmico de Edificações**. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005c.

_____. **NBR-15220: Desempenho Térmico de Edificações** Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.

AKBARI, H; et al. Aging and weathering of cool roofing membranes. **Paper LBNL- 58055**, Berkeley National Laboratory (LBNL) University of California, 2005.

AKBARI, H; KONOPACKI S.; POMERANTZ M. Cooling energy savings potential of reflective roofs for residential and commercial buildings in the United States. **Energy** 24 (5): 391-407, 1999.

AKBARI, H.; LEVINSON, R. and BERDAHL, P. ASTM Standards for measuring solar reflectance and infrared emittance of construction materials and comparing their steady-state surfaces temperatures. ACEEE 1996 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings: Efficiency and Sustainability, vol. 1 pp. 1.1-1.9, 1996.

AL-SANEA, S. A. Thermal Performance of Building roof elements. **Building and Environment** 37: 665-675, 2002.

Aneel. **Manual para elaboração do programa de eficiência energética**. Ciclo 2005/2006.

ASHRAE. **Advanced energy design guide for small office buildings**. United States of America, 2004a.

_____. ANSI/ASHRAE Standard 90.2-2004. **Energy-Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings**. Atlanta, Ga., American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 2004b. 160 p.

_____. **Energy standard for buildings except low-rise residential buildings: American Society of Heating Refrigerating and Illuminating Engineering of North America**. ASHRAE Standard 90.1-2004. 2004c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-6401**: Instalações centrais de ar-condicionado para conforto – Parâmetros básicos de projeto. Rio de Janeiro, 1980.

BANNISTER, P. SEDA **Greenhouse Rating Scheme Methodology**. Energy Group Limited. Canberra: 27 August, p.13. 1999

CHANG, P-C; CHIANG C-M; LAI C-M. Development and preliminary evaluation of double roof prototypes incorporating RBS (radiant barrier system). **Energy and Buildings** 40: 140-147, 2008.

DESIGNBUILDER. **Design Builder Software Ltd.** 2005.

DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD. **DesignBuilder** 2000-2005.

_____. A ilusão das cores na identificação da absorptância solar de superfícies opacas. In: IX ENCONTRO NACIONAL E V LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Ouro Preto: Brazil, 2007.

ELETROBRÁS. <http://www.eletronbras.com.br/procel/2004>.

ELETROBRÁS/PROCEL. **Regulamentação para etiquetagem voluntária de nível de eficiência de edifícios comerciais, de serviços e públicos**. Brazil, 2007.

FERREIRA, F.L.S.; PRADO, R.T.A. Medição do albedo ou refletância dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil. In: ENCAC-COTED. Curitiba: Brazil, 2003.

GOULART, S., R. LAMBERTS e S. FIRMINO. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa e Construção/UFSC, 2 ed. 1998. 345 p.

HUI, S. C. C. Effective use of building energy simulation for enhancing building energy codes. **Building Simulation**. 2003.

LAMBERTS, R., LOMARDO, L., et al. **Eficiência energética em edificações**: Estado da Arte. Documento elaborado para o Programa Nacional de Conservação de Energia. Rio de Janeiro: PROCEL, ELETROBRÁS. 1996. 89p p.

LAMBERTS, R. Normalização em Eficiência Energética e Conforto Ambiental. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, IV. Salvador: Brazil, 1997. 40-44 p.

LAMBERTS, R., DUTRA, L., et al. Eficiência Energética na Arquitetura: PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia -ELETROBRAS). 1997. 176 p.

LAMBERTS, R., DUTRA L., et al. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo/SP, ProLivros. 2004

LIMA, G. L. F. **Influência das variáveis arquitetônicas no desempenho energético de hotéis no clima quente e úmido**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Natal, UFRN , 2006.

MACIEL, A. **Projeto Bioclimático em Brasília: Estudo de Caso em Edifício de Escritórios**. Monografia (Pós- Graduação em Engenharia Civil), Florianópolis, UFSC, 2002. 138 p.

MIRANVILLE, F.; BOYER H; MARA T; GARDE F. On the thermal behavior of roof-mounted radiant barriers under tropical and humid climatic conditions: modeling and empirical validation. **Energy and Building** 35: 997-1008, 2003.

OLIVEIRA, A. G. **Proposta de um método de classificação e de desempenho térmico de residências**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Natal, UFRN, 2006.

PARKER, D. S.; BARKASZI, S. F. Jr. Roof Solar reflectance and cooling energy use: Field research results from Florida. **Energy and Building** 25: 105-115, 1997.

PEDRINI, A. **Desenvolvimento de metodologia de calibração de modelos para simulações térmica e energética de edificações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Florianópolis, UFSC, 1997. 189 p.

_____. **Integration of low energy strategies to the early stages of design process off office buildings in warm climate**. Phd – Brisbane, Department of Architecture, University of Queensland, , 2003. 259 p.

RUNSHENG, T.; MEIER I. A.; ETZION Y. An analysis of absorbed radiation by domed an vaulted roofs as compared with flat roofs. **Energy and Building** 35: 539-548, 2003.

SIGNOR, R. **Análise de regressão do consumo de energia elétrica frente a variáveis arquitetônicas para edifícios comerciais climatizados em 14 capitais brasileiras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Florianópolis, UFSC, 1999. 119 p.

SIMIONI, W. I.; CLEZAR, C. A. Desempenho térmico de coberturas: uma análise utilizando diferenças finitas. In: ENCAC-COTED, Curitiba: Brazil, 2003.

SIMPSON, J. R.; McPHERSON, E. G.. The effects of roof albedo modification on cooling loads of scale model residences in Tucson, Arizona. **Energy and Building** 25: 127-137, 1997.

SOUBDHAN T.; FEUILLARD T.; BADE, F. Experimental evaluation of insulation material in roofing system under tropical climate. **Solar Energy** 79: 311-320, 2005.

TCPO. **Tabelas de composições de preços para orçamentos**. Editora PINI, São Paulo, 2007.

TOLEDO, L. M. A. d. **Uso de energia elétrica em edifícios públicos e comerciais em Florianópolis (SC)**. Monografia (Curso de pós-graduação em Engenharia Civil) - Florianópolis, UFSC, 1995. 121 p.

VENÂNCIO, R. **A influência de decisões arquitetônicas na eficiência energética do CAMPUS/UFRN**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Natal, UFRN, 2007. 224f.

VITTORINO, F.; SATO, N. M. N.; AKUTSU, M. Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas. In: ENCAC-COTED, Curitiba: Brazil, 2003.

WESTPHAL, F. S. e LAMBERTS, R. Proposta de melhoria na eficiência energética de um edifício comercial. In: ENTAC, Florianópolis: Brazil, 2002.

7 APÊNDICES

7.1 APÊNDICE 1. DEMONSTRATIVOS DE CÁLCULO DO CUSTO-BENEFÍCIO.

Tabela 7.1. – Demonstrativo de cálculo do custo-benefício do caso base

vida útil	45	10		
CE_{equipn} : custo somente de equipamento com mesma vida útil	15.903,50	8.631,00		
CTE : custo total somente de equipamentos	24.534,50			
CT : custo total do projeto (custos diretos + custos indiretos)	29.319,53			
CPE_{equipn} : custo dos equipamentos com a mesma vida útil, acrescido da parcela correspondente aos outros custos diretos e indiretos.	19005,20269	10314,32731	0	
FRC (n)	0,120736252	0,176984164	0	total
$CA_{equipn} = CPE_{equipn} \times FRC$	2.294,62	1.825,47	0,00	4.120,09

Tabela 7.2. – Demonstrativo de cálculo do custo-benefício de alternativa

telha de fibrocimento ondulada e=8mm clara						condicionador de ar
vida útil	45	10	2			15
CE_{equipn} : custo somente de equipamento com mesma vida útil	15.903,50	8.631,00	638,00			10.090,91
CTE : custo total somente de equipamentos	25.172,50					10.090,91
CT : custo total do projeto (custos diretos + custos indiretos)	29.957,53					10.090,91
CPE_{equipn} : custo dos equipamentos com a mesma vida útil, acrescido da parcela correspondente aos outros custos diretos e indiretos.	19005,20269	10314,32731	762,4308684			10.090,91
FRC (n)	0,120736252	0,176984164	0,591698113	custo total da alternativa	diferença em relação ao caso base	0,14682424
$CA_{equipn} = CPE_{equipn} \times FRC$	2.294,62	1.825,47	451,13	4.571,22	451,13	1.481,59
EE: Energia Economizada (MWh/ano)	CEE: Custo Evitado de Energia (R\$/MWh)		B = (EE × CEE) + (RDP × CED), onde:	RCB =		
7,491245	429		3.213,74	0,09608027	10,40796452	

Tabela 7.3. – Demonstrativo de cálculo do custo-benefício de alternativa

Telha metálica ondulada em aço galvanizado e=0,65mm						condicionador de ar
vida útil	45	10	2			15
CE _{equipn} : custo somente de equipamento com mesma vida útil	20.985,01	8.631,00				5.989,41
CTE : custo total somente de equipamentos	29.616,01					5.989,41
CT : custo total do projeto (custos diretos + custos indiretos)	34.401,04					5.989,41
CPE _{equip n} : custo dos equipamentos com a mesma vida útil, acrescido da parcela correspondente aos outros custos diretos e indiretos.	25077,77335	10314,32731	0			5.989,41
FRC (n)	0,120736252	0,176984164	0,591698113	custo total da alternativa	diferença em relação ao caso base	0,14682424
CA _{equip n} = CPE _{equip n} x FRC	3.027,80	1.825,47	0,00	4.853,27	733,18	879,39
EE: Energia Economizada (MWh/ano)	CEE: Custo Evitado de Energia (R\$/MWh)		B = (EE x CEE) + (RDP x CED), onde:	RCB =		
4,245248	429		1.821,21	0,27148737	3,683412576	

Tabela 7.4. – Demonstrativo de cálculo do custo-benefício de alternativa

Telha metálica ondulada em aço galvanizado branca e=0,65mm						condicionador de ar
vida útil	45	10	5			15
CE _{equipn} : custo somente de equipamento com mesma vida útil	20.985,01	8.631,00	4.785,03			10.777,42
CTE : custo total somente de equipamentos	34.401,04					10.777,42
CT : custo total do projeto (custos diretos + custos indiretos)	39.186,07					10.777,42
CPE _{equip n} : custo dos equipamentos com a mesma vida útil, acrescido da parcela correspondente aos outros custos diretos e indiretos.	25077,77335	10314,32731	5718,267364			10.777,42
FRC (n)	0,120736252	0,176984164	0,277409732	custo total da alternativa	diferença em relação ao caso base	0,14682424
CA _{equip n} = CPE _{equip n} x FRC	3.027,80	1.825,47	1.586,30	6.439,57	2.319,48	1.582,39
EE: Energia Economizada (MWh/ano)	CEE: Custo Evitado de Energia (R\$/MWh)		B = (EE x CEE) + (RDP x CED), onde:	RCB =		
7,489406	429		3.212,96	0,4836949	2,067418935	

Tabela 7.5. – Demonstrativo de cálculo do custo-benefício de alternativa

Telha onduline e=8mm (fibra vegetal)						condicionador de ar
vida útil	45	10				15
CE _{equipn} : custo somente de equipamento com mesma vida útil	19.636,26	8.631,00				-3.172,94
CTE : custo total somente de equipamentos	28.267,26					-3.172,94
CT : custo total do projeto (custos diretos + custos indiretos)	33.052,29					-3.172,94
CPE _{equip n} : custo dos equipamentos com a mesma vida útil, acrescido da parcela correspondente aos outros custos diretos e indiretos.	23465,97298	10314,32731	0			-3.172,94
FRC (n)	0,120736252	0,176984164	0	custo total da alternativa	diferença em relação ao caso base	0,14682424
CA _{equip n} = CPE _{equip n} x FRC	2.833,19	1.825,47	0,00	4.658,67	538,58	-465,86
EE: Energia Economizada (MWh/ano)	CEE: Custo Evitado de Energia (R\$/MWh)		B = (EE x CEE) + (RDP x CED), onde:	RCB =		
-2,3181496	429		-994,49	-0,3687997	-2,71149898	

Tabela 7.6. – Demonstrativo de cálculo do custo-benefício de alternativa

Inclinação da telha de 35%						condicionador de ar
vida útil	45	10				15
CE_{equipn} : custo somente de equipamento com mesma vida útil	17.376,14	8.631,00				-396,07
CTE : custo total somente de equipamentos	26.007,14					-396,07
CT : custo total do projeto (custos diretos + custos indiretos)	31.029,14					-396,07
CPE_{equipn} : custo dos equipamentos com a mesma vida útil, acrescido da parcela correspondente aos outros custos diretos e indiretos.	20765,05566	10314,32731	0			-396,07
FRC (n)	0,120736252	0,176984164	0	custo total da alternativa	diferença em relação ao caso base	0,14682424
$CA_{equipn} = CPE_{equipn} \times FRC$	2.507,09	1.825,47	0,00	4.332,57	212,48	-58,15
EE: Energia Economizada (MWh/ano)	CEE: Custo Evitado de Energia (R\$/MWh)		$B = (EE \times CEE) + (RDP \times CED)$, onde:	RCB =		
-0,1084348	429		-46,52	-2,02996575	-0,49261915	

Tabela 7.7. – Demonstrativo de cálculo do custo-benefício de alternativa

Barreira radiante junto à telha						condicionador de ar
vida útil	45	10	2			15
CE_{equipn} : custo somente de equipamento com mesma vida útil	15.903,50	8.631,00	3.455,86			5.241,29
CTE : custo total somente de equipamentos	27.990,36					5.241,29
CT : custo total do projeto (custos diretos + custos indiretos)	32.775,39					5.241,29
CPE_{equipn} : custo dos equipamentos com a mesma vida útil, acrescido da parcela correspondente aos outros custos diretos e indiretos.	19005,20269	10314,32731	4129,865738			5.241,29
FRC (n)	0,120736252	0,176984164	0,591698113	custo total da alternativa	diferença em relação ao caso base	0,14682424
$CA_{equipn} = CPE_{equipn} \times FRC$	2.294,62	1.825,47	2.443,63	6.563,72	2.443,63	769,55
EE: Energia Economizada (MWh/ano)	CEE: Custo Evitado de Energia (R\$/MWh)		$B = (EE \times CEE) + (RDP \times CED)$, onde:	RCB =		
4,3598817	429		1.870,39	0,92564092	1,080332539	

Tabela 7.8. – Demonstrativo de cálculo do custo-benefício de alternativa

Barreira radiante junto ao forro						condicionador de ar
vida útil	45	10	2			15
CE _{equipn} : custo somente de equipamento com mesma vida útil	15.903,50	8.631,00	3.455,86			10.253,73
CTE : custo total somente de equipamentos	27.990,36					10.253,73
CT : custo total do projeto (custos diretos + custos indiretos)	32.775,39					10.253,73
CPE _{equip n} : custo dos equipamentos com a mesma vida útil, acrescido da parcela correspondente aos outros custos diretos e indiretos.	19005,20269	10314,32731	4129,865738			10.253,73
FRC (n)	0,120736252	0,176984164	0,591698113	custo total da alternativa	diferença em relação ao caso base	0,14682424
CA _{equip n} = CPE _{equip n} x FRC	2.294,62	1.825,47	2.443,63	6.563,72	2.443,63	1.505,50
EE: Energia Economizada (MWh/ano)	CEE: Custo Evitado de Energia (R\$/MWh)		B = (EE x CEE) + (RDP x CED), onde:	RCB =		
6,5714113	429		2.819,14	0,5650501	1,769754569	

Tabela 7.9. – Demonstrativo de cálculo do custo-benefício de alternativa

Isolante térmico no forro						condicionador de ar
vida útil	45	10	8			15
CE _{equipn} : custo somente de equipamento com mesma vida útil	15.903,50	8.631,00	4.603,20			10.636,60
CTE : custo total somente de equipamentos	29.137,70					10.636,60
CT : custo total do projeto (custos diretos + custos indiretos)	34.119,33					10.636,60
CPE _{equip n} : custo dos equipamentos com a mesma vida útil, acrescido da parcela correspondente aos outros custos diretos e indiretos.	19005,20269	10314,32731	5500,974566			10.636,60
FRC (n)	0,120736252	0,176984164	0,201302841	custo total da alternativa	diferença em relação ao caso base	0,14682424
CA _{equip n} = CPE _{equip n} x FRC	2.294,62	1.825,47	1.107,36	5.227,45	1.107,36	1.561,71
EE: Energia Economizada (MWh/ano)	CEE: Custo Evitado de Energia (R\$/MWh)		B = (EE x CEE) + (RDP x CED), onde:	RCB =		
6,43137	429		2.759,06	0,25628818	3,901857625	

Tabela 7.10. – Demonstrativo de cálculo do custo-benefício de alternativa

Isolante térmico na telha						condicionador de ar
vida útil	45	10	8			15
CE_{equipn} : custo somente de equipamento com mesma vida útil	15.903,50	8.631,00	4.603,20			7.582,48
CTE : custo total somente de equipamentos	29.137,70					7.582,48
CT : custo total do projeto (custos diretos + custos indiretos)	34.119,33					7.582,48
$CPE_{equip n}$: custo dos equipamentos com a mesma vida útil, acrescido da parcela correspondente aos outros custos diretos e indiretos.	19005,20269	10314,32731	5500,974566			7.582,48
FRC (n)	0,120736252	0,176984164	0,201302841	custo total da alternativa	diferença em relação ao caso base	0,14682424
$CA_{equip n} = CPE_{equip n} \times FRC$	2.294,62	1.825,47	1.107,36	5.227,45	1.107,36	1.113,29
EE: Energia Economizada (MWh/ano)	CEE: Custo Evitado de Energia (R\$/MWh)		$B = (EE \times CEE) + (RDP \times CED)$, onde:	RCB =		
4,6372734	429		1.989,39	0,35690466	2,801868694	

Tabela 7.11. – Demonstrativo de cálculo do custo-benefício de alternativa

Forro de madeira						condicionador de ar
vida útil	45	25				15
CE _{equipn} : custo somente de equipamento com mesma vida útil	15.903,50	27.811,00				-215,64
CTE : custo total somente de equipamentos	43.714,50					-215,64
CT : custo total do projeto (custos diretos + custos indiretos)	48.499,53					-215,64
CPE _{equip n} : custo dos equipamentos com a mesma vida útil, acrescido da parcela correspondente aos outros custos diretos e indiretos.	19005,20269	33235,05467	0			-215,64
FRC (n)	0,120736252	0,12749997	0	custo total da alternativa	diferença em relação ao caso base	0,14682424
CA _{equip n} = CPE _{equip n} x FRC	2.294,62	4.237,47	0,00	6.532,09	2.412,00	-31,66
EE: Energia Economizada (MWh/ano)	CEE: Custo Evitado de Energia (R\$/MWh)		B = (EE x CEE) + (RDP x CED), onde:	RCB =		
-0,2620172	429		-112,41	-16,7422935	-0,059728973	

Tabela 7.12. – Demonstrativo de cálculo do custo-benefício de alternativa

Telha onduline cinza com fibra vegetal						condicionador de ar
vida útil	45	10				15
CE _{equip n} : custo somente de equipamento com mesma vida útil	19.636,26	8.631,00				3.172,94
CTE : custo total somente de equipamentos	28.267,26					3.172,94
CT : custo total do projeto (custos diretos + custos indiretos)	33.052,29					3.172,94
CPE _{equip n} : custo dos equipamentos com a mesma vida útil, acrescido da parcela correspondente aos outros custos diretos e indiretos.	23465,97298	10314,32731	0			3.172,94
FRC (n)	0,120736252	0,176984164	0	custo total da alternativa	diferença em relação ao caso base	0,14682424
CA _{equip n} = CPE _{equip n} x FRC	2.833,19	1.825,47	0,00	4.658,67	538,58	465,86
EE: Energia Economizada (MWh/ano)	CEE: Custo Evitado de Energia (R\$/MWh)		B = (EE x CEE) + (RDP x CED), onde:	RCB =		
0,2677954	429		114,88	0,92738419	1,078301755	

Tabela 7.13. – Demonstrativo de cálculo do custo-benefício de alternativa

Forro de pvc						condicionador de ar
vida útil	45	25				15
CE _{equipn} : custo somente de equipamento com mesma vida útil	15.903,50	12.946,00				2.222,38
CTE : custo total somente de equipamentos	28.849,50					2.222,38
CT : custo total do projeto (custos diretos + custos indiretos)	33.635,03					2.222,38
CPE _{equip n} : custo dos equipamentos com a mesma vida útil, acrescido da parcela correspondente aos outros custos diretos e indiretos.	19005,20269	15470,89345	0			2.222,38
FRC (n)	0,120736252	0,12749997	0	custo total da alternativa	diferença em relação ao caso base	0,14682424
CA _{equip n} = CPE _{equip n} x FRC	2.294,62	1.972,54	0,00	4.267,16	147,07	326,30
EE: Energia Economizada (MWh/ano)	CEE: Custo Evitado de Energia (R\$/MWh)		B = (EE x CEE) + (RDP x CED), onde:	RCB =		
0,9740165	429		417,85	0,19762886	5,059989746	

Tabela 7.14. – Demonstrativo de cálculo do custo-benefício de alternativa

Telha Sanduíche de poliestireno expandido						condicionador de ar
vida útil	45	10				15
CE _{equipn} : custo somente de equipamento com mesma vida útil	49.268,38	8.631,00				8.858,70
CTE : custo total somente de equipamentos	57.899,38					8.858,70
CT : custo total do projeto (custos diretos + custos indiretos)	66.937,77					8.858,70
CPE _{equip n} : custo dos equipamentos com a mesma vida útil, acrescido da parcela correspondente aos outros custos diretos e indiretos.	58877,32562	10314,32731	0			8.858,70
FRC (n)	0,120736252	0,176984164	0	custo total da alternativa	diferença em relação ao caso base	0,14682424
CA _{equip n} = CPE _{equip n} x FRC	7.108,63	1.825,47	0,00	8.934,10	4.814,01	1.300,67
EE: Energia Economizada (MWh/ano)	CEE: Custo Evitado de Energia (R\$/MWh)		B = (EE x CEE) + (RDP x CED), onde:	RCB =		
5,4822634	429		2.351,89	1,31798174	0,758735851	

Tabela 7.15. – Demonstrativo de cálculo do custo-benefício de alternativa

Telha Sanduíche de poliuretano expandido sem forro						condicionador de ar
vida útil	45					15
CE _{equipn} : custo somente de equipamento com mesma vida útil	49.268,38					5.377,71
CTE : custo total somente de equipamentos		49.268,38				5.377,71
CT : custo total do projeto (custos diretos + custos indiretos)		58.306,77				5.377,71
CPE _{equip n} : custo dos equipamentos com a mesma vida útil, acrescido da parcela correspondente aos outros custos diretos e indiretos.	58877,32562	0	0			5.377,71
FRC (n)	0,120736252	0	0	custo total da alternativa	diferença em relação ao caso base	0,14682424
CA _{equip n} = CPE _{equip n} x FRC	7.108,63	0,00	0,00	7.108,63	2.988,54	789,58
EE: Energia Economizada (MWh/ano)	CEE: Custo Evitado de Energia (R\$/MWh)		B = (EE x CEE) + (RDP x CED), onde:	RCB =		
7,0243876	429		3.013,46	0,78582867	1,272542022	

Tabela 7.16. – Demonstrativo de cálculo do custo-benefício de alternativa

Telha Sanduíche de poliuretano expandido						condicionador de ar
vida útil	45	10				15
CE _{equip n} : custo somente de equipamento com mesma vida útil	49.268,38	8.631,00				9.056,73
CTE : custo total somente de equipamentos	57.899,38					9.056,73
CT : custo total do projeto (custos diretos + custos indiretos)	66.937,77					9.056,73
CPE _{equip n} : custo dos equipamentos com a mesma vida útil, acrescido da parcela correspondente aos outros custos diretos e indiretos.	58877,32562	10314,32731	0			9.056,73
FRC (n)	0,120736252	0,176984164	0	custo total da alternativa	diferença em relação ao caso base	0,14682424
CA _{equip n} = CPE _{equip n} x FRC	7.108,63	1.825,47	0,00	8.934,10	4.814,01	1.329,75
EE: Energia Economizada (MWh/ano)	CEE: Custo Evitado de Energia (R\$/MWh)		B = (EE x CEE) + (RDP x CED), onde:	RCB =		
5,6045814	429		2.404,37	1,2891979	0,775676099	

Tabela 7.17. – Demonstrativo de cálculo do custo-benefício de alternativa

Telha Sanduíche de poliestireno expandido sem forro						condicionador de ar
vida útil	45					15
CE _{equip n} : custo somente de equipamento com mesma vida útil	49.268,38					3.142,13
CTE : custo total somente de equipamentos	49.268,38					3.142,13
CT : custo total do projeto (custos diretos + custos indiretos)	58.306,77					3.142,13
CPE _{equip n} : custo dos equipamentos com a mesma vida útil, acrescido da parcela correspondente aos outros custos diretos e indiretos.	58877,32562	0	0			3.142,13
FRC (n)	0,120736252	0	0	custo total da alternativa	diferença em relação ao caso base	0,14682424
CA _{equip n} = CPE _{equip n} x FRC	7.108,63	0,00	0,00	7.108,63	2.988,54	461,34
EE: Energia Economizada (MWh/ano)	CEE: Custo Evitado de Energia (R\$/MWh)		B = (EE x CEE) + (RDP x CED), onde:	RCB =		
4,3598817	429		1.870,39	1,2816826	0,780224372	

7.2 APÊNDICE 2. CUSTO DE CONDICIONADORES DE AR SPLIT.

Tabela 7.18. – Pesquisa de preços de condicionadores de ar split

modelo	fonte	capacidade (kBTU/h)	custo por capacidade de resfriamento (R\$/kBTU/h)
COND AR SPLIT CONSUL 7000 INSPIRE CBV07OB 220V	http://www.ambientair.com.br	7000	0,19
COND AR SPLIT FUJITSU ASB9A1	http://www.ambientair.com.br	9000	0,16
Split 12000 BTUS Frio CBY12AB - Consul	http://www.colombo.com.br	12000	0,11
Split 12000 BTUS Frio CBF120 Ambience - Consul	http://www.colombo.com.br	12000	0,12
COND AR SPLIT CONSUL INSPIRE CBV12OB 220V	http://www.ambientair.com.br	12000	0,12
Split 12000 BTUS Frio SE12F - Electrolux	http://www.colombo.com.br	12000	0,12
Condicionador de Ar Fujitsu Inverter Split Hi-Wall 12.000 BTU/s Frio ASBA12J	http://www.centralar.com.br	12000	0,15
Split 18000 Btus Frio CBY18AB - Consul	http://www.colombo.com.br	18000	0,11
COND AR SPLIT SPRINGER HI-WALL 18000 BTUS 220V FRIO C/ CONTROLE REMOTO	http://www.ambientair.com.br	18000	0,12
Condicionador de Ar York Split Hi-Wall 18.000 BTU/s Frio YJEA18FS	http://www.centralar.com.br	18000	0,12
Condicionador de Ar Split Rockies 18.000 BTUs Quente e Frio 220V - York	http://www.americanas.com.br	18000	0,13
Condicionador de Ar Split YJE18 High Wall 18.000 BTUs Frio 220V - York	http://www.americanas.com.br	18000	0,13
COND AR BI-SPLIT CONSUL 18000(2x9000) INSPIRE CBA09OB 220V	http://www.ambientair.com.br	18000	0,13
Split Hi-Wall LG STU184FLA 18500BTU 220V	http://www.casaevideo.com.br	18500	0,11
Split 22000 BTUS Frio CBY22AB - Consul	http://www.colombo.com.br	22000	0,10
Condicionador de Ar Split 22.000 BTUs Bem Estar Frio Branco 220V - Consul	http://www.americanas.com.br	22000	0,10
Split 22000 BTUS Frio CBF220 Ambience - Consul	http://www.colombo.com.br	22000	0,11

Tabela 7.18. – Pesquisa de preços de condicionadores de ar split

modelo	fonte	capacidade (kBTU/h)	custo por capacidade de resfriamento (R\$/kBTU/h)
Condicionador de Ar Split 22.000 BTUs Ative! Quente e Frio Branco 220V - Brastemp	http://www.americanas.com.br	22000	0,12
Split Hi-Wall Springer Quente/Frio 42MQC022515LS 22000BTU 220V	http://www.casaevideo.com.br	22000	0,13
Condicionador de Ar Split Rockies 24.000 BTUs Frio 220V - York	http://www.americanas.com.br	24000	0,12
Condicionador de Ar Split YJEA24 High Wall 24.000 BTUs Frio 220V - York	http://www.americanas.com.br	24000	0,12
Condicionador de Ar Split SI/SE24R 24.000 BTUs Quente/Frio Cinza Gelo 220V - Electrolux	http://www.americanas.com.br	24000	0,14
Condicionador de Ar York Split-Tri 27.000 BTU/s Frio BMC27TRI	http://www.centralar.com.br	27000	0,14
Komeco KO S30FC Mini Split 28000 BTUs Frio	http://compare.buscape.com.br	28000	0,10
Split KOS30F 28.000 Btus Ciclo Frio KOS30FC 220 Volts Komeco	http://compare.buscape.com.br	28000	0,10
Split 30000 BTUS Frio CBF30OB - Consul	http://www.colombo.com.br	30000	0,11
Split Hi-Wall Elgin SHFI-30000-2 30000BTU 220V	http://www.casaevideo.com.br	30000	0,11
Condicionador de Ar Split SI/SE30R 30.000 Btus Frio - Cinza Gelo - 220V - Electrolux	http://www.americanas.com.br	30000	0,13
COND AR SPLIT FUJITSU ASB30A1 30000 BTUS 220V FRIO	http://www.ambientair.com.br	30000	0,13
Condicionador de Ar Split MSE-30HR 30.000 Btus Quente/Frio Branco 220V - Midea	http://www.americanas.com.br	30000	0,14
Condicionador de Ar Split HXC30 High Wall 30.000 BTUs Frio 220V - York	http://www.americanas.com.br	30000	0,16
Condicionador de ar Split de Embutir Cassete 41.000 BTUs Frio GSK41-22L Branco 220V - Gree	http://www.americanas.com.br	40000	0,21
Condicionador de Ar Split MKC55 60.000 BTUs York	http://www.americanas.com.br	60000	0,15

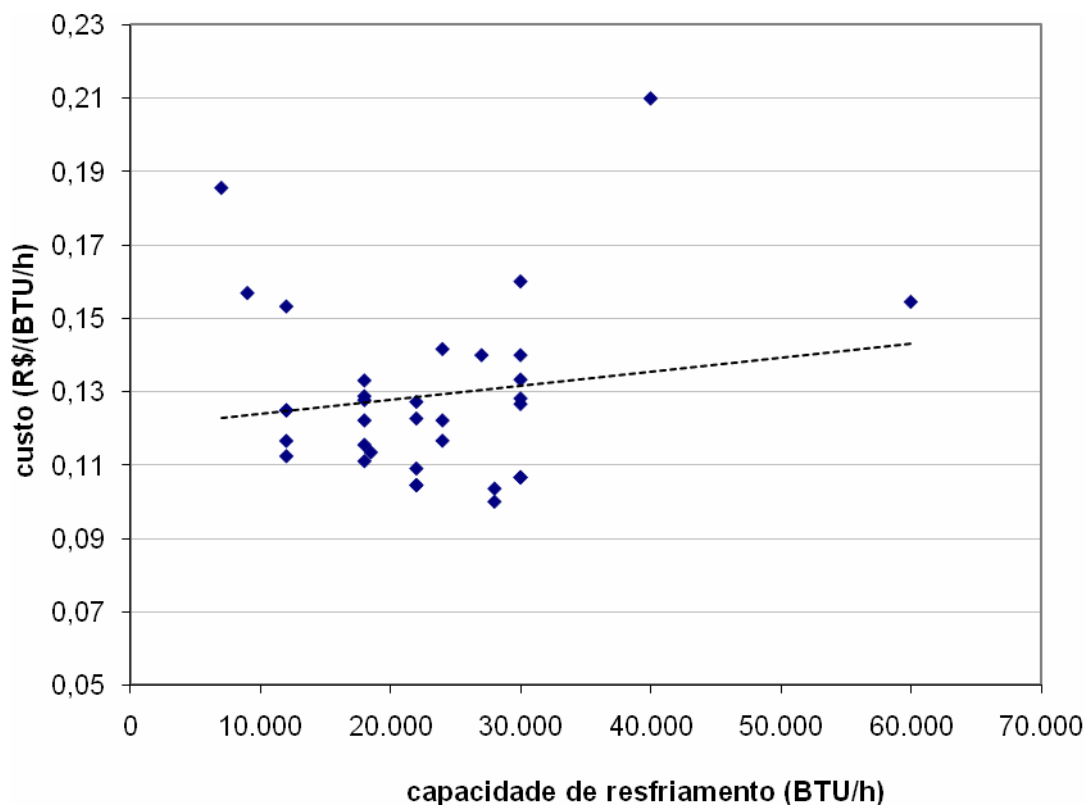


Figura 7.1. – Gráfico do custo x capacidade de resfriamento de condicionadores de ar split

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)