

Diogo Barbosa Tôres

**ANÁLISE E PROPOSIÇÕES PARA CLASSIFICAÇÃO DA
ENVOLTÓRIA DE UMA EDIFICAÇÃO PELO RTQ-C**

Belo Horizonte - MG

Escola de Arquitetura da UFMG

2015

Diogo Barbosa Tôres

**ANÁLISE E PROPOSIÇÕES PARA CLASSIFICAÇÃO DA ENVOLTÓRIA DE UMA
EDIFICAÇÃO PELO RTQ-C**

Monografia apresentada ao curso de
Especialização em Sistemas
Tecnológicos e Sustentabilidade
Aplicados ao Ambiente Construído da
Escola de Arquitetura da Universidade
Federal de Minas Gerais.

Orientadora: Grace Cristina Roel
Gutierrez

Belo Horizonte - MG

Escola de Arquitetura da UFMG

2015

Diogo Barbosa Tôrres

ANÁLISE E PROPOSIÇÕES PARA CLASSIFICAÇÃO DA ENVOLTÓRIA DE UMA
EDIFICAÇÃO PELO RTQ-C

Monografia apresentada ao curso de
Especialização em Sistemas
Tecnológicos e Sustentabilidade
Aplicados ao Ambiente Construído da
Escola de Arquitetura da Universidade
Federal de Minas Gerais.

Belo Horizonte, 27 de fevereiro de 2015

Aprovada por:

Professora Roberta Vieira Gonçalves de Souza (avaliadora)

Professora Grace Cristina Roel Gutierrez (orientadora)

RESUMO

A partir da crise de energia de 2001 e consequente implantação da Lei de Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, foram criados programas nacionais para evitar o racionamento de energia, que resultou na publicação, em 2009 do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Neste Regulamento, o desempenho do edifício é classificado em: envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar.

O principal objetivo desse trabalho é realizar a aplicação do método prescritivo do RTQ-C, para classificação do nível de eficiência energética da envoltória a partir de um edifício de 5 pavimentos, localizado no município de Raul Soares, estado de Minas Gerais, pertencente à Zona Bioclimática 3.

O edifício em estudo teve a sua envoltória analisada pelo método prescritivo do RTQ-C, e o obteve classificação "C". Diante do resultado obtido, foram sugeridos ajustes e avaliados os esforços necessários para obtenção do nível máximo de eficiência energética. A partir de uma análise, constatou-se que as alterações de ângulos de sombreamento, seriam as ações com melhor custo-benefício para melhoria da classificação da envoltória do edifício. Entretanto, para o objeto de estudo obter classificação "A" em envoltória a partir do uso de proteção solares, seria possível aumentar igualmente os ângulos em todas as fachadas ou aplicar diferentes ângulos de acordo com a necessidade de proteção de cada fachada. Sendo assim, para determinar os ângulos das proteções solares necessárias para melhoria do desempenho, foi aplicado o método da Temperatura Neutra (T_n).

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ENCE GERAL DE PROJETO E ENCE GERAL DA EDIFICAÇÃO CONSTRUÍDA PARA EDIFICAÇÕES COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS.	12
FIGURA 2 - EQUIVALENTE NUMÉRICO PARA CADA NÍVEL DE EFICIÊNCIA (EQNUM)	12
FIGURA 3 - EQUAÇÃO PARA CLASSIFICAÇÃO GERAL DO EDIFÍCIO	13
FIGURA 4 - CLASSIFICAÇÃO GERAL DA EDIFICAÇÃO	14
FIGURA 5 - PERSPECTIVA TRIDIMENSIONAL DO EDIFÍCIO, FACHADAS LESTE E NORTE.	18
FIGURA 6 - PERSPECTIVA TRIDIMENSIONAL DO EDIFÍCIO, FACHADAS NORTE E OESTE.	19
FIGURA 7 - PERSPECTIVA TRIDIMENSIONAL DO EDIFÍCIO, FACHADAS SUL E LESTE.	19
FIGURA 8 - MAPA POLÍTICO DE MINAS GERAIS COM A LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE RAUL SOARES MARCADO DE AMARELO	20
FIGURA 9 - CLASSIFICAÇÃO DO ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO E RECOMENDAÇÕES PARA O MUNICÍPIO DE RAUL SOARES.	20
FIGURA 10 - CORTE	21
FIGURA 11 - FACHADAS LESTE E NORTE	21
FIGURA 12 - FACHADAS OESTE E SUL	21
FIGURA 13 - PLANTA DO SUBSOLO	22
FIGURA 14 - PLANTA DO TÉRREO	23
FIGURA 15 - PLANTA DO TIPO	23
FIGURA 16 - PLANTA DO ÚLTIMO PAVIMENTO	24
FIGURA 17 - PLANTA DE COBERTURA	24
FIGURA 18 - PLANTA DE COBERTURA COM DEMARCAÇÃO DA ÁREA CONSIDERADA COMO COBERTURA DA PARCELA COMERCIAL	27
FIGURA 19 - CÁLCULO DA TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DE PAREDES EXTERNAS E DA COBERTURA	27
FIGURA 20 - EQUAÇÃO DE CLASSIFICAÇÃO DA ENVOLTÓRIA	28
FIGURA 21 - ÂNGULOS HORIZONTAIS DE SOMBREAMENTO (AHS) INDICADOS NOS PAVIMENTOS TÉRREO E TIPO	29
FIGURA 22 - ÂNGULOS VERTICAIS DE SOMBREAMENTO (AVS) INDICADOS NAS FACHADAS LESTE, NORTE E OESTE	29
FIGURA 23 - DIMENSÕES DA PÉRGOLA PARA FATOR DE CORREÇÃO DO AVS DA J14, J15 E J16	30
FIGURA 24 - CÁLCULO DA TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DA COBERTURA COM CAMADA DE LÃ DE VIDRO	33
FIGURA 25 - CARTA SOLAR DE CARATINGA COM APLICAÇÃO DAS CORES A PARTIR DAS TEMPERATURAS DE REFERÊNCIA	37
FIGURA 26 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS PROTEÇÕES SOLARES PARA CARATINGA	38

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PARÂMETROS DO ICMÁXD E ICMÍN	15
TABELA 2 - LIMITES DOS INTERVALOS DOS NÍVEIS DE EFICIÊNCIA	15
TABELA 3 - DADOS PARA DEFINIÇÃO DE PAFT E ÂNGULOS AHS E AVS DA ENVOLTÓRIA ORIGINAL	30
TABELA 4 - TABELA PARA CÁLCULO DO INDICADOR DE CONSUMO E CLASSIFICAÇÃO FINAL DA ENVOLTÓRIA ORIGINAL DA EDIFICAÇÃO	32
TABELA 5 - CLASSIFICAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR EXTERNA EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA NEUTRA PARA CARATINGA	36
TABELA 6 - TABELA RESUMO DE ÂNGULOS DE PROTEÇÕES SOLARES PARA CARATINGA	37
TABELA 7 - DADOS PARA DEFINIÇÃO DE PAFT E ÂNGULOS AHS E AVS (ORIGINAIS, CALCULADOS E FINAIS) DA ENVOLTÓRIA COM PROTEÇÕES OTIMIZADAS PELO MÉTODO DA TEMPERATURA NEUTRA	39
TABELA 8 - TABELA PARA CÁLCULO DO INDICADOR DE CONSUMO E CLASSIFICAÇÃO FINAL DA ENVOLTÓRIA COM PROTEÇÕES OTIMIZADAS PELO MÉTODO DA TEMPERATURA NEUTRA	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

ENCE - ETIQUETAGEM NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL

LABCON - LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (UFMG)

NBR - NORMA BRASILEIRA

PBE - PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM

PROCEL - PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

RTQ-C - REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS

UFMG - UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

-

APE - ÁREA DE PROJEÇÃO DO EDIFÍCIO (M^2)

APCOB - ÁREA DE PROJEÇÃO DA COBERTURA (M^2)

ATOT - ÁREA TOTAL CONSTRUÍDA (M^2)

AENV - ÁREA DA ENVOLTÓRIA (M^2)

AHS - ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO ($^\circ$)

AVS - ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO ($^\circ$)

FA - FATOR ALTURA (APCOB/ATOT)

FF - FATOR DE FORMA (AENV/VTOT)

FS - FATOR SOLAR

IC OU ICENV - INDICADOR DE CONSUMO DA ENVOLTÓRIA

PAFO - PERCENTUAL DE ÁREA DE ABERTURA NA FACHADA OESTE (%)

PAFT - PERCENTUAL DE ÁREA DE ABERTURA NA FACHADA TOTAL (%)

PAZ - PERCENTUAL DE ABERTURA ZENITAL (%)

TN - TEMPERATURA NEUTRA ($^\circ C$)

U - TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

UCOB - TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DA COBERTURA [$W/(M^2K)$]

UPAR - TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DAS PAREDES [$W/(M^2K)$]

VTOT - VOLUME TOTAL DA EDIFICAÇÃO (M^3)

ZB - ZONA BIOCLIMÁTICA

A - ÂNGULO ALFA (RELATIVO A AVS) (O)

A - ABSORTÂNCIA SOLAR DE SUPERFÍCIE (%)

B - ÂNGULO BETA (RELATIVO A AHS) (O)

Γ - ÂNGULO GAMA (RELATIVO A AVS/AHS) (O)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	9
1.2	OBJETIVO GERAL	10
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	REGULAMENTO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS	11
2.2	RTQ-C	11
2.2.1	<i>Método Prescritivo</i>	13
2.2.2	<i>Envoltória</i>	14
2.3	PROTEÇÕES SOLARES E O MÉTODO DA TEMPERATURA NEUTRA	15
3	ESTUDO DE CASO	18
3.1	SELEÇÃO DO EDIFÍCIO	18
3.2	LOCALIZAÇÃO	19
3.3	CARACTERÍSTICAS GERAIS DO EDIFÍCIO	20
3.4	CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DO EDIFÍCIO	25
4	RESULTADO E ANÁLISE	26
4.1	ENVOLTÓRIA ORIGINAL	26
4.1.1	<i>Pré-requisitos Específicos</i>	26
4.1.1.1	Transmitância Térmica	26
4.1.1.2	Cores e absorvância de superfícies	28
4.1.2	<i>Cálculo do Indicador de Consumo</i>	28
4.2	ENVOLTÓRIA COM SUGESTÃO DE INTERVENÇÕES	32
4.3	ENVOLTÓRIA COM PROTEÇÕES OTIMIZADAS PELO MÉTODO DA TEMPERATURA NEUTRA	35
5	CONCLUSÃO	41
6	REFERÊNCIAS	44
	ANEXO A – MEMÓRIA DE CÁLCULO DE TRANSMITÂNCIA TÉRMICA	46

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O aumento da eficiência energética têm-se destacado como uma das principais medidas em direção à sustentabilidade no ambiente construído.

Um dos nossos grandes desafios do Brasil está relacionado com o consumo de energia elétrica decorrente das atividades da construção civil. Os edifícios residenciais, comerciais e públicos consomem 13,7% do total de energia produzida no país. Se considerarmos somente a energia elétrica, este percentual sobe para 48,5% (BRASIL, 2014b). Santos e Souza (2011) indicam o enorme potencial de conservação de energia elétrica em edifícios.

Com o objetivo de colaborar para esta conservação, foi criado em 2009 o primeiro instrumento para edifícios, denominado Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), que é o objeto central deste estudo.

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo desse trabalho é realizar a aplicação do método prescritivo do RTQ-C para classificação do nível de eficiência energética da envoltória, e discutir propostas de intervenções para melhoria do desempenho.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Aplicar o método prescritivo do RTQ-C para classificação da envoltória a partir de um estudo de caso;

Classificar a eficiência energética da envoltória da edificação em estudo, visando a obtenção da etiqueta parcial da envoltória;

A partir dos resultados obtidos, propor ajustes na envoltória da edificação e analisar os esforços necessários para obtenção do nível máximo de eficiência energética, se necessário;

Aplicar o método da Temperatura Neutra (T_n) para determinar os ângulos das proteções solares necessárias para melhoria do desempenho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 REGULAMENTO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS

Em 2001, o Brasil passou por uma crise de fornecimento de energia elétrica que impactou quase todo o seu território, que ficou conhecido popularmente como “apagão”. Com receio da necessidade de novos racionamentos de energia, o poder público respondeu com programas nacionais de incentivo à economia de energia, combate ao desperdício e aumento da eficiência energética.

Dessa forma, em 2011 foi criada a Lei 10.295, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, regulamentada pelo Decreto no 4.059/2001. Essa lei deu força ao Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) da Eletrobrás que já atuava junto ao Inmetro através do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), utilizando a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para informar a eficiência energética de produtos aos consumidores brasileiros.

Nesse contexto, foi criado em 2003 o PROCEL Edifica, voltado para Edificações. O resultado foi a publicação do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), que datam de 2009 e 2010 respectivamente. Posteriormente ainda foram publicadas portarias de atualização e documentos complementares, como os manuais de aplicação, além dos Requisitos de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações (RAC) (ELETROBRAS, 2013a).

2.2 RTQ-C

O RTQ-C define a metodologia para classificação do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos, a fim de obter a ENCE emitida pelo INMETRO. A etiqueta, que ainda é de caráter voluntário (exceto para edifícios públicos federais), possui 2 fases de obtenção, na fase de projeto e após a construção da obra, como pode ser observado na Figura 1. O projeto pode ser

avaliado pelo método prescritivo ou por simulação computacional, enquanto que a obra é sempre avaliada através de vistoria no local.

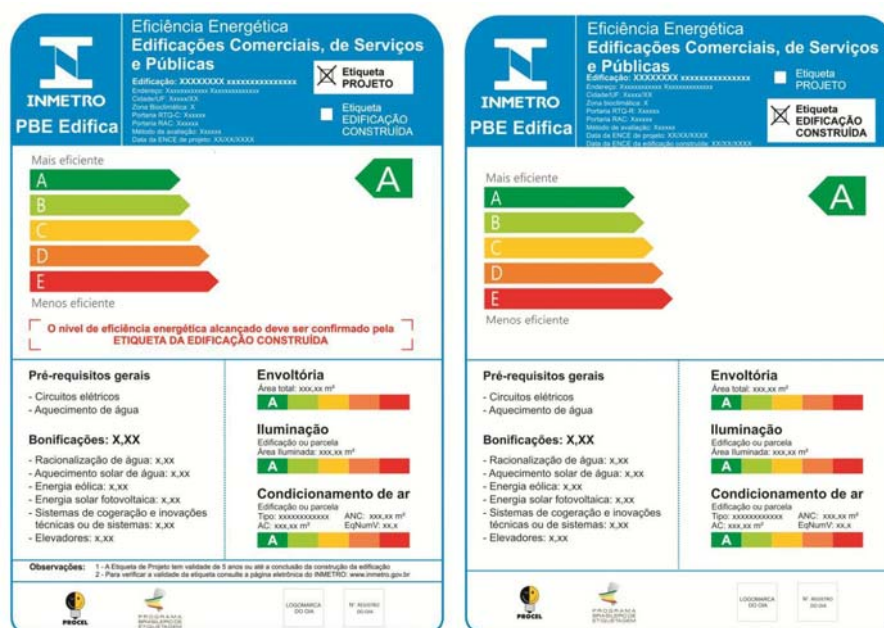


Figura 1 - ENCE geral de Projeto e ENCE geral da Edificação Construída para edificações comerciais, de serviços e públicos.

Fonte: ELETROBRAS, 2013a

As edificações são avaliadas quanto ao desempenho em relação a 3 sistemas: envoltória, sistema de iluminação artificial e sistema de condicionamento de ar, e podem receber uma ENCE parcial (envoltória, ou envoltória + sistema de iluminação, ou envoltória + sistema de condicionamento de ar) ou geral. Para classificação geral, as avaliações parciais recebem pesos, sendo 30% para envoltória, 30% para sistema de iluminação e 40% para sistema de condicionamento de ar.

Os edifícios recebem uma classificação de eficiência que varia de "A" (mais eficiente) a "E" (menos eficiente), com os respectivos equivalentes numéricos que variam de "5" (mais eficiente) a "1" (menos eficiente), conforme Figura 2.

A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Figura 2 - Equivalente numérico para cada nível de eficiência (EqNum)

Fonte: ELETROBRAS, 2013b

2.2.1 Método Prescritivo

O método prescritivo é um método simplificado que avalia as edificações ainda na fase de projeto, através de equações e tabelas. A classificação geral do edifício é calculada de acordo com a distribuição dos pesos através da equação da Figura 3.

$$PT = 0,30 \cdot \left\{ \left(\text{EqNumEnv} \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot \text{EqNumV} \right) \right\} + 0,30 \cdot (\text{EqNumDPI}) + 0,40 \cdot \left\{ \left(\text{EqNumCA} \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot \text{EqNumV} \right) \right\} + b \cdot 1_0$$

Figura 3 - Equação para classificação geral do Edifício

Fonte: INMETRO, 2010

Onde:

EqNumEnv: equivalente numérico da envoltória;

EqNumDPI: equivalente numérico do sistema de iluminação, identificado pela sigla DPI, de Densidade de Potência de Iluminação;

EqNumCA: equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar;

EqNumV: equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente;

APT: área útil dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados;

ANC: área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada, com comprovação de percentual de horas ocupadas de conforto por ventilação natural (POC) através do método da simulação;

AC: área útil dos ambientes condicionados;

AU: área útil;

b: pontuação obtida pelas bonificações, que varia de zero a 1.

O nível de eficiência de cada sistema individual é calculado de acordo com regras específicas e os equivalentes numéricos para os níveis de eficiência de cada sistema são ilustrados na Figura 2. O resultado da equação será um número de pontos que irá definir a classificação geral da edificação, de acordo com a Figura 4. A classificação ainda poderá ser penalizada devido ao não cumprimento de pré-

requisitos gerais (relacionados a circuitos elétricos e aquecimento de água). A classificação final e as classificações parciais são apresentadas na ENCE.

CLASSIFICAÇÃO FINAL	PT
A	$\geq 4,5$ a 5
B	$\geq 3,5$ a $< 4,5$
C	$\geq 2,5$ a $< 3,5$
D	$\geq 1,5$ a $< 2,5$
E	$< 1,5$

Figura 4 - Classificação Geral da Edificação

Fonte: ELETROBRAS, 2013b

2.2.2 Envoltória

A envoltória pode ser definida como a “pele” da edificação, constituída pelas fachadas e coberturas. O cálculo de desempenho da envoltória é obtido a partir de um conjunto de equações, de acordo com a Zona Bioclimática na qual a edificação em estudo está localizada. Cada Zona Bioclimática ou conjunto de Zonas Bioclimáticas possui 2 equações, sendo uma para área de projeção (Ape) do edifício maior que 500 m² e outra para Ape menor que 500 m². O nível de eficiência da envoltória será influenciado diretamente por parâmetros como a relação entre forma e altura, o percentual de abertura da fachada e ângulos de sombreamento das aberturas.

A classificação da envoltória da edificação deverá verificar o cumprimento dos pré-requisitos específicos (transmitância térmica, cores e absorvância de superfícies, além de parâmetros para edifícios com iluminação zenital), podendo ter a classificação penalizada, caso não os cumpra.

O indicador de consumo obtido deve ser comparado a uma escala numérica que descreve um nível de classificação de desempenho que varia de A a E. Parte-se da obtenção dos limites máximo e mínimo do indicador de consumo para aquela volumetria, IC_{máxD} e IC_{mín}, respectivamente, que são calculados a partir da mesma equação, alterando-se os parâmetros fornecidos pela Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros do ICmáxD e ICmín

	PAFT	FS	AVS	AHS
ICmáxD	0,6	0,61	0	0
ICmín	0,05	0,87	0	0

Fonte: INMETRO, 2010

A partir desses limites, define-se os intervalos de 4 partes (i), sendo que cada parte representa os níveis de A a E. Com o valor de i calculado, preenche-se a Tabela 2 e compara-se o ICenv obtido para identificar o nível de eficiência do projeto analisado.

Tabela 2 - Limites dos intervalos dos níveis de eficiência

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Mín	-	$ICmáxD - 3i + 0,01$	$ICmáxD - 2i + 0,01$	$ICmáxD - i + 0,01$	$ICmáxD + 0,01$
Lim Máx	$ICmáxD - 3i$	$ICmáxD - 2i$	$ICmáxD - i$	$ICmáxD$	-

Fonte: INMETRO, 2010

2.3 PROTEÇÕES SOLARES E O MÉTODO DA TEMPERATURA NEUTRA

Apesar da importância das proteções solares, o método prescritivo do RTQ-C leva em conta apenas o resultado da ponderação dos ângulos de sombreamento de todas as aberturas para todas as fachadas, ou seja, não avalia a eficiência das proteções solares. Assim, embora o RTQ-C reconheça e premie a existência de ângulos de sombreamento, deixa a critério do projetista realizar a melhor distribuição dos protetores solares em função das necessidades de proteção de cada fachada. Dessa forma, para se obter uma proteção solar adequada as necessidades da edificação em estudo, buscou-se informações sobre os métodos de avaliação para subsidiar o projeto adequado dos dispositivos de proteção solar.

Proteções solares tem uma fundamental importância na melhoria da eficiência energética das Edificações, pois permitem a redução da contribuição de radiação, minimizando o consumo de energia do sistema de condicionamento de ar. Porém, se superdimensionadas, essas proteções podem comprometer a disponibilidade de luz natural, aumentando o consumo de iluminação artificial. Por outro lado, métodos de dimensionamento de proteções solares devem ser capazes de gerar resultados confiáveis, sem demora e com uma linguagem acessível ao projetista.

Pereira e Souza (2008) propõem uma metodologia para definição do período em que a proteção solar é desejável para uma abertura, a partir de critérios que definem condições de conforto. Esse método é baseado em quatro fatores: uso do edifício, relação de tamanho entre abertura e piso, radiação solar incidente na fachada e temperatura de conforto para uma determinada população aclimatada ao local, denominada Temperatura Neutra (T_n), obtida a partir de dados das Normais Climatológicas (BRASIL, 1992).

A T_n é calculada por:

$$T_n = 0,31T_e + 17,6^\circ\text{C}$$

onde: T_n : Temperatura Neutra

T_e : temperatura média mensal do ar, em $^\circ\text{C}$, extraída das Normais Climatológicas

A partir das temperaturas neutras mensais, são obtidas temperaturas de referência acima da T_n ($T_n +1$, $T_n+2\dots$) e abaixo da T_n ($T_n -4$, $T_n-6\dots$), e são adotadas cores para cada temperatura de referência.

Em seguida, são tabeladas as temperaturas médias mensais hora a hora, e são aplicadas as cores a partir das temperaturas de referência, para facilitar a leitura dos dados.

Para os casos em que não existe disponibilidade de dados de temperaturas médias horárias, Alucci (1992) apud Assis (2001) propôs um procedimento para gerar a variação horária de temperatura do ar a partir dos dados médios de temperatura máxima, média e mínima, calculada por:

$$T = T_x - (T_x - T_n).j$$

onde: T é a temperatura média mensal horária, ($^\circ\text{C}$)

T_x é a temperatura média mensal das máximas, ($^\circ\text{C}$)

T_n é a temperatura média mensal das mínimas, ($^\circ\text{C}$)

j é o valor de ajuste da curva horária de temperatura, a partir da hora 0 até as 23 horas: 0,75;0,78; 0,82; 0,87; 0,89; 0,96; 1,00; 0,93; 0,76; 0,57; 0,41; 0,28; 0,15; 0,11; 0,02; 0,00; 0,04;0,08; 0,15; 0,46; 0,56; 0,64; 0,73; 0,70.

Os dados levantados são combinados graficamente na carta solar da localidade, e a carta solar é aplicada nas principais orientações geográficas. A

definição das proteções solares ainda será determinada por critérios de temperatura limite para temperatura de conforto.

Pereira e Souza (2008) propuseram os seguintes limites de temperatura de conforto, aplicados a edificações: limite superior de $(T_n + 2^\circ \text{C})$ e limite inferior $(T_n - 4^\circ \text{C})$. Além disso, definem que a proteção solar deve bloquear a incidência solar nas seguintes situações: $T_n + 2^\circ \text{C}$, incidência solar na fachada maior que $500\text{W}/\text{m}^2$ e abertura menor que 25% da área do piso; $T_n + 2^\circ \text{C}$, incidência solar na fachada maior que $600\text{W}/\text{m}^2$ e abertura maior que 25% da área do piso.

3 ESTUDO DE CASO

3.1 SELEÇÃO DO EDIFÍCIO

O motivo crucial para a escolha do objeto de estudo foi a disponibilidade de acesso aos dados técnicos de um edifício comercial, de forma a permitir a análise da envoltória segundo RTQ-C.

Dessa forma, foi selecionado um prédio de 5 pavimentos de uso misto, com predominância de uso comercial, localizado no município de Raul Soares, estado de Minas Gerais. O projeto arquitetônico é de autoria do escritório ARO Arquitetos, elaborado em 2008 e que atualmente se encontra em fase de obras. O escritório disponibilizou perspectivas tridimensionais e projeto básico com plantas, cortes e fachadas. As Figuras 5, 6 e 7 apresentam perspectivas da edificação em questão.

Diante da constatação do construtor não ter contratado detalhamento executivo ou memorial com especificação de materiais, foi realizado contato com o arquiteto prestador de serviço de consultoria e acompanhamento de obras, que foi o responsável por informar as características construtivas do edifício.



Figura 5 - Perspectiva Tridimensional do Edifício, fachadas leste e norte.

Fonte: Acervo de Projetos do Escritório Aro Arquitetos.



Figura 6 - Perspectiva Tridimensional do Edifício, fachadas norte e oeste.

Fonte: Acervo de Projetos do Escritório Aro Arquitetos.



Figura 7 - Perspectiva Tridimensional do Edifício, fachadas sul e leste.

Fonte: Acervo de Projetos do Escritório Aro Arquitetos.

3.2 LOCALIZAÇÃO

O município de Raul Soares, conforme dados do IBGE, situa-se na Zona da Mata de Minas Gerais, localiza-se a uma altitude média de 294 metros acima do nível do mar, tem como coordenadas geográficas $-20^{\circ} 06' 07''$ S e $-42^{\circ} 27' 09''$ W. Localiza-se a uma distância de 222 km da capital estadual Belo Horizonte, com uma população estimada em 25 mil habitantes (BRASIL, 2014a).



Figura 8 - Mapa Político de Minas Gerais com a localização do município de Raul Soares marcado de amarelo

Fonte: Adaptado de Google Maps. Data: 08/12/2014.

Para determinação da Zona Bioclimática do município, foi utilizado o software ZBBR. Dessa forma, de acordo com o software com base na NBR 15220 - Parte 3 (ABNT, 2005b), o município está classificado como pertencente à Zona Bioclimática 3 (ZB3). As recomendações para esta Zona Bioclimática estão resumidas na Figura 9 abaixo.

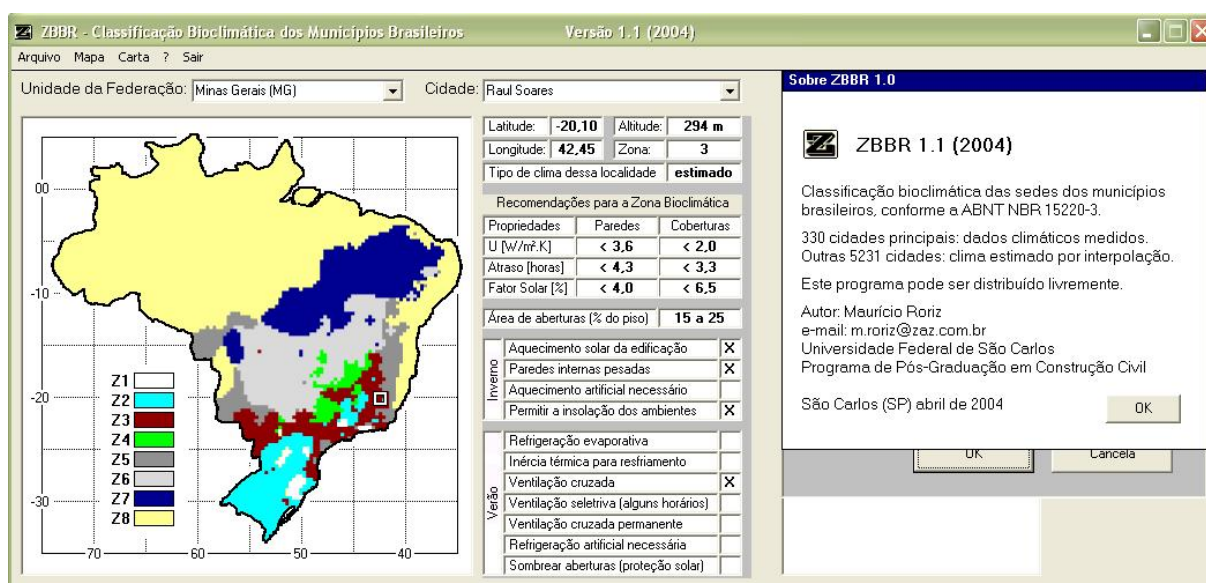


Figura 9 - Classificação do zoneamento bioclimático e recomendações para o Município de Raul Soares.

Fonte: Software ZBBR, versão 2004.

3.3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO EDIFÍCIO

Trata-se de edifício de uso misto de 5 pavimentos com área total construída de 1636,12m², sendo 1031,61m² de uso comercial. Os pavimentos estão distribuídos em garagem no subsolo, clínica no térreo, dois pavimentos de salas comerciais, e um apartamento residencial tipo cobertura linear, conforme Figura 10. O edifício possui escada e elevador comum que dão acesso a todos os pavimentos.

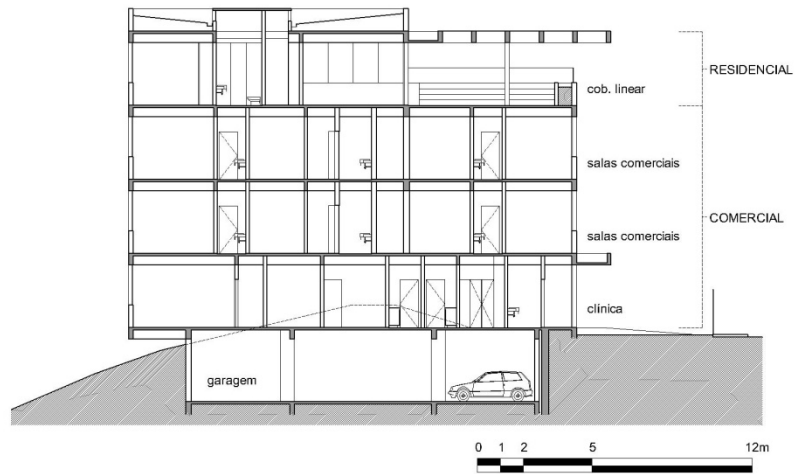


Figura 10 - Corte

Fonte: Adaptado do Acervo de Projetos do Escritório Aro Arquitetos.

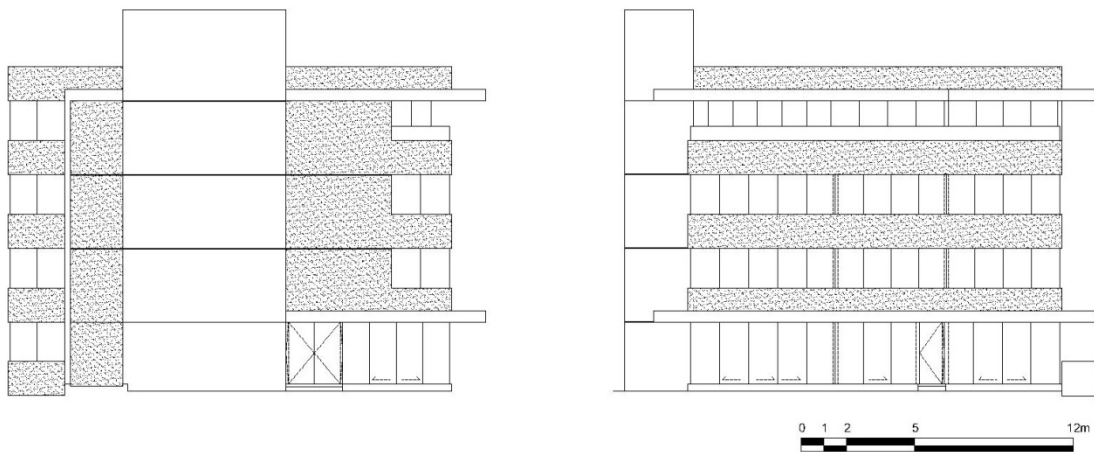


Figura 11 - Fachadas Leste e Norte

Fonte: Adaptado do Acervo de Projetos do Escritório Aro Arquitetos.

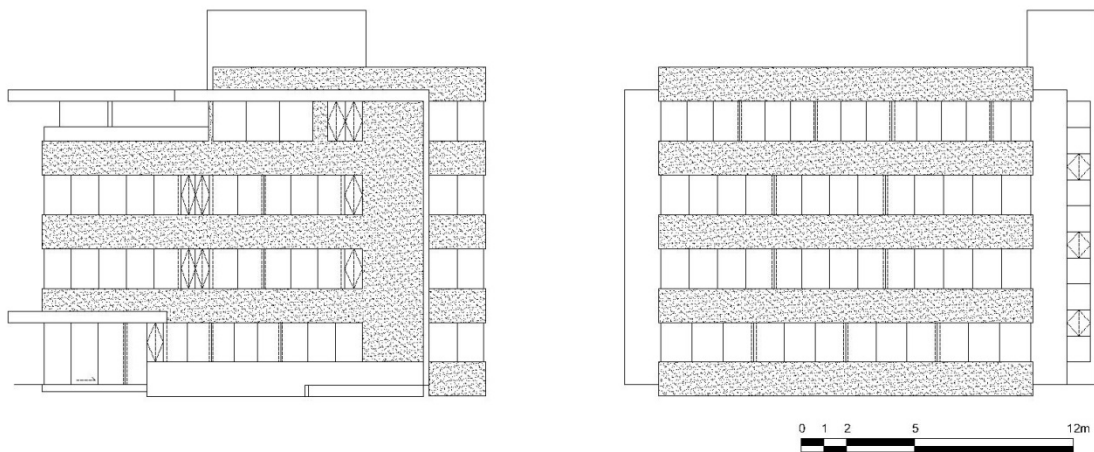


Figura 12 - Fachadas Oeste e Sul

Fonte: Adaptado do Acervo de Projetos do Escritório Aro Arquitetos.

O pavimento de subsolo possui 296,64m² de área coberta e é destinado a garagem para 12 veículos, além de pátio descoberto para outros 2 veículos. O acesso é feito por rampa sobre terreno natural a partir da Rua José Raimundo de Souza, conforme Figura 13.



Figura 13 - Planta do Subsolo

Fonte: Adaptado do Acervo de Projetos do Escritório Aro Arquitetos.

Já o pavimento térreo possui 343,87m² de área construída e é destinado a instalação de uma clínica com acesso por rampas sobre terreno natural a partir de ambas as ruas, conforme Figura 14.



Figura 14 - Planta do Térreo

Fonte: Adaptado do Acervo de Projetos do Escritório Aro Arquitetos.

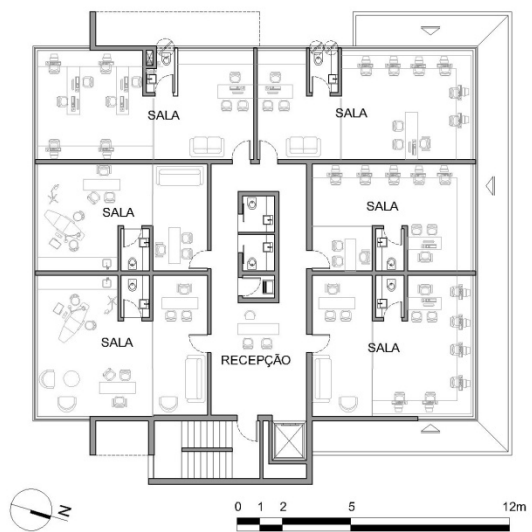


Figura 15 - Planta do Tipo

Fonte: Adaptado do Acervo de Projetos do Escritório Aro Arquitetos.

O pavimento tipo também possui 343,87m², distribuídos em 6 salas destinadas a consultórios com lavabos próprios, além de recepção e instalações sanitárias de uso comum, conforme Figura 15. O pavimento tipo é repetido no primeiro e no segundo andar, totalizando 12 consultórios.

O último pavimento possui 307,87m² de área coberta, e é ocupado por um apartamento residencial tipo cobertura linear com uma pequena área de deck descoberto, como pode ser visto na Figura 16 e Figura 17.

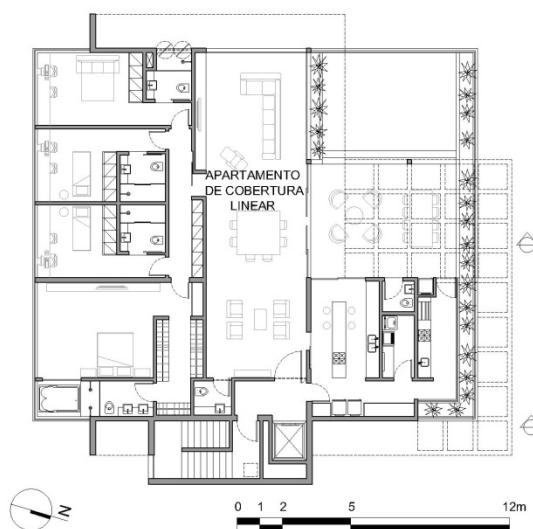


Figura 16 - Planta do último Pavimento

Fonte: Adaptado do Acervo de Projetos do Escritório Aro Arquitetos.

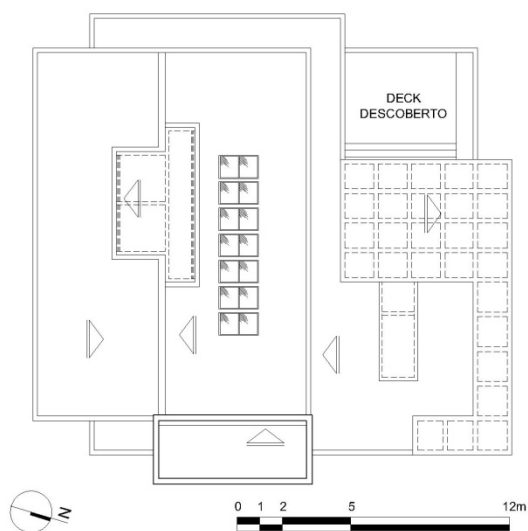


Figura 17 - Planta de Cobertura

Fonte: Adaptado do Acervo de Projetos do Escritório Aro Arquitetos.

3.4 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DO EDIFÍCIO

O edifício será construído em estrutura de concreto armado com alvenaria de blocos cerâmicos de 14x19x39cm. A alvenaria será revestida com uma camada de emboço (traço 1:3:6) e uma camada de reboco, sendo considerado uma média de 2cm de cada lado, totalizando 18cm de espessura total da parede.

O revestimento externo será com tinta acrílica Coral de alta resistência cor branco neve e cinza claro “madeira esfumaçada” 40YY 41/054, variando a sua aplicação de acordo com o padrão volumétrico da edificação.

As esquadrias serão todas sem caixilho, do tipo “blindex” incolor, sendo as janelas em vidro laminado de 8mm e as portas em vidro temperado de 10mm.

Os pergolados, tanto do pátio da garagem quanto do último pavimento serão em concreto armado cobertos com vidro. O deck de madeira será em madeira cumaru.

Serão entregues aparelhos de ar-condicionado tipo Split em todas as salas e áreas de uso comum dos pavimentos de uso comercial.

4 RESULTADO E ANÁLISE

4.1 ENVOLTÓRIA ORIGINAL

4.1.1 Pré-requisitos Específicos

4.1.1.1 Transmitância Térmica

Por se tratar de ZB3, a transmitância térmica das paredes externas (U_{par}) não deve ultrapassar $3,7 \text{ W/m}^2\text{k}$, para obtenção de Nível A, conforme o regulamento. Caso seja maior que o limite, será classificada como Nível E.

O cálculo do U_{par} foi realizado pela determinação da resistência térmica de duas diferentes seções de paredes, uma contemplando parede interna pintada e outra contemplando parede interna de banheiro em revestimento cerâmico. Considerando que ambos resultados foram menores que o valor máximo para obtenção de Nível A, conforme Figura 19, foi considerado desnecessário a realização de cálculo de ponderação por área para atendimento ao pré-requisito.

Com relação a transmitância térmica da cobertura (U_{cob}), para ambientes condicionados artificialmente na ZB3, o regulamento define os limites de $1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ para obtenção de Nível A, e $1,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ para obtenção do Nível B.

Considerando-se que o RTQ-C é aplicável apenas à parcela comercial de edifícios de uso misto, o U_{cob} foi avaliado apenas no trecho descoberto do apartamento residencial localizado no último pavimento, única área que se configura como cobertura da parcela comercial do edifício, conforme Figura 18. Desta forma, o cálculo do U_{cob} foi realizado considerando uma seção passando pelo deck de madeira do apartamento residencial. O resultado não atendeu ao limite máximo para obtenção de Nível A, mas permitiu a obtenção do Nível B, conforme ilustrado na Figura 19.

O cálculo para definição da transmitância térmica das paredes externas e da cobertura pode ser aferido no Anexo A.

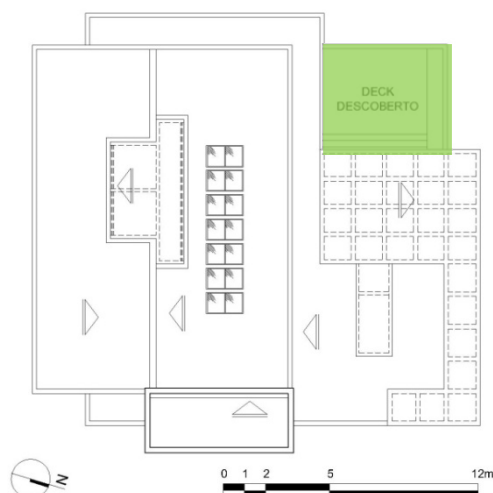


Figura 18 - Planta de Cobertura com demarcação da área considerada como cobertura da parcela comercial

Fonte: Adaptado do Acervo de Projetos do Escritório Aro Arquitetos.

TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DE PAREDES EXTERNAS		
PAREDE	DESCRIÇÃO	TRANSMITÂNCIA
	<p>Parede de tijolos 6 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 14,0x19,0x39,0cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço + reboco: 2,0 cm Espessura total da parede: 18,0 cm</p>	2,085
	<p>Parede de tijolos 6 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 14,0x19,0x39,0cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço + reboco : 2,0 cm Espessura da argamassa de emboço + cerâmica : 2,4 cm Espessura total da parede: 18,4 cm</p>	2,056
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DA COBERTURA		
COBERTURA	DESCRIÇÃO	TRANSMITÂNCIA
	<p>Cobertura em deck de madeira suspenso, sobre laje de concreto, sobre forro de gesso cartonado Espessura da ripa de madeira: 2,0cm Espessura da viga de madeira: 15,0cm Espessura da laje: 9,0cm Espessura do forro de gesso: 1,5cm</p>	1,172

Figura 19 - Cálculo da Transmitância Térmica de Paredes Externas e da Cobertura

Fonte: Elaborada pelo autor.

Considerando-se o pré-requisito transmitância térmica, a envoltória original do edifício está limitada a obter a classificação máxima “B”.

4.1.1.2 Cores e absorvância de superfícies

Por se tratar de ZB3, o regulamento define a obrigatoriedade de utilização de materiais de revestimento externo de paredes com absorvância solar baixa, $\alpha \leq 0,50$ do espectro sol, para obtenção de Nível A.

Tomando-se como referência a Tabela B.2 da NBR 15220 - Parte 2 (ABNT, 2005b), adotou-se 0,20 para pintura cor Branco Neve e 0,40 para pintura cor Cinza Claro Madeira Enfumaçada. Considerando que ambos os valores são menores que o valor máximo para obtenção de Nível A, foi considerada desnecessária a realização de cálculo de ponderação por área.

Para coberturas, aplica-se o mesmo limite de utilização de cor de absorvância máxima de 0,50, para obtenção do Nível A e Nível B.

Considerando-se o deck de madeira em cumaru como a única cobertura da parcela comercial do edifício, adotou-se a absorvância de 0,643 da cor Amarelo Terra, por ser a cor que mais se aproximou da cor da madeira em questão, tomando-se como referência a tabela do item B do Anexo V da Portaria Inmetro nº 50/2013. O resultado não atendeu ao limite máximo para obtenção de Nível A ou B.

Desta forma, considerando-se o pré-requisito de cores e absorvância de superfícies, a envoltória original do edifício está limitada a obter a classificação máxima “C”.

4.1.2 Cálculo do Indicador de Consumo

Foi realizado o cálculo para a determinação do indicador de consumo da envoltória usando a equação da Figura 20, para a ZB 3 e área $A_{pe} \leq 500m^2$.

$$IC_{env} = -175,30 \cdot FA - 212,79 \cdot FF + 21,86 \cdot PAF_T + 5,59 \cdot FS - 0,19 \cdot AVS + 0,15 \cdot AHS + 275,19 \cdot \frac{FA}{FF} + 213,35 \cdot FA \cdot FF - 0,04 \cdot PAF_T \cdot FS \cdot AVS - 0,45 \cdot PAF_T \cdot AHS + 190,42$$

Figura 20 - Equação de classificação da envoltória

Fonte: INMETRO, 2010

Na Figura 21 são demonstrados os ângulos das proteções verticais, obtidos a partir de análise em planta dos pavimentos Térreo e Tipo, usados para cálculo de AHS. Na Figura 22 são indicados os ângulos de proteções horizontais, que foram obtidos a partir de análise em corte, mas foram ilustrados nas fachadas Leste, Norte e Oeste. Na Figura 23 é ilustrado as dimensões da pérgola para fator de correção do AVS das esquadrias J14, J15 e J16. Ao se dividir a altura 50cm pelo vão 130cm, obteve-se 0,38. Esse fator foi multiplicado pelo AVS das esquadrias citadas.

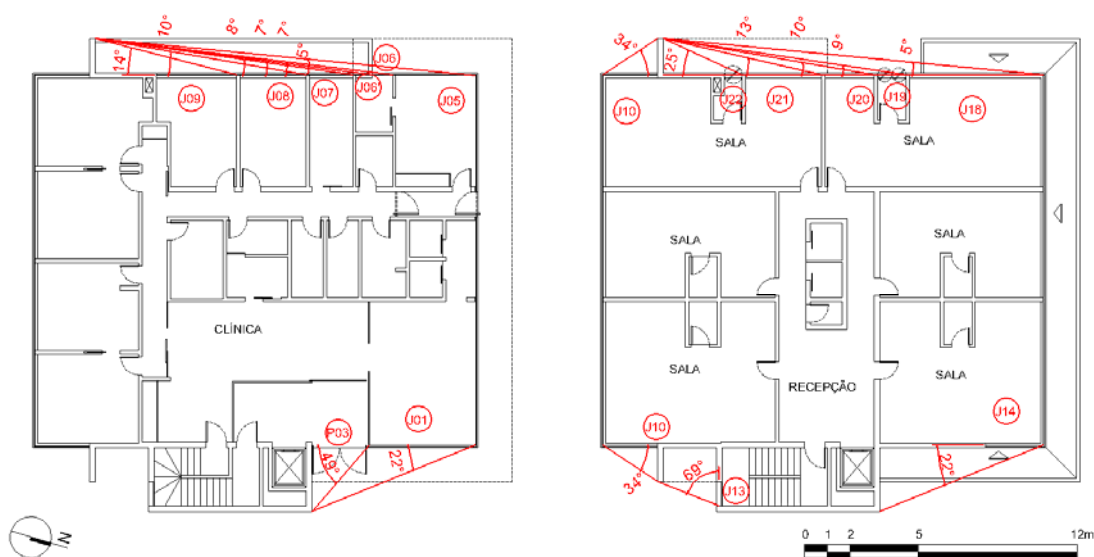


Figura 21 - Ângulos Horizontais de Sombreamento (AHS) indicados nos pavimentos Térreo e Tipo

Fonte: Elaborada pelo autor.

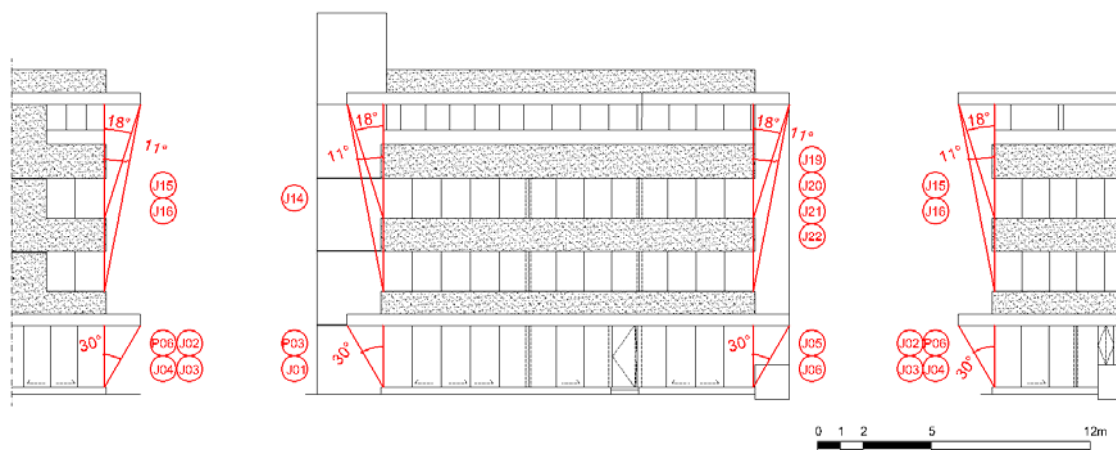


Figura 22 - Ângulos Verticais de Sombreamento (AVS) indicados nas fachadas Leste, Norte e Oeste

Fonte: Elaborada pelo autor.

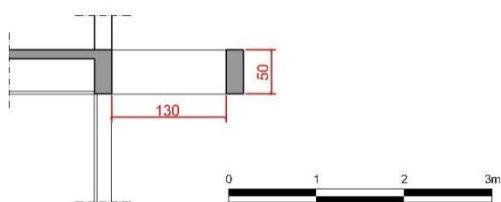


Figura 23 - Dimensões da pérgola para fator de correção do AVS da J14, J15 e J16

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 3 - Dados para definição de PAFt e Ângulos AHS e AVS da Envoltória Original

FACHADA	ESQUADRIA						ÂNGULOS		RESULTADOS		
	NOME	COMP. (m)	ALTURA (m)	ÁREA (m ²)	QUANT. (un)	ÁREA TOTAL (m ²)	AHS (°)	AVS (°)			
LESTE	J10	2,40	1,74	4,18	1	4,18	17	0	Σ Área Fachada (m ²)	190,26	
	J10	2,40	1,74	4,18	2	8,35	17	0	Σ Área Esquadria (m ²)	40,99	
	J01	4,65	2,74	12,74	1	12,74	11	30	PAFt	0,215	
	P03	2,50	2,74	6,85	1	6,85	25	30	Média AHS	15,09	
	J14	2,55	1,74	4,44	2	8,87	11	5,5	Média AVS	15,53	
NORTE	J02	6,30	2,74	17,26	1	17,26	0	30	Σ Área Fachada (m ²)	202,17	
	J03	3,45	2,74	9,45	1	9,45	0	30	Σ Área Esquadria (m ²)	97,79	
	P06	1,10	2,74	3,01	1	3,01	0	30	PAFt	0,484	
	J04	4,90	2,74	13,43	1	13,43	0	30	Média AHS	0,00	
	J15	6,20	1,74	10,79	2	21,58	0	5,5	Média AVS	15,38	
	J16	4,70	1,74	8,18	2	16,36	0	5,5			
	J17	4,80	1,74	8,35	2	16,70	0	0			
OESTE	J05	3,50	2,74	9,59	1	9,59	2,5	30	Σ Área Fachada (m ²)	190,26	
	J06	0,90	2,74	2,47	1	2,47	3,5	30	Σ Área Esquadria (m ²)	86,62	
	J06'	0,70	1,74	1,22	1	1,22	3,5	0	PAFt	0,455	
	J07	1,90	1,74	3,31	1	3,31	4	0	Média AHS	6,34	
	J08	2,91	1,74	5,06	1	5,06	5	0	Média AVS	8,70	
	J09	3,54	1,74	6,16	1	6,16	7	0			
	J10	2,40	1,74	4,18	1	4,18	17	0			
	J18	5,75	1,74	10,01	2	20,01	2,5	0			
	J19	1,25	1,74	2,18	2	4,35	4,5	15			
	J20	2,16	1,74	3,76	2	7,52	5	15			
	J21	3,34	1,74	5,81	2	11,62	6,5	15			
	J22	0,80	1,74	1,39	2	2,78	13	15			
	J10	2,40	1,74	4,18	2	8,35	17	0			
SUL	J11	3,90	1,74	6,79	1	6,79	0	0	Σ Área Fachada (m ²)	202,17	
	J12	3,85	1,74	6,70	2	13,40	0	0	Σ Área Esquadria (m ²)	90,76	
	J11	3,90	1,74	6,79	1	6,79	0	0	PAFt	0,449	
	J23	4,80	1,74	8,35	2	16,70	0	0	Média AHS	3,48	
	J24	4,70	1,74	8,18	2	16,36	0	0	Média AVS	0,00	
	J25	6,20	1,74	10,79	2	21,58	0	0			
	J13	1,05	8,72	9,16	1	9,16	35	0			
										Σ Área Fachada (m ²)	784,86
										Σ Área Esquadria (m ²)	316,16
										PAFt	0,403
										Média AHS	4,69
										Média AVS	9,15

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 3 apresenta as informações consolidadas das esquadrias usadas para obtenção de PAFt e dos ângulos usados para definição de AHS e AVS. O ângulo que será utilizado no cálculo da envoltória será dado pela média ponderada do ângulo de sombreamento em função da área das aberturas. Importante ressaltar que foi considerada a área da esquadria como a área efetiva de vidro, por se tratar de vidro tipo “blindex” sem caixilhamento.

Seguindo orientações do regulamento, alguns componentes da Edificação foram considerados ou desconsiderados, para cálculo dos parâmetros que determinam o Indicador de Consumo. Beirais e marquises foram desconsiderados, assim como todo o pavimento de estacionamento no subsolo, por ser semienterrado e sem ambientes de permanência prolongada. Além disso, todo o último pavimento foi desconsiderado por se tratar de pavimento de uso residencial.

Para determinação do Fator Solar, adotou-se 0,81 para janelas em vidro Laminado Incolor 8mm e 0,82 para portas de vidro Temperado Monolítico Incolor 10mm, segundo catálogo Glassec Viracon. A média ponderada considerando o somatório das áreas de portas e janelas resultou num Fator Solar de 0,81.

Na Tabela 4 são apresentados os valores de cada parâmetro e o resultado do indicador de consumo da envoltória da edificação, além da classificação final da envoltória “C”, já considerando o atendimento aos pré-requisitos.

Tabela 4 - Tabela para Cálculo do Indicador de Consumo e Classificação Final da Envoltória Original da Edificação

Parâmetro	Valor	ICMín	ICMáx
Apcob	343,87	-	-
Atot (m ²)	1031,61	-	-
FA	0,33	-	-
Aenv (m ²)	1128,73	-	-
Vtot (m ³)	3342,42	-	-
FF	0,338	-	-
Área Fachada (m ²)	784,86	-	-
Área Esquadria (m ²)	316,16	-	-
PAFo	0,46	-	-
%(PAFo/PAFt)	13%	-	-
PAFt	0,40	0,05	0,6
FS	0,81	0,87	0,61
AHS	4,69	0	0
AVS	9,15	0	0
Icenv	367,10	361,73	372,30
i		2,6424	

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite Mín.	-	364,39	367,03	369,67	372,31
Limite Máx.	364,38	367,02	369,66	372,30	-



C
367,10

Pré-Requisito	A	B	C	D	E
Upar	X				
Ucob		X			
α paredes	X				
α cobertura			X		



C
CLASSIFICAÇÃO FINAL

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2 ENVOLTÓRIA COM SUGESTÃO DE INTERVENÇÕES

Partindo da análise prescritiva do Regulamento, a envoltória original do edifício obteve a classificação “C”. Diante deste resultado, são propostos os ajustes e analisado os esforços necessários para que a classificação do projeto da edificação obtenha o nível “A” de eficiência energética.

Considerando-se que os pré-requisitos limitaram a classificação em “C”, mesmo resultado do cálculo do indicador de consumo da envoltória, inicialmente foram propostas modificações para que os pré-requisitos permitam classificação “A”.

As modificações foram propostas considerando-se os dois parâmetros que impactaram a classificação final: o U_{cob} e α da cobertura.

TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DA COBERTURA (COM CAMADA DE LÃ DE VIDRO)		
COBERTURA	DESCRIÇÃO	TRANSMITÂNCIA
	<p>Cobertura em deck de madeira suspenso, sobre laje de concreto, com 2,5cm de lâ de vidro sobre forro de gesso cartonado</p> <p>Espessura da ripa de madeira: 2,0cm Espessura da viga de madeira: 15,0cm Espessura da laje: 9,0cm Espessura da lâ de vidro: 2,5cm Espessura do forro de gesso: 1,5cm</p>	0,698

Figura 24 - Cálculo da Transmitância Térmica da Cobertura com camada de lâ de vidro

Fonte: Elaborada pelo autor.

Quanto ao pré-requisito U_{cob} , a envoltória original ficou limitada a classificação “B”, considerando que não atendeu ao limite de $1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ para obtenção de Nível A. Propõe-se a inclusão de uma camada de 2,5cm de lâ de vidro sobre o forro de gesso em toda área localizada sob o deck de madeira descoberto. O novo resultado passou a atender o limite máximo para obtenção de nível “A”, como pode ser observado na Figura 24 e aferido no Anexo A.

Quanto ao pré-requisito α da cobertura, a envoltória original foi rebaixada para classificação “C”, por não ter atendido o critério $\alpha \leq 0,50$, obrigatório para obtenção do Nível A e Nível B. Propõe-se a substituição do cumaru utilizado no deck de madeira, por madeira de cor mais clara, como a Garapa. Para essa modificação, adotou-se a absorvância de 0,418 da cor Mel, por ser a cor que mais se aproximou da cor da madeira proposta, tomando-se como referência a tabela do item B do Anexo V da Portaria Inmetro nº 50/2013.

Com as modificações propostas para os parâmetros U_{cob} e α da cobertura, os pré-requisitos deixaram de limitar a classificação final para um possível “A”. Assim sendo, será necessário avaliar as intervenções para que a classificação do projeto da edificação obtenha o nível “A” de eficiência energética.

A análise das intervenções se concentrou nos quatro parâmetros que impactam na graduação do ICMín e ICMáx, são eles: PAFt, FS, AHS e AVS. Os

parâmetros foram alterados individualmente, até se alcançar o valor de limite máximo para classificação A em relação ao Índice de Consumo da envoltória.

O primeiro parâmetro avaliado foi o PAFt, sendo necessário rever o Pafit de 0,40 para 0,263. Considerando-se 784,86 m² de área de fachada total, a área de janela total deveria passar de 316,16m² para 206,42m², uma redução de 109,74m², ou cerca de 35%. Uma redução significativa de área de janela como essa, possivelmente acarretaria uma grande perda de iluminação interna dos ambientes. A grande vantagem seria o baixo custo de alteração, sendo que na verdade, a substituição de área de vidro por alvenaria de vedação poderia provavelmente promover uma redução de custo de obra. No entanto, é necessário verificar a relação custo/benefício principalmente em relação as perdas na iluminação natural.

A segunda possibilidade seria passar o FS de 0,81 para 0,31, através da substituição de vidro comum por um vidro de alto desempenho. Essa alteração resultaria um grande aumento de custos e uma pequena perda de iluminação interna dos ambientes.

A terceira opção seria ajustar o parâmetro AHS, sendo necessário aumentar de 4,69 para 91,70. Porém, considerando-se que o regulamento estabelece ângulo máximo de 45,00, considerou-se o AVS como parâmetro complementar, ajustado até que se obtivesse o nível "A". Sendo assim, seria necessário rever simultaneamente o AHS para 45,00 e o AVS para 16,35.

O último parâmetro avaliado foi o AVS, sendo necessário aumentar de 9,15 para 22,55, através da revisão das proteções horizontais.

As alterações de ângulos de sombreamento resultariam um aumento de custos mediano e uma pequena perda de iluminação interna dos ambientes.

Diante dos resultados, o uso de elementos de sombreamento se mostra a opção mais eficiente. Dentre os tipos de proteção solar, aquele que resulte um maior AVS de proteções horizontais se mostra o mais eficiente, se considerarmos o resultado obtido a partir de um esforço relativamente mais baixo que a alteração dos demais parâmetros. O uso de vidro especial se destacou como a opção que teria o menor impacto na linguagem arquitetônica.

Diante do exposto, foi feita uma simulação complementar, combinando proteção solar com vidro de alto desempenho. Para isso, alterou-se o FS e o AVS

simultaneamente, cada um alterando metade do esforço que seria necessário para obter A individualmente. Sendo assim, seria necessário rever simultaneamente o FS para 0,56 e o AVS para 16,00.

4.3 ENVOLTÓRIA COM PROTEÇÕES OTIMIZADAS PELO MÉTODO DA TEMPERATURA NEUTRA

O uso de proteções solares, apesar de reconhecido pelo RTQ-C, não deve levar em conta somente o atendimento desse regulamento. Isso porque o método prescritivo do RTQ-C concede pontuação ao uso de protetores solares, independente da distribuição dos ângulos de sombreamento em função das necessidades de proteção de cada fachada. Uma proteção solar inserida de forma desnecessária, além de aumentar os custos irá reduzir a disponibilidade de luz natural para aquela situação, o que pode prejudicar a qualidade do ambiente em questão.

Considerando a proposta para o objeto de estudo, e se obter o nível “A” a partir do uso de proteção solares, existe a possibilidade de se aumentar igualmente um ângulo de sombreamento em todas as fachadas ou de se aplicar diferentes ângulos de sombreamento a partir da demanda de proteção das aberturas de cada fachada, sendo esta última opção a mais adequada para o conforto do usuário e não apenas para a melhoria da classificação da envoltória.

Dessa forma, utilizou-se o Método da Temperatura Neutra (Tn) aplicado a carta solar e dados de radiação solar, para determinação das dimensões mínimas do sistema de proteção solar, a partir de critérios que definem condições de conforto.

O Município de Raul Soares não tem dados meteorológicos disponíveis para utilização. Como o Município de Caratinga é próximo, está na ZB3, tem características climáticas e geográficas semelhantes, seus dados foram utilizados para a análise da Tn.

A Tabela 5 parte 1 apresenta as informações consolidadas do Cálculo da Tn, obtida através de equação que considera a temperatura média mensal do ar para Caratinga, e ilustra também as temperaturas de referência acima e abaixo da Tn, com distinção de cores para cada temperatura de referência.

A Tabela 5 parte 2 exhibe as temperaturas médias mensais hora a hora, obtidas a partir do procedimento de Alucci (1992) apud Assis (2001), com a aplicação das cores a partir das temperaturas de referência, definidas na parte 1.

Tabela 5 - Classificação da temperatura do ar externa em função da Temperatura Neutra para Caratinga

	Tn-8	16,89	17,01	16,85	16,33	15,74	15,27	15,18	15,52	15,92	16,42	16,61	16,39
	Tn-7	17,89	18,01	17,85	17,33	16,74	16,27	16,18	16,52	16,92	17,42	17,61	17,39
	Tn-6	18,89	19,01	18,85	18,33	17,74	17,27	17,18	17,52	17,92	18,42	18,61	18,39
	Tn-4	20,89	21,01	20,85	20,33	19,74	19,27	19,18	19,52	19,92	20,42	20,61	20,39
	Tn	24,89	25,01	24,85	24,33	23,74	23,27	23,18	23,52	23,92	24,42	24,61	24,39
	Tn+1	25,89	26,01	25,85	25,33	24,74	24,27	24,18	24,52	24,92	25,42	25,61	25,39
	Tn+2	26,89	27,01	26,85	26,33	25,74	25,27	25,18	25,52	25,92	26,42	26,61	26,39
	Tn+3	27,89	28,01	27,85	27,33	26,74	26,27	26,18	26,52	26,92	27,42	27,61	27,39
	Tn+4	28,89	29,01	28,85	28,33	27,74	27,27	27,18	27,52	27,92	28,42	28,61	28,39
	Tn+5	29,89	30,01	29,85	29,33	28,74	28,27	28,18	28,52	28,92	29,42	29,61	29,39
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
06:00	18,30	18,90	19,20	17,30	15,10	13,10	12,50	13,60	14,90	17,70	18,60	18,70	
07:00	19,04	19,66	19,91	18,01	15,88	13,95	13,37	14,45	15,70	18,35	19,23	19,35	
08:00	20,84	21,49	21,62	19,75	17,76	16,00	15,48	16,50	17,64	19,93	20,76	20,93	
09:00	22,86	23,54	23,54	21,69	19,87	18,30	17,83	18,80	19,80	21,70	22,47	22,70	
10:00	24,55	25,27	25,16	23,32	21,65	20,24	19,82	20,74	21,63	23,19	23,91	24,19	
11:00	25,93	26,68	26,47	24,64	23,09	21,81	21,43	22,31	23,11	24,40	25,08	25,40	
12:00	27,31	28,08	27,79	25,97	24,54	23,39	23,04	23,89	24,59	25,61	26,25	26,61	
13:00	27,73	28,51	28,19	26,38	24,98	23,87	23,54	24,37	25,05	25,98	26,61	26,98	
14:00	28,69	29,48	29,10	27,30	25,98	24,96	24,65	25,46	26,07	26,81	27,42	27,81	
15:00	28,90	29,70	29,30	27,50	26,20	25,20	24,90	25,70	26,30	27,00	27,60	28,00	
16:00	28,48	29,27	28,90	27,09	25,76	24,72	24,40	25,22	25,84	26,63	27,24	27,63	
17:00	28,05	28,84	28,49	26,68	25,31	24,23	23,91	24,73	25,39	26,26	26,88	27,26	
18:00	27,31	28,08	27,79	25,97	24,54	23,39	23,04	23,89	24,59	25,61	26,25	26,61	

Fonte: Elaborada pelo autor.

O próximo passo seria a transposição gráfica dos dados levantados na carta solar de Caratinga. Como o objetivo do trabalho era aplicar o método da Tn para dimensionamento das proteções solares, e foi identificado que o LABCON já dispunha dos resultados calculados pelo método Tn para o município de Caratinga para edifícios residenciais, optou-se por aplicar diretamente os resultados do LABCON, para dimensionar as proteções solares do objeto de estudo. Admitiu-se a aplicação de parâmetros de edifícios residenciais, ciente de que esses são menos restritivos do que no caso de edifício comercial.

A Figura 25 mostra a Carta Solar de Caratinga com aplicação das cores a partir das temperaturas de referência, gerada pelo LABCON. O resultado da aplicação dessa carta nas principais orientações geográficas, considerando ainda a área de abertura em relação à área de piso do ambiente, é resumido na Tabela 6.

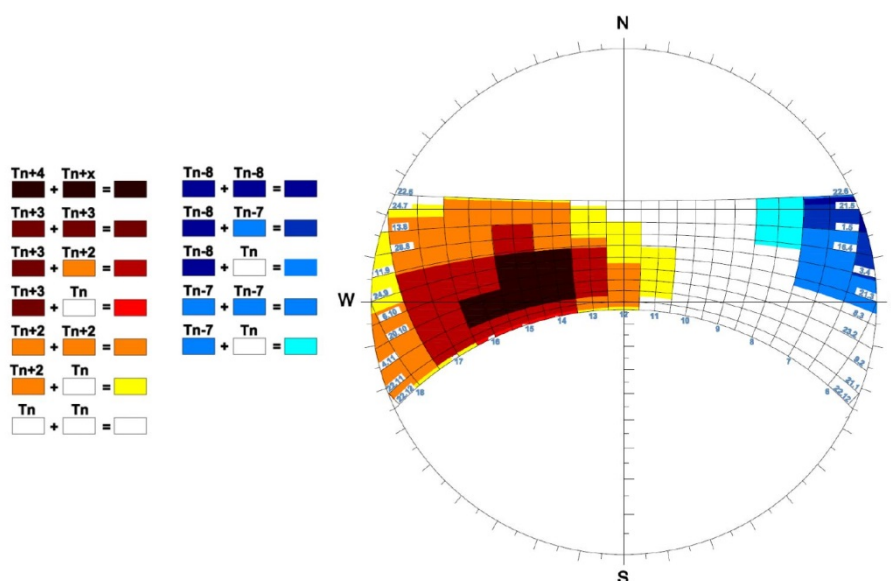


Figura 25 - Carta Solar de Caratinga com aplicação das cores a partir das temperaturas de referência

Fonte: Labcon: Proteção Solar

Tabela 6 - Tabela resumo de ângulos de proteções solares para Caratinga

FACHADA	Área de Esquadria/ área piso	α	βd	βe	γd	γe
LESTE	<25%	-	-	-	-	-
	>25%	65	-	-	30	30
NORTE	<25%	30	-	55	-	-
	>25%	40	-	20	55	-
OESTE	<25%	75	-	-	30	30
	>25%	75	-	-	40	30
SUL	<25%	-	-	-	-	-
	>25%	10	20	-	-	-

Fonte: Adaptado de Labcon: Proteção Solar

A partir da Tabela 6, aplicou-se os ângulos das proteções solares para cada condição de fachada e relação esquadria/piso a uma janela genérica. O uso de lâminas se mostrou a melhor opção, considerando a existência de alguns ângulos maiores. Foi possível adotar geometria de proteções para atender a mais de uma situação e o resultado foram 3 tipos de brises, representados graficamente na Figura 26. A solução final das proteções solares ainda poderia sofrer adaptações de geometria em benefício da linguagem arquitetônica, ficando a critério do projetista de arquitetura.

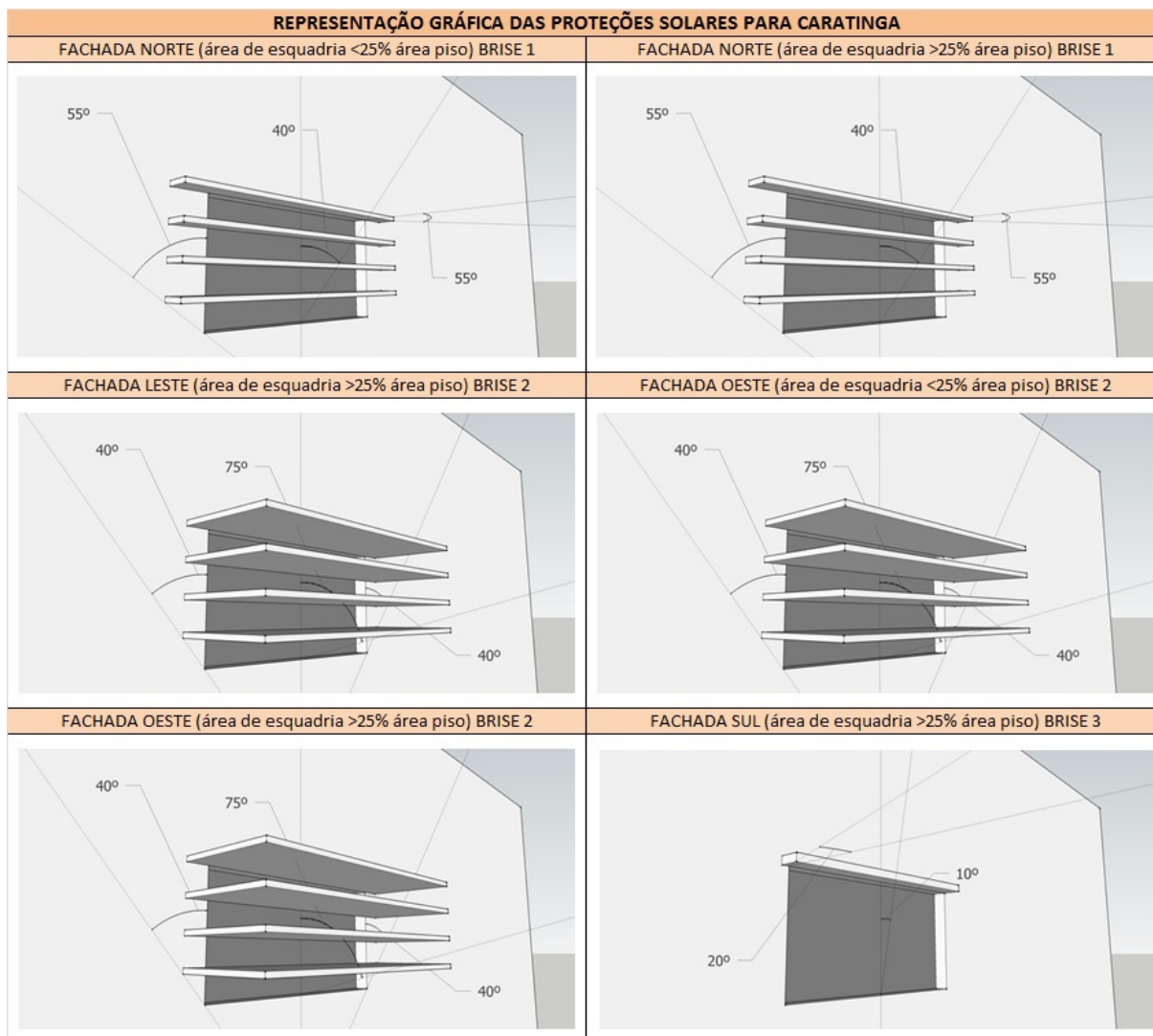


Figura 26 - Representação gráfica das proteções solares para Caratinga

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os ângulos calculados pelo método da Temperatura Neutra são aplicados a cada esquadria do objeto de estudo, considerando a fachada e a área de abertura em relação à área do piso do ambiente. Esses ângulos ainda são combinados aos ângulos originais do objeto de estudo e os ângulos finais resultam do maior valor encontrado. A Tabela 7 demonstra a relação entre a área de esquadria em relação à área de piso do cômodo, para cada esquadria. Ainda são demonstrados os ângulos originais, calculados e finais para definição de AHS e AVS, além das informações das esquadrias usadas para obtenção de PAft.

Tabela 7 - Dados para definição de PAFt e Ângulos AHS e AVS (originais, calculados e finais) da Envoltória com proteções otimizadas pelo método da Temperatura Neutra

FACHADA	ESQUADRIA		CÔMODO		ORIGINAIS		CALCULADOS		FINAIS		RESULTADOS	
	NOME	ÁREA (m ²)	ÁREA (m ²)	esq. / piso	AHS (°)	AVS (°)	AHS (°)	AVS (°)	AHS (°)	AVS (°)		
LESTE	J10	4,18	17,36		17	0	0	0	17	0	Σ Área Fachada (m ²)	190,26
	J10	4,18	43,12		17	0	0	0	17	0	Σ Área Esquadria (m ²)	40,99
	J01	12,74	29,30	>25%	11	30	0	65	11	65	PAFt	0,215
	P03	6,85	15,47	>25%	25	30	0	65	25	65	Média AHS	15,09
	J14	4,44	40,92		11	5,5	0	0	11	5,5	Média AVS	32,26
NORTE	J02	17,26	29,30	>25%	0	30	10	40	10	40	Σ Área Fachada (m ²)	202,17
	J03	9,45	4,48	>25%	0	30	10	40	10	40	Σ Área Esquadria (m ²)	97,79
	P06	3,01	3,87	>25%	0	30	10	40	10	40	PAFt	0,484
	J04	13,43	17,14	>25%	0	30	10	40	10	40	Média AHS	12,99
	J15	10,79	40,92	>25%	0	5,5	10	40	10	40	Média AVS	38,29
	J16	8,18	30,27	>25%	0	5,5	10	40	10	40		
	J17	8,35	42,55		0	0	27,5	30	28	30		
OESTE	J05	9,59	17,14	>25%	2,5	30	0	75	2,5	75	Σ Área Fachada (m ²)	190,26
	J06	2,47	4,00	>25%	3,5	30	0	75	3,5	75	Σ Área Esquadria (m ²)	86,62
	J06´	1,22	4,00	>25%	3,5	0	0	75	3,5	75	PAFt	0,455
	J07	3,31	9,12	>25%	4	0	0	75	4	75	Média AHS	6,34
	J08	5,06	14,27	>25%	5	0	0	75	5	75	Média AVS	75,00
	J09	6,16	15,55	>25%	7	0	0	75	7	75		
	J10	4,18	18,58		17	0	0	75	17	75		
	J18	10,01	42,55		2,5	0	0	75	2,5	75		
	J19	2,18	2,31	>25%	4,5	15	0	75	4,5	75		
	J20	3,76	42,55		5	15	0	75	5	75		
	J21	5,81	42,55		6,5	15	0	75	6,5	75		
	J22	1,39	2,31	>25%	13	15	0	75	13	75		
	J10	4,18	42,55		17	0	0	75	17	75		
SUL	J11	6,79	18,58	>25%	0	0	10	10	10	10	Σ Área Fachada (m ²)	202,17
	J12	6,70	17,13	>25%	0	0	10	10	10	10	Σ Área Esquadria (m ²)	90,76
	J11	6,79	17,36	>25%	0	0	10	10	10	10	PAFt	0,449
	J23	8,35	42,55		0	0	0	0	0	0	Média AHS	10,63
	J24	8,18	32,03	>25%	0	0	10	10	10	10	Média AVS	8,16
	J25	10,79	43,12	>25%	0	0	10	10	10	10		
	J13	9,16	35,49	>25%	35	0	10	10	35	10		
											Σ Área Fachada (m²)	784,86
											Σ Área Esquadria (m²)	316,16
											PAFt	0,403
											Média AHS	10,76
											Média AVS	38,92

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 8 - Tabela para Cálculo do Indicador de Consumo e Classificação Final da Envoltória com proteções otimizadas pelo método da Temperatura Neutra

Parâmetro	Valor	ICMín	ICMáx
Apcob	343,87	-	-
Atot (m ²)	1031,61	-	-
FA	0,33	-	-
Aenv (m ²)	1128,73	-	-
Vtot (m ³)	3342,42	-	-
FF	0,338	-	-
Área Fachada (m ²)	784,86	-	-
Área Esquadria (m ²)	316,16	-	-
PAFo	0,46	-	-
%(PAFo/PAFt)	13%	-	-
PAFt	0,40	0,05	0,6
FS	0,81	0,87	0,61
AHS	10,76	0	0
AVS	38,92	0	0
Icenv	360,87	361,73	372,30
i		2,6424	

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite Mín.	-	364,39	367,03	369,67	372,31
Limite Máx.	364,38	367,02	369,66	372,30	-



A
360,87

Pré-Requisito	A	B	C	D	E
Upar	X				
Ucob	X				
α paredes	X				
α cobertura	X				



A

CLASSIFICAÇÃO FINAL

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Tabela 8 são apresentados os valores de cada parâmetro e o resultado do indicador de consumo da envoltória com proteções otimizadas pelo Método da Temperatura Neutra, com classificação final da envoltória “A”, já considerando o atendimento aos pré-requisitos. Importante ressaltar que a classificação “A” foi obtida diretamente após uso de proteções otimizadas, sem a necessidade de adotar vidros de alto desempenho.

5 CONCLUSÃO

O RTQ-C define as condições e classifica o desempenho de projetos e edifícios, sob o aspecto da eficiência energética. A sua aplicação tem potencial de promover a melhoria da qualidade de projetos arquitetônicos, além de forçar a disponibilização de dados técnicos pelos fabricantes de produtos. Mas a maior vantagem será a de fornecer ao consumidor a possibilidade de comparar os imóveis disponíveis no mercado, assim como já acontece com diversos produtos no mercado brasileiro. Destaca-se a necessidade de promover o Programa Procel Edifica, seja tornando obrigatória sua aplicação ou mesmo através de maior divulgação.

O objeto de estudo teve a sua envoltória analisada pelo método prescritivo do RTQ-C e o resultado foi “C”, além de também ter sido limitado a “C” devido a um dos pré-requisitos, consequência do uso de cor escura no deck de madeira que se configura como cobertura da área comercial. Uma das dificuldades nessa etapa foi encontrar dados de referência para transmitância e absorptância dos materiais, sendo necessário estabelecer valores por analogia e comparação, o que cria limitações quanto à precisão de alguns resultados obtidos. Por isso, ressalta-se a importância de criação de um amplo banco de dados de referência para valores de transmitância e absorptância de materiais.

Diante do resultado obtido para envoltória original, foram sugeridos ajustes para obtenção do resultado “A”. Para rever o resultado dos pré-requisitos, propôs-se a substituição da madeira usada no deck por uma de cor mais clara e o uso de lã de vidro sob o mesmo deck. O resultado dos pré-requisitos foi facilmente revertido, considerando-se a pequena área de intervenção, em comparação com a área total do edifício. Considera-se que essa constatação seja reflexo da aplicação de uma das regras do RTQ-C, que determina que seja avaliado apenas a parcela comercial de edifícios de uso misto. Estima-se que seja relevante haver uma revisão do regulamento de forma a estabelecer uma área mínima a ser considerada para os casos da parcela comercial de edifício de uso misto ter uma cobertura relativamente pequena.

Atendidos os pré-requisitos, foram propostos ajustes a partir da alteração individual dos parâmetros PAFt, FS, AHS e AVS, até se alcançar o valor de limite

máximo para classificação “A”. As possíveis soluções apontadas envolveram redução de área de esquadrias, uso de vidro especial ou criação de protetores solares. Somente o parâmetro AHS foi considerado insuficiente para obter “A”, a partir de sua revisão individual, por ter resultado proteções verticais com ângulos superiores ao valor limite do regulamento. Nesse caso, adotou-se o valor do AHS de 45,00, e considerou-se o AVS como parâmetro complementar, aumentado até se obter “A”. A partir de uma análise subjetiva, constatou-se que as alterações de ângulos de sombreamento, em especial as que resultem um maior AVS de proteções horizontais, seriam as ações com melhor custo-benefício para melhoria da classificação da envoltória do edifício. O uso de vidro especial foi considerado pelo baixo impacto na linguagem arquitetônica e, por isso, foi feita uma simulação complementar, modificando-se o FS e o AVS simultaneamente, cada um alterando metade do esforço que seria necessário para obter A individualmente.

Apesar da importância dos protetores solares para melhor eficiência energética de uma edificação, o RTQ-C não faz distinção quanto a melhor distribuição desses elementos em cada fachada. Para o objeto de estudo obter “A” a partir do uso de proteção solares, seria possível aumentar igualmente os ângulos em todas as fachadas ou aplicar diferentes ângulos de acordo com a necessidade de proteção de cada fachada. Destaca-se a importância da revisão do regulamento de forma a reconhecer o bom uso das proteções solares em função da orientação solar.

Para definição do período em que a proteção solar é desejável para uma abertura de cada fachada, adotou-se o método da Temperatura Neutra (Tn). Como foi identificado que o LABCON já dispunha dos resultados calculados pelo método Tn para o município em questão, optou-se por aplicar diretamente os ângulos a cada esquadria do objeto de estudo. Esses ângulos ainda foram combinados aos ângulos originais, obtendo-se o maior valor encontrado. O indicador de consumo da envoltória com proteções otimizadas pelo Método da Temperatura Neutra também resultou classificação final “A”, sem a necessidade de combinar com vidros de alto desempenho.

Constata-se que os objetivos do trabalho foram plenamente alcançados, considerando o aprimoramento do autor sobre a aplicação do RTQ-C e do Método da Temperatura Neutra, além de ter permitido uma avaliação das intervenções de projeto necessárias para obtenção do nível máximo de eficiência energética.

O conhecimento das variáveis do RTQ-C pode auxiliar o desenvolvimento de projetos arquitetônicos, permitindo que as tomadas de decisão na fase de concepção do projeto já contemplem o atendimento do regulamento. Já o conhecimento aprofundado da aplicação do RTQ-C pode permitir ao profissional o ingresso no mercado de etiquetagem de edificações. Reconhece-se a importância do manual de aplicação, ao esclarecer os casos de exceção e ilustrar algumas situações.

A aplicação do Método da Temperatura Neutra se mostrou viável para ser integrada ao processo de projeto, desde que se tenha em mãos o material fornecido pelo LABCON, já calculado para o município em questão.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15220-2*: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15220-3*: desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.

ASSIS, E. S. Método integrado de análise climática para arquitetura aplicado à cidade de Belo Horizonte, MG. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 6º, e Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 3º, 2001, São Pedro, SP. *Anais...* São Paulo: ANTAC, 2001. Disponível em: <<http://www.arq.ufmg.br/labcon/?pag=texto&id=50>>. Acesso em: 30 out. 2014.

ALUCCI, M. P. (1992) *Conforto térmico, conforto luminoso e conservação de energia elétrica*: procedimentos para o desenvolvimento e avaliação de projeto de edificações. São Paulo, 225p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo *apud* ASSIS, E. S. Método integrado de análise climática para arquitetura aplicado à cidade de Belo Horizonte, MG. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 6º, e Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 3º, 2001, São Pedro, SP. *Anais...* São Paulo: ANTAC, 2001.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Cidades*. Brasília, 2014a. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=315400&search=mi-nas-gerais|raul-soares>>. Acesso em: 8 dez. 2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional 2014: Ano base 2013. Rio de Janeiro, 2014b. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instituto Nacional de Meteorologia. *Normais climatológicas 1961-1990*. Brasília, 1992. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>>. Acesso em: 10 dez. 2014.

ELETROBRAS *et al.* *Introdução ao Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações*. 2013a, 12p. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

ELETROBRAS *et al.* *Manual para aplicação do RTQ-C*: Manual C - Comercial, de Serviços e Público, Versão 02. 2013b, 202p. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

GLASSEC VIDROS DE SEGURANÇA LTDA. *Tabelas de Desempenho: Vidro Laminado*. Nazaré Paulista, 2011. Disponível em: <<http://www.glassec.com.br/pagina/tabeladedesempenho/16>>. Acesso em: 12 dez. 2014.

GLASSEC VIDROS DE SEGURANÇA LTDA. *Tabelas de Desempenho: Vidro Monolítico*. Nazaré Paulista, 2011. Disponível em: <<http://www.glassec.com.br/pagina/tabeladedesempenho/24>>. Acesso em: 12 dez. 2014.

INMETRO: INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Portaria 372 de 17 de setembro de 2010. Aprova a revisão dos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ). *INMETRO*, Brasília. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001599.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

INMETRO: INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Portaria 50 de 01 de fevereiro de 2013, Anexo Geral V: Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros. Aprova o aperfeiçoamento dos Requisitos de Avaliação da Conformidade para a Eficiência Energética de Edificações. *INMETRO*, Brasília. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

LABCON. Escola de Arquitetura. UFMG. *Proteção Solar - Máscaras e Ângulos de Proteção Solar - MG: Caratinga*. Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <http://www.arq.ufmg.br/labcon/?pag=texto&id_ref=43>. Acesso em: 19 dez. 2014.

PEREIRA, I. M.; SOUZA, R. V. G. Proteção solar em edificações residenciais e comerciais: desenvolvimento de metodologia. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO- ENTAC, 12, 2008, Fortaleza. *Anais... apud SANTOS, I. G.; SOUZA, R. V. G. Análise de Envoltória e Sistema de Iluminação a partir do RTQ-C para avaliação de desempenho de sistemas de fachada e proteções solares*. Dissertação (Mestrado) EAUFMG, Belo Horizonte, 2011.

RORIZ, M. *ZBBR: Classificação Bioclimática dos Municípios Brasileiros*. Versão 1.1. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2004. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/software/zbbr>>. Acesso em: 10 dez. 2014. Software de livre distribuição.

SANTOS, I. G.; SOUZA, R. V. G. *Análise de Envoltória e Sistema de Iluminação a partir do RTQ-C para avaliação de desempenho de sistemas de fachada e proteções solares*. Dissertação (Mestrado) EAUFMG, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <<http://www.arq.ufmg.br/labcon/?pag=texto&id=170>>. Acesso em: 5 mai. 2014.

ANEXO A – Memória de Cálculo de Transmitância Térmica

PAREDE (COMPOSIÇÃO: ARGAMASSA + TIJOLO + ARGAMASSA)						
SEÇÃO	MATERIAL	ESPESSURA (m)	CONDUTIVIDADE (W/m.K)	RESISTÊNCIA	RESISTÊNCIA TOTAL	ÁREA (m ²)
1	Argamassa	0,18	1,15	0,157	0,157	(0,01x0,39)+(0,01x0,01)+(0,01x0,19)= 0,006
2	Argamassa	0,04	1,15	0,035		
	Tijolo	0,060	0,90	0,067	0,421	(0,15x0,39)= 0,059
	Ar	-	-	0,160		
	Ar	-	-	0,160		
3	Argamassa	0,04	1,15	0,035		
Tijolo	0,140	0,90	0,156			
					Rse	0,130
					Rsi	0,040
					Rt	$A1+A2+A3/(A1/R1)+(A2/R2)+(A3/R3)= 0,310$
					RT	$Rse+Rt+Rsi= 0,480$
					U	$1/RT= 2,085$
PAREDE (COMPOSIÇÃO: ARGAMASSA + TIJOLO + ARGAMASSA + CERÂMICA)						
SEÇÃO	MATERIAL	ESPESSURA (m)	CONDUTIVIDADE (W/m.K)	RESISTÊNCIA	RESISTÊNCIA TOTAL	ÁREA (m ²)
1	Argamassa	0,18	1,15	0,157	0,162	(0,01x0,39)+(0,01x0,01)+(0,01x0,19)= 0,006
	Cerâmica	0,004	0,7	0,006		
2	Argamassa	0,04	1,15	0,035	0,427	(0,15x0,39)= 0,059
	Cerâmica	0,004	0,7	0,006		
	Tijolo	0,060	0,90	0,067		
	Ar	-	-	0,160		
	Ar	-	-	0,160		
3	Argamassa	0,04	1,15	0,035	0,196	(0,04x0,39)= 0,016
	Cerâmica	0,004	0,7	0,006		
	Tijolo	0,140	0,90	0,156		
					Rse	0,130
					Rsi	0,040
					Rt	$A1+A2+A3/(A1/R1)+(A2/R2)+(A3/R3)= 0,316$
					RT	$Rse+Rt+Rsi= 0,486$
					U	$1/RT= 2,056$
COBERTURA (COMPOSIÇÃO: MADEIRA + CONCRETO + GESSO)						
SEÇÃO	MATERIAL	ESPESSURA (m)	CONDUTIVIDADE (W/m.K)	RESISTÊNCIA	RESISTÊNCIA TOTAL	ÁREA (m ²)
1	Madeira	0,02	0,15	0,133	0,588	(0,50x1,00)= 0,500
	Ar	-	-	0,180		
	Concreto	0,09	1,75	0,051		
	Ar	-	-	0,180		
	Gesso	0,015	0,35	0,043		
2	Madeira	0,17	0,15	1,133	1,588	(0,08x1,00)= 0,080
	Ar	-	-	0,180		
	Concreto	0,09	1,75	0,051		
	Ar	-	-	0,180		
	Gesso	0,015	0,35	0,043		
					Rse	0,040
					Rsi	0,170
					Rt	$A1+A2/(A1/R1)+(A2/R2)= 0,644$
					RT	$Rse+Rt+Rsi= 0,854$
					U	$1/RT= 1,172$

Fonte: Elaborado pelo autor.

COBERTURA (COMPOSIÇÃO: MADEIRA + CONCRETO + GESSO + LÃ DE VIDRO)						
SEÇÃO	MATERIAL	ESPESSURA (m)	CONDUTIVIDADE (W/m.K)	RESISTÊNCIA	RESISTÊNCIA TOTAL	ÁREA (m ²)
1	Madeira	0,02	0,15	0,133	1,143	(0,50x1,00)= 0,500
	Ar	-	-	0,180		
	Concreto	0,09	1,75	0,051		
	Ar	-	-	0,180		
	Lã de vidro	0,025	0,045	0,556		
	Gesso	0,015	0,35	0,043		
2	Madeira	0,17	0,15	1,133	2,143	(0,08x1,00)= 0,080
	Ar	-	-	0,180		
	Concreto	0,09	1,75	0,051		
	Ar	-	-	0,180		
	Lã de vidro	0,025	0,045	0,556		
	Gesso	0,015	0,35	0,043		
					Rse	0,040
					Rsi	0,170
					Rt	$A1+A2/(A1/R1)+(A2/R2)= 1,222$
					RT	$Rse+Rt+Rsi= 1,432$
					U	$1/RT= 0,698$

Fonte: Elaborado pelo autor.