

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Arquitetura
Curso de Especialização em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade
Aplicados ao Ambiente Construído

Gerônimo Daniel Cardoso

ANÁLISE DE EDIFÍCIO PARA CLASSIFICAÇÃO NO NÍVEL DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA PELO RTQ-C
Etiqueta parcial da envoltória

Belo Horizonte, MG
2012

Gerônimo Daniel Cardoso

**ANÁLISE DE EDIFÍCIO PARA CLASSIFICAÇÃO NO NÍVEL DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA PELO RTQ-C
Etiqueta parcial da envoltória**

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, como requisito parcial para à obtenção do título de especialista.

Orientadora: Prof^a Grace C. Roel Gutierrez

Belo Horizonte
2012

C268a

Cardoso, Gerônimo Daniel.

Análise de edifício para classificação no nível de eficiência energética pelo RTQ-C [manuscrito] : etiqueta parcial da envoltória / Gerônimo Daniel Cardoso. - 2012.

61 f. : il.

Orientadora: Grace Cristina Roel Gutierrez.

Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Energia - Conservação. 2. Energia - Armazenamento. 3. Edifícios - Engenharia ambiental. 4. Tecnologia - Avaliação. I. Gutierrez, Grace Cristina Roel. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 720.47



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ARQUITETURA - EAUFMG
Rua Paraíba, 697 – Funcionários
30130-140 – Belo Horizonte – MG - Brasil

Telefone: (031) 3409-8823

FAX (031) 3409-8822

ATA DA REUNIÃO DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE MONOGRAFIA DO ALUNO GERÔNIMO DANIEL CARDOSO, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO CERTIFICADO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SISTEMAS TECNOLÓGICOS E SUSTENTABILIDADE APLICADOS AO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Às 11:30 horas do dia 28 de janeiro de 2012, reuniu-se na sala 321 da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, a Comissão Examinadora composta pela Professora Grace Cristina Roel Gutierrez, Orientador-Presidente e Professora Iraci Miranda Pereira, designada pela Comissão Coordenadora do Curso de Especialização em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído para avaliação da monografia intitulada "ANÁLISE DE EDIFÍCIO PARA CLASSIFICAÇÃO NO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PELO RTQ-C: ETIQUETA PARCIAL DA ENVOLTÓRIA", de autoria do aluno GERÔNIMO DANIEL CARDOSO, como requisito final para obtenção do Certificado de Especialista em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído. A citada Comissão examinou o trabalho e, por unanimidade, concluiu que a monografia atende às exigências para a obtenção do Certificado de Conclusão do Curso e recomenda que sejam encaminhados 02 (dois) exemplares para a Biblioteca da Escola de Arquitetura.

Belo Horizonte, 28 de janeiro de 2012


Professora Grace Cristina Roel Gutierrez
Orientadora - Presidente


Professora Iraci Miranda Pereira

Dedicatória

A meus pais pelo carinho e dedicação. A minha esposa Juliana pelo incentivo e companheirismo.

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora, Prof^a MSc. Grace Cristina Roel Gutierrez que tornou possível a realização deste trabalho. Aos meus colegas de classe, pela rica troca de experiências. A todos que, de alguma forma, contribuíram para esta empreitada.

“A boa arquitetura já nasce sustentável”
Lourenço Gimenes

RESUMO

Este trabalho analisou a envoltória de um edifício para Vestiários e Refeitórios localizado na cidade de Macaé, RJ. Seu objetivo foi realizar o Diagnóstico de Eficiência Energética de acordo com a metodologia proposta pelo método prescritivo do Requisito Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas – RTQ-C, do Procel Edifica. Para o desenvolvimento do estudo foi realizada a coleta de dados para caracterização da edificação através dos documentos do anteprojeto da edificação. A pesquisa investigou as características dos elementos construtivos, sua localização em relação ao Zoneamento Bioclimático Brasileiro, o desempenho térmico de paredes e coberturas de acordo com a NBR 15220, analisando os pré-requisitos e índice de consumo da envoltória para obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia ENCE para Edificações. Os resultados demonstram que o Índice de Eficiência da envoltória atingiu o nível “A”, entretanto observou-se que a absorvância à radiação solar da cobertura ultrapassou os limites máximos deste pré-requisito, restringindo a classificação parcial da envoltória no Nível “C”. Dessa forma, este estudo propõe melhorias ao projeto da edificação estabelecendo diretrizes construtivas visando à classificação “A” do nível de eficiência energética.

Palavras-chaves: Envoltória; RTQ-C; Eficiência Energética em Edificações; ENCE.

ABSTRACT

The present study analyses the labeling of a building for locker rooms and dining halls located in the city of Macaé, RJ. Its aim is to make an accurate diagnosis of Energy Efficiency according to the methodology proposed by the prescriptive method of the Technical Requirement of Quality of the level of Energy Efficiency of Commercial, Service and Public Building – RTQ-C, by Procel Edifica. The data collection was carried out in order to characterize the construction over the documents of its draft. The research investigated the characteristics of the constructive elements, its location in relation to the Brazilian Bioclimatic Zoning, thermal performance of walls and roofing according to NBR 15220, analyzing the prerequisites and the consumption index of the labeling so as to obtain the National Energy Conservation Label for Constructions. The results indicate that the Efficiency Index of the labeling has reached ratio “A” for the partial label of building envelope. However, it has been observed that the absorption of solar radiation of the roofing has exceeded the utmost limits of this prerequisite, restricting the partial classification of the labeling to level “C”. For this reason, this study proposes improvements to the project of the construction by establishing constructive guidelines in order to get classification “A” rating of energetic efficiency.

Keywords: Labeling; RTQ-C; Energy Efficiency of Buildings; ENCE.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pré-requisitos da envoltória: transmitância térmica, absorvância e zenitais. a) cobertura; b) paredes	22
Figura 2 - Mapa Região Sudeste (Fonte: GoogleMaps)	25
Figura 3 - Zoneamento bioclimático brasileiro (fonte: NBR 15.220-3).....	29
Figura 4 - Zona Bioclimática 5 / Figura 5 - Carta bioclimática com TRY de Macaé RJ	29
Figura 6 – Situação	31
Figura 7 - Perspectiva – Envelope analisado	32
Figura 8 - Planta Pavimento Térreo	33
Figura 9 - Planta Pavimento 01	34
Figura 10 - Corte Transversal.....	35
Figura 11 - Corte Longitudinal	35
Figura 12 - Fachada Sul.....	36
Figura 13 - Fachada Norte	36
Figura 14 - Fachada Oeste / Figura 15 - Fachada Leste.....	36
Figura 16 - Planta Pavimento Térreo: identificação dos tipos de alvenarias	38
Figura 17 - Planta Pavimento 01: identificação dos tipos de alvenarias.....	38
Figura 18 - Identificação de materiais da Cobertura.....	39
Figura 19 - Camada 01 - interna	40
Figura 20 - Camada 01 - externa	40
Figura 21 - Camada 02 - interna	41
Figura 22 - Camada 02 - externa	41
Figura 23 - Camada 03 - interna	42
Figura 24 - Camada 03 - externa	42
Figura 25 - Orientação de fachadas – Sobreposição da edificação	47
Figura 26 - Corte Transversal: Ângulo Vertical de Sombreamento	48
Figura 27 - Planta: Ângulo Horizontal de Sombreamento	48

Figura 28 - Indicação do nível de eficiência para classificação final, com o ICmáxD e o ICmin.....50

Figura 29 - Ilustração do cálculo de IC.....51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros para IC _{máxD}	23
Tabela 2 - Parâmetros para IC _{mín}	23
Tabela 3 - Limites dos intervalos dos níveis de eficiência	24
Tabela 4 - Aberturas para Ventilação e Sombreamento	30
Tabela 5 - Tipos de Vedações externas	30
Tabela 6 - Estratégias de condicionamento térmico passivo	30
Tabela 7 - Parâmetros para cálculo do IC _{env} , IC _{máxD} e IC _{min} .	51
Tabela 8 - Resumo da classificação por requisito	51
Tabela 9 - Estimativa de Custos	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Aspectos climáticos da Estação de Macaé RJ – Período: 1951 – 1900	26
Quadro 2 - Dados referentes ao vento, na região de Macaé.	28
Quadro 3 - Transmitância das paredes	43
Quadro 4 - Transmitância das coberturas	44
Quadro 5 - Absortâncias das coberturas	45
Quadro 6 - Ponderação dos ângulos Verticais de sombreamento	48
Quadro 7 - Memória de cálculo – Dados da edificação	49
Quadro 8 - Dados do RTQ-C para cálculo do IC _{máxD} e o IC _{min} , e definição de “i”	50
Quadro 9 - Limites encontrados dos intervalos dos níveis de eficiência	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Média das Temperaturas mínimas (°C)	26
Gráfico 2 - Média das Temperaturas máximas (°C)	27
Gráfico 3 - Média total de precipitação pluviométrica no Município de Macaé (1935-1996)	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- Ab_t** - Área de aberturas: total
- A_{cob}** - Área de cobertura
- A_{env}** - Área da envoltória
- AHS** - Ângulo horizontal de sombreamento
- A_{pe}** - Área de Projeção do Edifício
- A_{tot}** - Área total
- AVS** - Ângulo vertical de sombreamento
- C_t** - Capacidade Térmica de Componentes (J/(kg.K))
- Eq Num** - Equivalente numérico do nível de eficiência energética
- FA** - Fator Altura
- FF** - Fator Forma
- FS** - Fator solar
- IC_{env}** - Índice de consumo da envoltória
- INMETRO** - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
- LABEEE** - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
- LMPT** - Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas
- PAF** - Percentual de Abertura de Fachada
- PAF_t** - Percentual de Aberturas nas Fachadas – total
- PAF_o** - Percentual de Aberturas na Fachada Oeste
- PAZ** - Percentual de Abertura Zenital
- PBE** - Programa Brasileiro de Etiquetagem
- PMOC** - Plano de Manutenção, Operação e Controle
- R** - Resistência Térmica ((m².K)/W)
- R_t** - Resistência Térmica Total ((m².K)/W)
- RAC-C** - Requisitos de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, aprovado pela Portaria Inmetro n° 395, de 11 de outubro de 2010
- RTQ-C** - Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, aprovado pela Portaria Inmetro n° 372, de 17 de setembro de 2010
- U** - Transmitância Térmica (W/(m².K))
- V_{tot}** - Volume Total
- α** – Absortância à radiação solar (adimensional)
- λ** - Condutividade Térmica (W/(m.K))

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS	19
2.1 Objetivos Gerais	19
2.2 Objetivos Específicos	19
3. CERTIFICAÇÕES E ETIQUETAGEM DE EDIFÍCIOS	19
3.1 Nível de Eficiência da Envoltória	21
3.2 Análise da edificação através do método prescritivo para o sistema parcial da envoltória.	21
3.3 Análise dos pré-requisitos da envoltória	22
3.4 Determinação do Indicador de Consumo da envoltória	22
3.5 Determinação do Indicador de Consumo mínimo (ICmin) e Indicador de Consumo máximo (ICmax) da envoltória	23
3.6 Classificação final da envoltória	24
4. ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DE EDIFICAÇÃO EM MACAÉ, RJ	24
4.1 Descrição da área de estudo	24
4.1.1 Aspectos climáticos de Macaé/RJ – Período: 1961-1990	25
4.1.2 Zoneamento Bioclimático de Macaé, RJ	28
5. CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO EM ESTUDO	31
6. ANÁLISES PARA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA DA ENVOLTÓRIA E RESULTADOS OBTIDOS	37
6.1 Atendimento aos pré-requisitos específicos da envoltória	37
6.1.1 Transmitância térmica e capacidade térmica	37
6.1.2 Absortância à radiação solar	44
6.1.3 Iluminação Zenital	45
6.2 Cálculo do Índice de Consumo da Envoltória	45
6.2.1 Percentual de Abertura na fachada total (PAFt)	46
6.2.2 Determinação dos ângulos de sombreamento AVS e AHS	47

6.2.3	Fator Solar (FS)	49
6.2.4	Cálculo do Índice de Consumo da envoltória.....	49
6.2.5	Cálculo do ICmax e IC min	49
6.3	Classificação Final da Envoltória	51
6.4	Atendimento aos pré-requisitos específicos da envoltória	51
7.	RECOMENDAÇÕES PARA OTIMIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA ENVOLTÓRIA	52
8.	CONCLUSÕES	53
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
10.	ANEXOS	57

1. INTRODUÇÃO

As questões de conforto do ser humano e seu espaço de permanência ou abrigo estão intimamente relacionados às condições climáticas. Desde as antigas civilizações que nossos ancestrais vêm aprendendo a lidar com a diversidade imposta pela natureza, adaptando suas residências e abrigos através do conhecimento transmitido de geração a geração como, por exemplo, o desenho das cidades romanas de acordo com a orientação solar, ou nas casas caiadas no Sul de Portugal ou os pátios interiores de origem árabe, definindo um tipo de arquitetura que emprega materiais e recursos disponíveis no ambiente em que a edificação é construída assumindo, desta forma, um caráter local ou regional.

Atualmente a arquitetura sustentável tem como principal característica a utilização racional dos recursos naturais disponíveis e renováveis, em especial os energéticos, para sua conservação futura. Isto implica no emprego de materiais de baixo consumo de energia, isto é, materiais primários ou matérias primas; assim como materiais de uma alta eficiência estrutural.

Essa tipologia arquitetônica está em sintonia com a definição de desenvolvimento sustentável, que é aquele capaz de atender às necessidades das atuais gerações sem comprometer os direitos das futuras gerações, possibilitando a viabilidade de se manter o padrão de conforto desejável por menos consumo de energia possível.

O crescimento populacional dos últimos tempos tornou nossas práticas construtivas insustentáveis: o uso excessivo de recursos naturais, o consumismo exagerado, a degradação ambiental e a grande quantidade de resíduos gerados, contribuíram à conscientização da escassez de recursos energéticos do planeta, “que não suporta nosso estilo de vida”. (REES, 1996)

Segundo dados estatísticos levantados pela Eletrobrás, as novas edificações podem reduzir 50% do consumo de energia elétrica com a adoção de sistemas eficientes de gestão, conservação e geração de energia. É possível trabalhar soluções de projetos que priorizem o aproveitamento da luz e ventilação natural, iluminação artificial eficiente, especificação de materiais adequados ao clima local e que contribuindo para a redução da carga térmica nas edificações, emprego de sistemas alternativos e complementares que utilizem fonte renovável de energia

para alimentar os sistemas prediais e de condicionamento de ar eficientes, e a adoção de energia solar para aquecimento de água e geração de energia elétrica, com a utilização de painéis fotovoltaicos.

As edificações respondem por aproximadamente 46% do total de energia elétrica consumida no país, sendo 23% para os edifícios residenciais e 14% para os comerciais. O foco deste consumo está em proporcionar condicionamento artificial através da climatização, iluminação e ventilação às pessoas.

O homem é a medida fundamental na arquitetura e abrigo que hoje são projetados para satisfazer suas necessidades biológicas (GOULART,1993) e a relação entre Arquitetura Sustentável e os procedimentos de certificação e etiquetagem, ocorre na medida em que o uso racional da energia elétrica em edificações garante a preservação dos recursos energéticos e ambientais e contribui à exploração racional dos recursos naturais (MEIRIÑO, 2004).

Visto que conservar energia elétrica ou combater seu desperdício é a estratégia mais barata e mais limpa que existe, uma vez que não agride o meio ambiente, pelo contrário, minimiza a pressão sobre o aumento da geração de energia. A busca pelo uso eficiente de energia elétrica não significa apenas em redução nas despesas da população em geral, mas também uma redução nos impactos ambientais. Desta forma, a energia conservada na iluminação eficiente ou no motor bem dimensionado, por exemplo, pode ser utilizada para iluminar uma escola ou atender um hospital, sem haver desperdício.¹

As políticas públicas para a eficiência energética visam também incrementar atos de promoção de sustentabilidade para a redução do consumo de energia elétrica em edificações dos setores residencial, comercial e públicos no Brasil.

¹ www.eletrobras.gov.br

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

Aplicar o método prescritivo do RTQ-C para obtenção da Etiqueta Procel Edifica; Sistema de Envoltória, segundo os pré-requisitos do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Público (RTQ-C), visando a classificação A do nível de eficiência energética em uma edificação localizada na cidade de Macaé RJ, e apresentar a análise para possíveis melhorias para o cumprimento da meta.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar os dados climáticos plotados sobre uma Carta Bioclimática;
- Aplicar a metodologia proposta pelo método prescritivo – RTQ-C no diagnóstico;
- Obtenção da etiqueta do sistema de envoltória;
- Apresentar o diagnóstico e indicar melhorias para atender os critérios e pré-requisitos do processo de etiquetagem para o edifício em estudo; visando a obtenção da etiqueta A para o sistema de envoltória.

3. CERTIFICAÇÕES E ETIQUETAGEM DE EDIFÍCIOS

A questão ambiental vem sendo debatida em todo o mundo e tornou-se necessário adequar a arquitetura a esta demanda. Diversos países criaram critérios de avaliação para construções sustentáveis. Embora não haja uma classificação formal nesse sentido, há duas vertentes no processo para avaliação ambiental, uma categoria orientada para o mercado e focada na fácil absorção por projetistas e construtores em prol da qualidade ambiental, execução e gerenciamento operacional. Com uma estrutura mais simples, esses critérios estão vinculados a algum tipo de certificação e desempenho, este é o caso do BREEAM, do HK-BEAM, do LEED e do CSTB ESCALE. A outra categoria possui um esquema de avaliação orientada para pesquisa onde a ênfase é o desenvolvimento de uma metodologia abrangente e com fundamentação científica, que possa orientar o desenvolvimento de novos sistemas, este é o caso do BEPAC e seu sucessor, o GBC. Há também

métodos que trabalham com uma abordagem de gestão dos requisitos em todas as fases do ciclo de vida da edificação, como o HQE (francês) ou AQUA no Brasil.

Além das certificações de sustentabilidade, no Brasil existem as políticas nacionais de eficiência energética: a lei de eficiência energética dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e estabelece níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética. Essa legislação é a base do Programa de Etiquetagem Brasileiro (PBE), que através da concessão da ENCE (etiqueta nacional de conservação de energia), visa certificar os produtos em relação ao consumo de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país, bem como as edificações construídas. Dessa forma, contribui para a redução do consumo de energia através da utilização de produtos mais eficientes. Dentro desse panorama se insere o PROCEL Edifica, e os regulamentos para classificação da eficiência energética de edificações.

O Requisito Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e seus documentos complementares, como o Requisito de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RAC-C), ambos publicados pelo Inmetro, e o Manual para aplicação do RTQ-C, são resultados do Programa Procel Edifica e a Comissão Técnica (Inmetro) que definiu o processo para a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). O RAC-C é o documento que permite ao edifício obter a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) do Inmetro, onde se obtém a autorização para o uso da etiqueta através da etapa de projeto e de inspeção do edifício construído. O Manual contém detalhamento e interpretações do RTQ-C e esclarece algumas questões referentes ao RAC-C com exemplos teóricos e de cálculo.

O RTQ-C pode ser aplicado de duas formas: através do método prescritivo ou de simulação.

O método prescritivo do está estruturado em Etiquetas Parciais, que avaliam a Envoltória, o Sistema de Iluminação e o Sistema de Condicionamento de Ar. As etiquetas parciais podem ser apenas da classificação da Envoltória, ou da Envoltória e Sistema de iluminação, ou da Envoltória e Sistema de Condicionamento de ar; e a

Etiqueta global da edificação; para obter a etiqueta global é necessário que todas as etiquetas parciais tenham ido classificadas; também são contabilizadas bonificações por economia de água, pelo uso de fontes alternativas ou melhorias que beneficiem a eficiência energética.

Nesse estudo foi analisada uma edificação de serviços para obtenção da etiqueta parcial da envoltória.

3.1 Nível de Eficiência da Envoltória

Para determinação do nível de eficiência da envoltória foi aplicada a metodologia proposta pelo **método prescritivo** da Portaria Inmetro nº 372, de 17 de setembro de 2010 – Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). A classificação é feita para cada requisito variando de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). Após essa análise, o edifício obtém a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) do Inmetro.

3.2 Análise da edificação através do método prescritivo para o sistema parcial da envoltória

A análise da edificação se inicia verificando a localização da edificação em relação à Zona Bioclimática. A NBR 15.220-3 estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro, e sua determinação é necessária para definir quais equações serão utilizadas para a análise dos pré-requisitos e para o cálculo da eficiência da envoltória.

O RTQ-C apresenta duas equações por zona bioclimática: uma representando edifícios com área de projeção da edificação (A_{pe}) menor que $500m^2$ e outra para edifícios com área de projeção maior que $500m^2$. As equações para $A_{pe} > 500m^2$ são válidas para um fator de forma (FF) mínimo permitido. As equações para $A_{pe} < 500m^2$ são válidas para um fator de forma máximo permitido. Acima ou abaixo destes, são utilizados os valores limites.

3.3 Análise dos pré-requisitos da envoltória

Os pré-requisitos para a envoltória consideram as variáveis que interferem nos processos térmicos de trocas de calor pelas superfícies da envoltória (paredes e coberturas): a transmitância térmica (U), a absorvância à radiação solar (α), e a existência de aberturas zenitais que tornam os planos horizontais mais vulneráveis à transmissão direta da radiação solar (τ).

Dessa forma, para obter uma boa classificação, os pré-requisitos precisam ser atendidos de acordo com a figura abaixo. O não atendimento a esses parâmetros irá penalizar a classificação da edificação mesmo que o cálculo do Índice de Consumo da Envoltória resulte num resultado satisfatório.

Zona Bioclimática	$U_{m\acute{a}x}$		$\alpha_{m\acute{a}x}$	Iluminação Zenital	Nível
	Cond.	Não Cond.			
1	0,50	1,00	-	até 5%	A
2					
3 a 8					
1	1,00	1,50	-	até 5%	B
2					
3 a 8					
1 a 8	2,00	2,00			C D

a

Zona Bioclimática	$U_{m\acute{a}x}$	$\alpha_{m\acute{a}x}$	Nível
1	1,00	-	A
2			
3 a 6			
7 e 8	2,50*	0,5	A
	3,70		
1 e 2	2,00	-	B
3 a 6	3,70		
7 e 8	2,50*		
	3,70	-	C D
1 a 6	3,70		
7 e 8	2,50*		
	3,70		

b

* (CT \leq 80kJ/m²K)

Figura 1 - Pré-requisitos da envoltória: transmitância térmica, absorvância e zenitais. a) cobertura; b) paredes

3.4 Determinação do Indicador de Consumo da envoltória

Determinada a Zona Bioclimática e a área de projeção da edificação, se A_{pe} > ou < que 500m² para seleção da equação e verificado o fator de forma (FF), inicia-se o cálculo do indicador de consumo da envoltória (IC_{env}).

As variáveis que influenciam o índice de consumo da envoltória são: área de projeção da edificação (A_{pe}), área de projeção da cobertura (A_{cob}), volume da edificação (V_{tot}), fator de forma (FF), fator de altura (FA), percentual de aberturas na fachada (PAF_t), fator solar dos vidros (FS), e os ângulos de sombreamento (vertical AVS e horizontal AHS).

3.5 Determinação do Indicador de Consumo mínimo (IC_{min}) e Indicador de Consumo máximo (IC_{max}) da envoltória

O indicador de consumo máximo (IC_{máxD}) é calculado utilizando a mesma equação do cálculo do indicador de consumo da envoltória, mas com os parâmetros de entrada fornecidos pela Tabela 01. O IC_{máxD} representa o indicador máximo que a edificação deve atingir para obter a classificação D. Acima deste valor, a edificação passa a ser classificada com o nível E.

Tabela 1 - Parâmetros para IC_{máxD}

PAF _t	FS	AVS	AHS
0,6	0,61	0	0

O limite mínimo (IC_{min}) é calculado com a mesma equação, mas com parâmetros de entrada fornecidos pela Tabela 02. O IC_{min} representa o indicador de consumo mínimo para aquela volumetria.

Tabela 2 - Parâmetros para IC_{min}

PAF _t	FS	AVS	AHS
0,05	0,87	0	0

Os limites IC_{máxD} e IC_{min} representam o intervalo dentro do qual a edificação deve se inserir de acordo com o nível da sua eficiência. O intervalo é calculado e dividido em 4 partes (i), cada uma referente a um nível de classificação numa escala de desempenho que varia de A a E. Os limites dos intervalos dos níveis de eficiência estão representados na Tabela 03.

3.6 Classificação final da envoltória

Tabela 3 - Limites dos intervalos dos níveis de eficiência

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite Mínimo	\square	$IC_{maxD}-3i+0,01$	$IC_{maxD}-2i+0,01$	$IC_{maxD}-i+0,01$	$IC_{maxD}+0,01$
Limite Máximo	$IC_{maxD} - 3i$	$IC_{maxD} - 2i$	$IC_{maxD} - i$	IC_{maxD}	\square

Finalizado o cálculo de índice de consumo e sua classificação, retorna-se aos pré-requisitos analisados para verificar se estes foram atendidos ou não, limitando a classificação final do sistema de envoltória.

4. ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DE EDIFICAÇÃO EM MACAÉ, RJ.

Para esse estudo foi selecionado uma edificação de vestiários e refeitórios de uma empresa na cidade de Macaé, no Rio de Janeiro.

4.1 Descrição da área de estudo

A Região Norte Fluminense se localiza na borda ocidental do Oceano Atlântico, com latitude de $-22^{\circ}22'33''$ e longitude de $-41^{\circ}46'30''$.

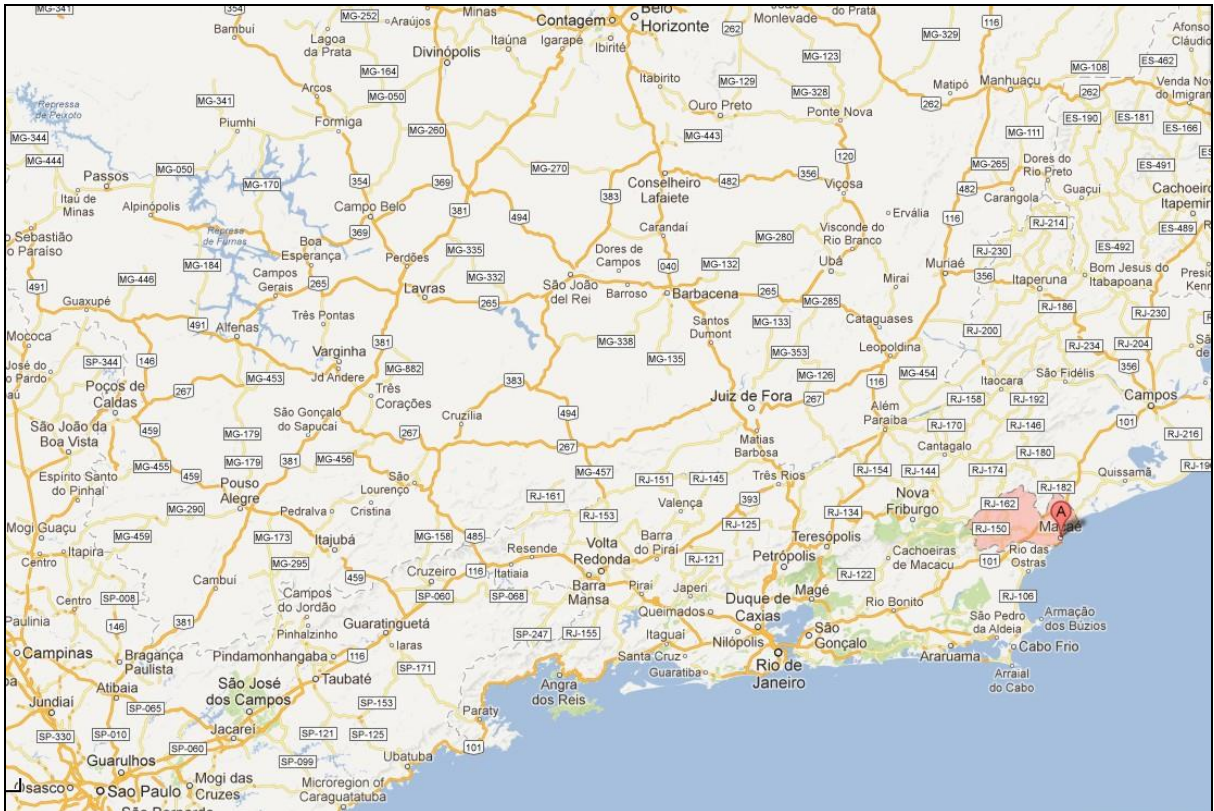


Figura 2 - Mapa Região Sudeste (Fonte: GoogleMaps)

O Município de Macaé possui, basicamente, duas zonas geográficas distintas: uma de baixada, que abrange todo o litoral, estendendo-se pela área de baixada litorânea e pelos vales dos rios entulhados por sedimentos; e outra, que se inicia por uma região mais elevada – as colinas e maciços costeiros, seguindo a oeste até alcançar as elevações pertencentes à Serra do Mar (FEEMA,1989).

4.1.1 Aspectos climáticos de Macaé/RJ – Período: 1961-1990

De acordo com a Classificação climática de Köppen-Geiger, o clima da Região é do tipo Aw, caracterizado como tropical quente e úmido, com uma estação seca entre o outono e o inverno (ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002).

Neste Município, a temperatura média anual fica em torno de 22°C, com a amplitude térmica apoiada nas variações máximas ocorridas em dois pontos extremos do território municipal: na região de baixada litorânea, onde a temperatura atinge 25°C no mês de janeiro (verão), caindo para 19°C nos meses de julho (inverno) e, na Região Serrana, onde o mês de janeiro registra uma média de 20° C, enquanto que no mês de julho a média atinge 13°C (FEEMA,1989).

O Quadro 01 apresenta as médias, as temperaturas máximas e a mínima absolutas, a umidade relativa, a nebulosidade, a precipitação e a evaporação, no período de 1961 à 1990.

Meses	Pressão Atmosférica (mb)	Temperatura do Ar (°C)								Média Compensada	Umidade Relativa (%)	Nebulosidade (0-10)	Precipitação (mm)			Evaporação Total (mm)	Insolação Total (horas e décimos)
		Média das Máximas	Média das Mínimas	Máxima Absoluta		Mínima Absoluta		Altura Total	Nº de Dias De Chuva				Máxima em 24 horas				
				Graus	Data	Graus	Data						Altura	Data			
Janeiro	30,3	21,9	39,6	06/72	16,3	10/65	25,6	81	6	156,9	13	170,6	17/62	108,0			
Fevereiro	30,9	22,6	39,0	16/69	17,4	04/68	26,2	80	6	93,3	9	147,2	20/62	94,9			
Março	30,5	22,1	38,6	06/86	16,9	19/68	25,8	81	6	100,1	10	116,2	24/73	94,1			
Abril	29,1	20,4	38,2	02/89	13,7	27/68	24,3	81	6	100,5	10	191,0	04/87	95,3			
Mai	27,8	18,6	39,0	08/87	11,3	18/68	22,8	80	6	56,9	9	58,2	22/76	92,6			
Junho	26,4	16,9	35,6	13/87	9,5	01/79	21,2	80	5	53,9	8	120,9	16/73	85,5			
Julho	26,1	16,4	35,6	13/87	10,5	07/75	20,7	80	5	60,5	8	124,8	15/84	97,8			
Agosto	26,3	17,1	38,8	15/87	10,0	07/83	21,2	80	5	38,2	6	67,0	01/67	100,4			
Setembro	26,3	18,3	39,5	29/81	10,3	03/65	21,8	82	7	74,0	9	116,3	28/76	93,3			
Outubro	26,8	19,4	38,4	17/83	10,7	01/66	22,7	82	8	102,4	13	62,5	03/85	92,0			
Novembro	28,3	20,6	38,2	23/86	14,3	02/89	24,1	81	8	159,3	13	117,2	16/77	95,8			
Dezembro	29,4	21,5	38,8	05/66	14,7	10/61	25,0	81	7	181,6	14	176,7	01/71	88,1			
ANO	28,2	19,6	39,6	06/01/72	9,5	01/06/79	23,4	81	6	1.177,6	122	191,0	04/04/87	1.137,8			

Quadro 1 - Aspectos climáticos da Estação de Macaé RJ – Período: 1951 – 1900

✓ *Temperaturas Máximas, Mínimas e Absolutas*

Os gráficos 01 e 02 apresentam as médias das temperaturas do Município de Macaé-RJ, segundo o INMET 6º Distrito. Nas figuras, podem-se observar os dados relativos a temperatura no período de 1979 a 1996, sendo que os valores são médias mensais. No Gráfico 01 nota-se a curva mais baixa nos meses de março a outubro, destacando-se os meses de junho e julho.

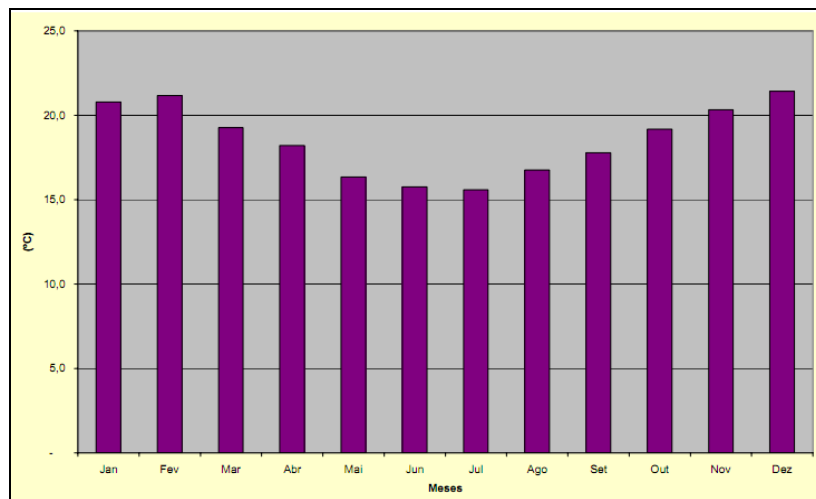


Gráfico 1 - Média das Temperaturas mínimas (°C)

No Gráfico 02 nota-se a curva mais baixa no período de março a outubro, destacando-se os meses de maio a julho.

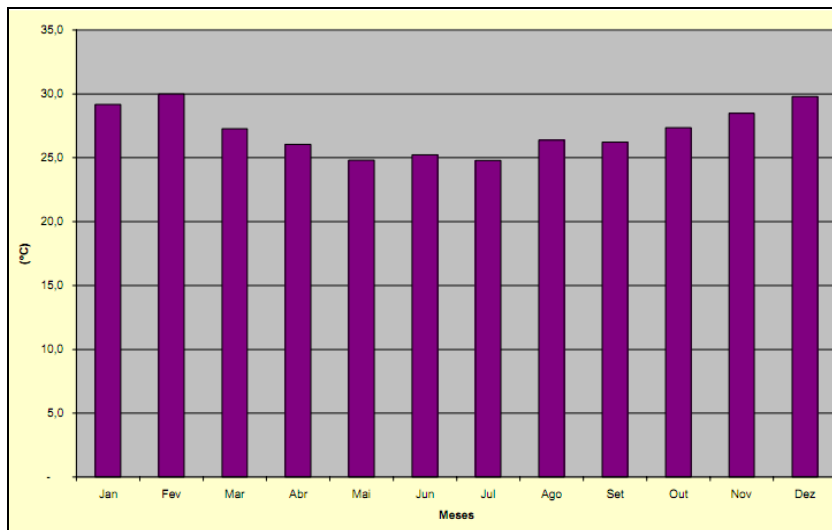


Gráfico 2 - Média das Temperaturas máximas (°C)

✓ Precipitação

Em Macaé, a precipitação alcança a média anual de 1.300mm, concentrando-se nos meses de primavera e verão. A estiagem ocorre nos meses de inverno, sem a definição de uma estação acentuada. Na região serrana do município, é comum a ocorrência de chuvas orográficas, originadas pelos ventos úmidos, vindos do oceano, que penetram facilmente no município ao serem barrados pelas elevações da Serra do Mar (FEEMA,1989).

O gráfico 03 apresenta o valor da média total de precipitação pluviométrica no Município de Macaé (1935 - 1996).

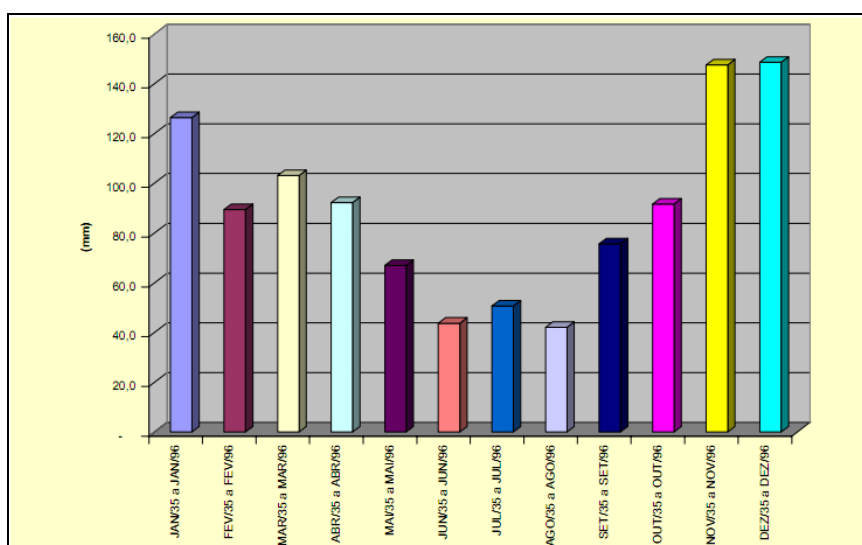


Gráfico 3 - Média total de precipitação pluviométrica no Município de Macaé (1935-1996)

✓ Ventos

A Região apresenta ventos fortes constantes, com velocidade média em torno de 14 cm/s, predominando os ventos de direção NE e SW , sendo os últimos relacionados à entrada de frentes frias (ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002).

Nesta região, os ventos do quadrante NE predominam em virtude da dominância do anticlone do Atlântico, o que possibilita temperaturas mais ou menos elevadas e umidade apenas nas camadas inferiores da massa de ar, predominando tempo estável. Essa estabilidade cessa com a chegada de massas de ar frias, representadas pela invasão do anticlone polar com ventos dos quadrantes S, SE, e SW, que provocam chuvas mais abundantes, principalmente quando penetram no verão (CIC, 1994).

A região é ainda submetida a correntes de W e E. As primeiras constituem-se em linhas de instabilidade provenientes do interior do continente. Trata-se de linhas de baixa pressão, que em seu deslocamento para oeste, provocam chuvas convectivas de forte intensidade e curta duração, principalmente no final da tarde. As correntes E consistem em um tipo de pseudo-frentes, que provocam chuvas mais ou menos abundantes de curta duração por ocasião de sua passagem (CIC, 1994).

A direção, a freqüência e a intensidade dos ventos predominantes na região, obtidas da Estação Meteorológica de Macaé, são mostrados no Quadro 02.

Vento (direção)	Freqüência - %	Velocidade – m/s
N	2	1,5
NE	25	2,2
E	14	2,5
SE	9	1,6
S	3	1,6
SW	14	2,0
W	1	1,4
NW	3	1,5
Calmaria	25	-

Quadro 2 - Dados referentes ao vento, na região de Macaé.

4.1.2 Zoneamento Bioclimático de Macaé, RJ

O RTQ-C apresenta um zoneamento que tem por objetivo determinar as estratégias que um edifício deve seguir para obter o conforto térmico dos seus ocupantes. Trata-se da classificação de regiões homogêneas quanto aos elementos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano, de

acordo com a NBR 15220. A Figura 03 apresenta um mapa com o zoneamento bioclimático brasileiro.

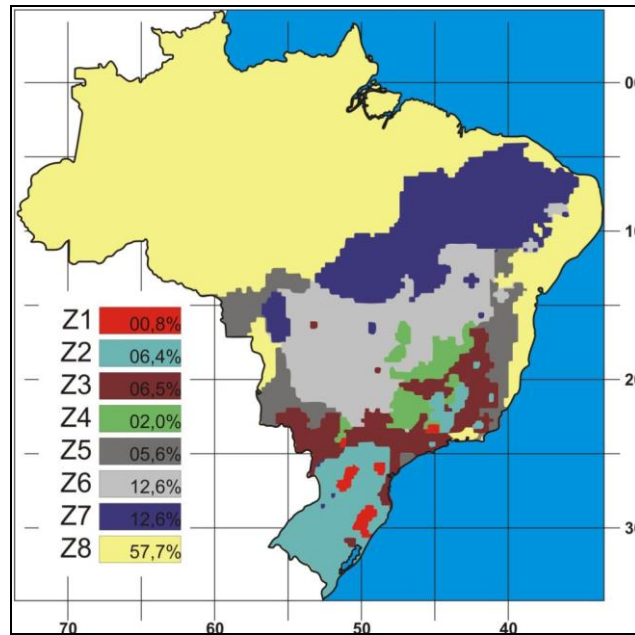


Figura 3 - Zoneamento bioclimático brasileiro (fonte: NBR 15.220-3)

De acordo com a NBR 15220-3, Macaé está situada na zona bioclimática 5, conforme apresentado na figura 04.

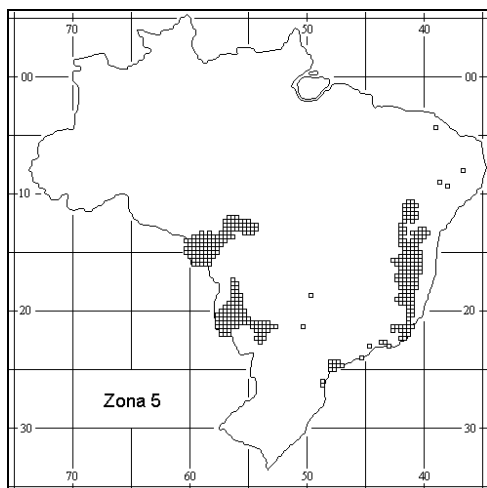


Figura 4 - Zona Bioclimática 5

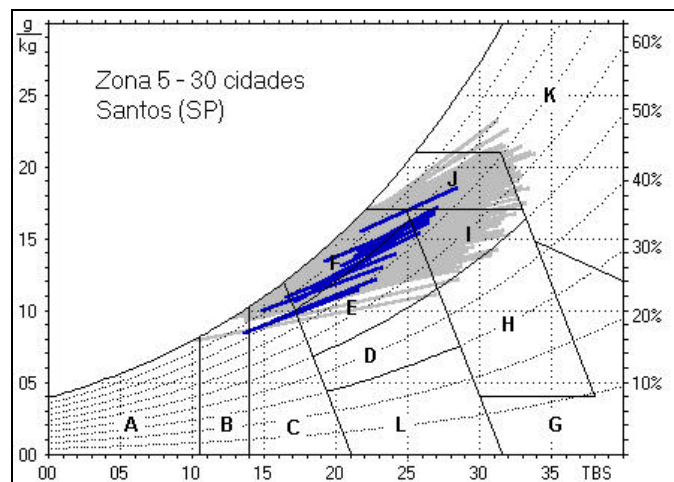


Figura 5 - Carta bioclimática com TRY de Macaé RJ

✓ **Diretrizes Construtivas**

Para a zona bioclimática 5, ou ZB 05, devem ser atendidas as diretrizes construtivas apresentadas nas tabelas 04, 05 e 06.

Tabela 4 - Aberturas para Ventilação e Sombreamento

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Sombrear aberturas

Tabela 5 - Tipos de Vedações externas

Vedações externas
Parede: Leve refletora
Cobertura: Leve isolada

✓ **Estratégias de Condicionamento térmico passivo**

Aqui serão apresentadas as estratégias bioclimáticas destinadas a tirar partido das mesmas, a fim de beneficiar as condições de conforto e, promover a eficiência energética nas edificações.

Tabela 6 - Estratégias de condicionamento térmico passivo

C - A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.
F - As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.
I e J- A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois este pode alterar significativamente a direção dos ventos.

5. CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO EM ESTUDO

Trata-se de uma edificação composta por três blocos, porém este estudo analisará apenas o Bloco A - vestiários e refeitórios.

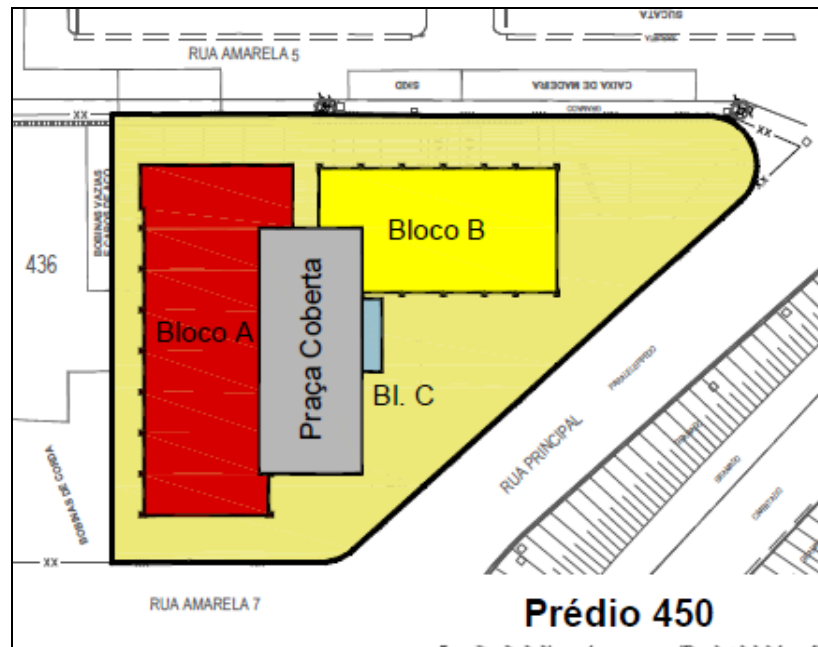


Figura 6 – Situação

✓ ***O bloco A possui 2 pavimentos, dispostos da seguinte forma:***

Pavimento térreo - Compreenderá uma área total de 859,64 m², contemplando 3 Vestiários, sendo 1 Feminino e 2 Masculinos, 2 Vestiários para Portadores de Necessidades Especiais (P.N.E.), sendo 1 Feminino e 1 Masculino, Depósito de Material de Limpeza, Hall, Elevador de Uso Restrito para Portadores de Necessidades Especiais (P.N.E.), Apoios 1 e 2, Depósito de Materiais em Geral, Sala de Administração, Sala Elétrica, Depósito de Lixo e Área de Serviço, Casa de Máquinas para Sistema de Ventilação Mecânica, Sala do Transformador e Área externa descoberta para limpeza dos coletores.

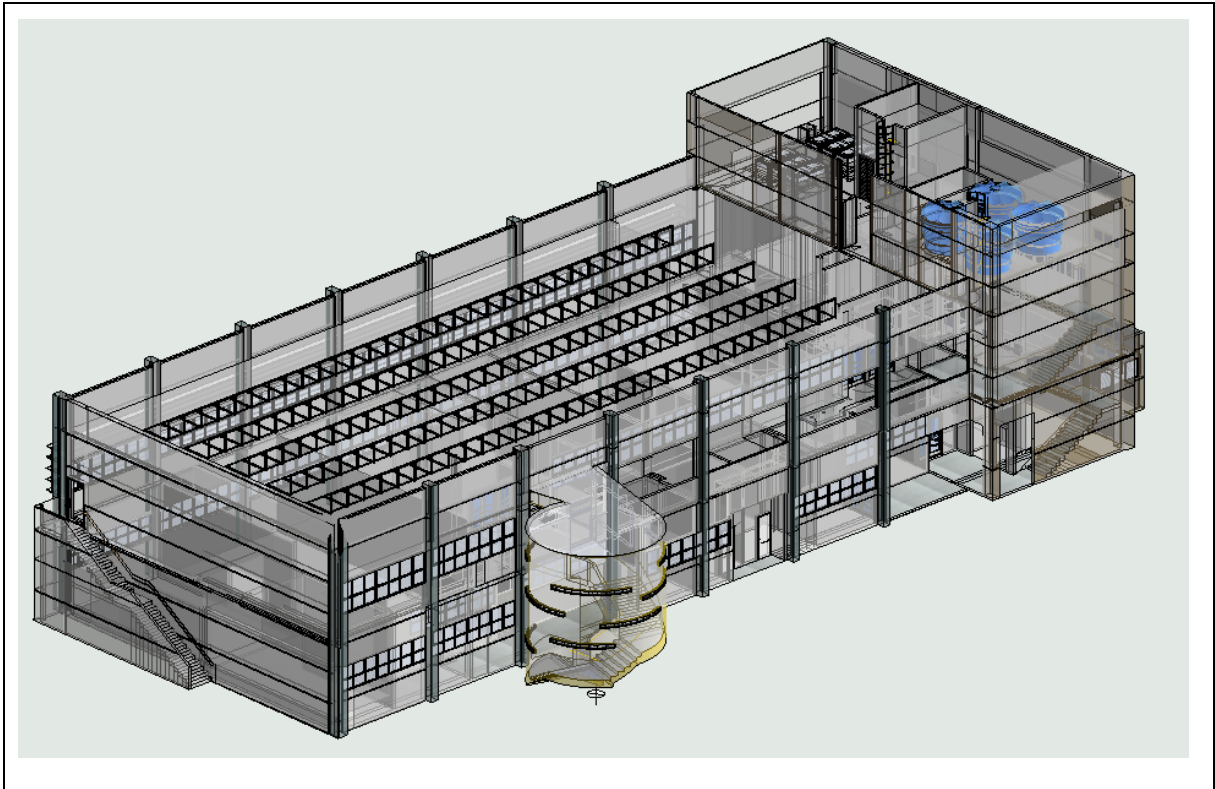


Figura 7 - Perspectiva – Envelope analisado

Pavimento 01 – Destinado ao uso de refeitório e projetado para atender a 304 pessoas simultaneamente, possuirá uma área de 834,29 m², distribuído entre Área para Lavagem de Vasilhas, Varanda, Sanitários Masculino e Feminino, Sanitários para Portadores de Necessidades Especiais (P.N.E.), sendo 1 Feminino e 1 Masculino, Depósito de Material de Limpeza, Sala de Telecomunicações e Sala de Ar-Condicionado.

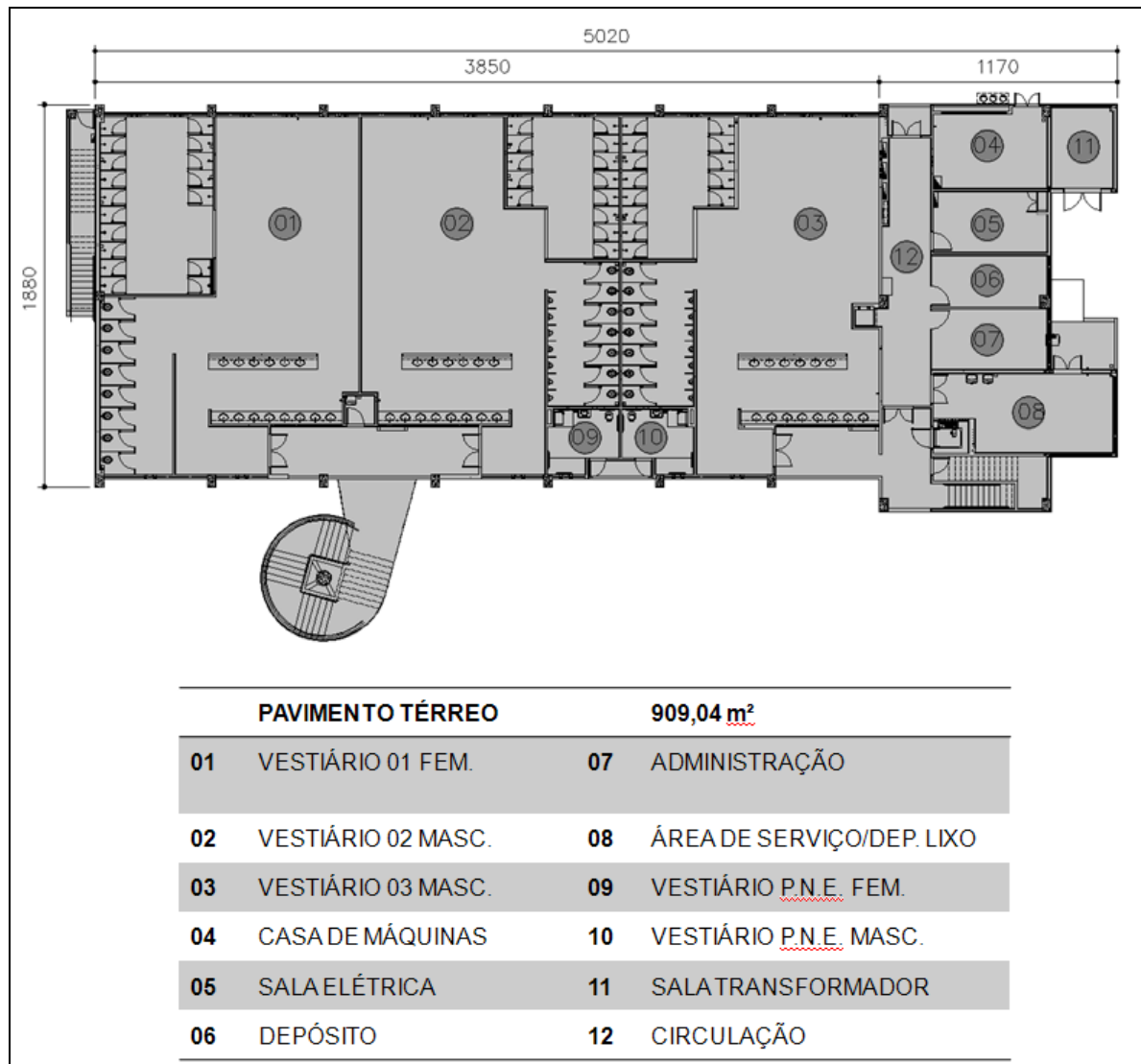


Figura 8 - Planta Pavimento Térreo

Informações para cálculo da área de projeção (A_{pe}), área da envoltória (A_{env}) e volume total da edificação (V_{tot}) foram obtidas nos projetos arquitetônicos aqui apresentados

A edificação será executada em estrutura de concreto pré-moldada. A vedação será em blocos de concreto, nas dimensões de 9x19x39 cm, 14x9x39 cm e 19x19x39 cm, assentados com argamassa (cimento, cal hidratada e areia).

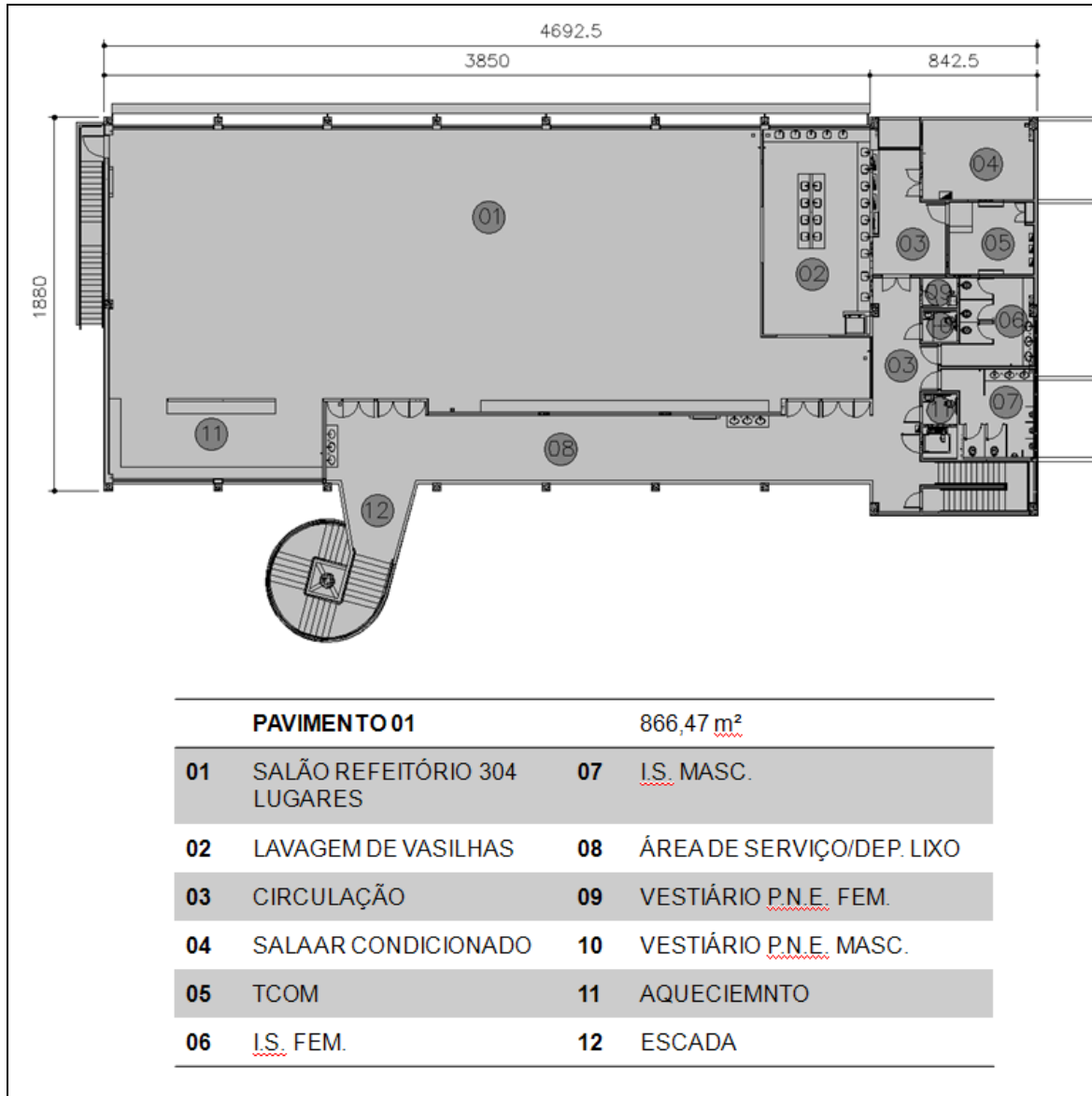


Figura 9 - Planta Pavimento 01

Internamente, as alvenarias serão pintadas com tinta acrílica na cor branca, exceto nas áreas molhadas, cujo revestimento será cerâmico esmaltado na cor branca. As alvenarias externas receberão revestimento mineral tipo “Fulget”, nas cores branca ou terra.

A cobertura será de laje pré-moldada do tipo “T” ou laje pré-moldada alveolar, onde estarão localizados Chiller, Casa de Bombas, Reservatório Superior de Água, Abrigo para Aquecedores a Gás e Área para instalação do Reservatório de Água Quente e Coletores Solares.

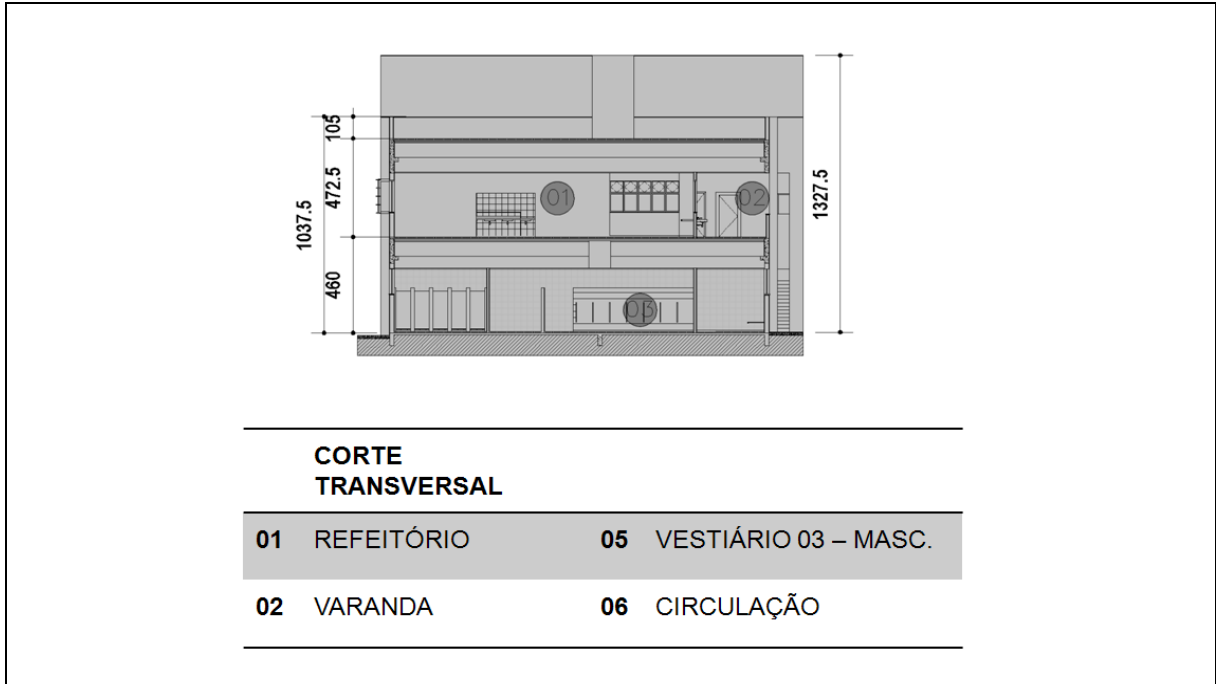


Figura 10 - Corte Transversal

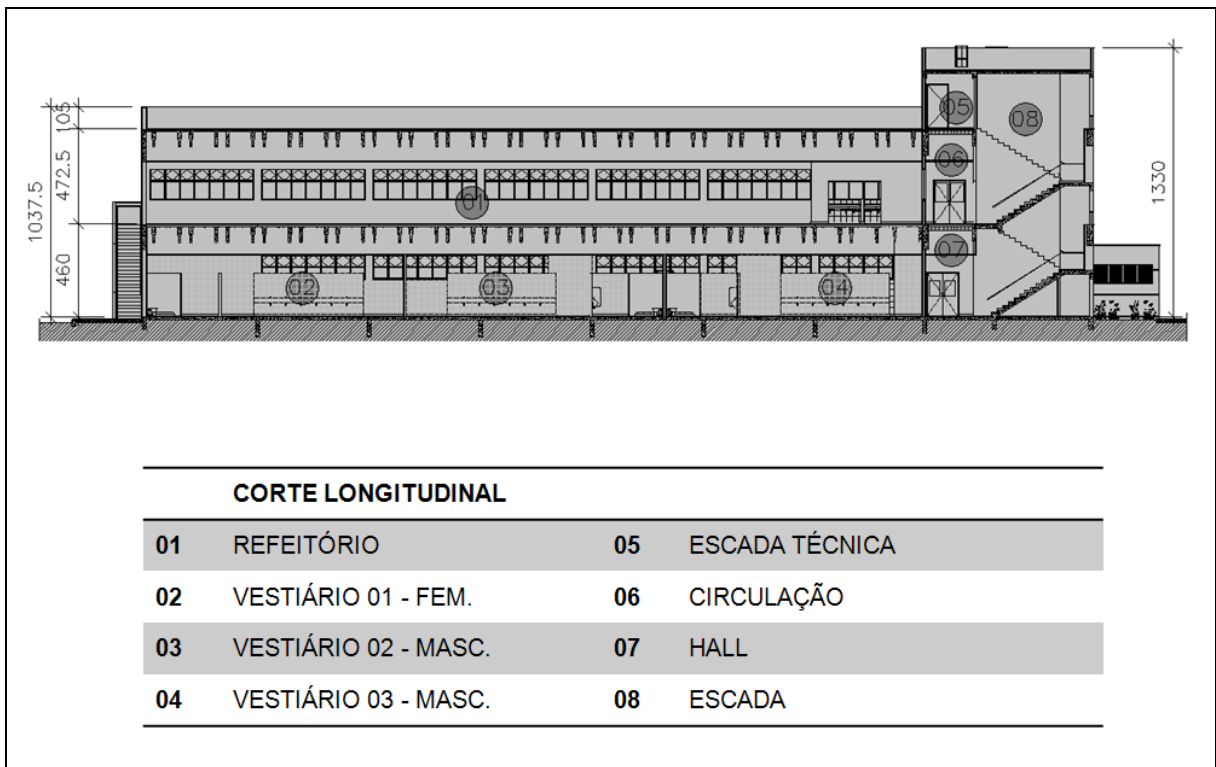


Figura 11 - Corte Longitudinal

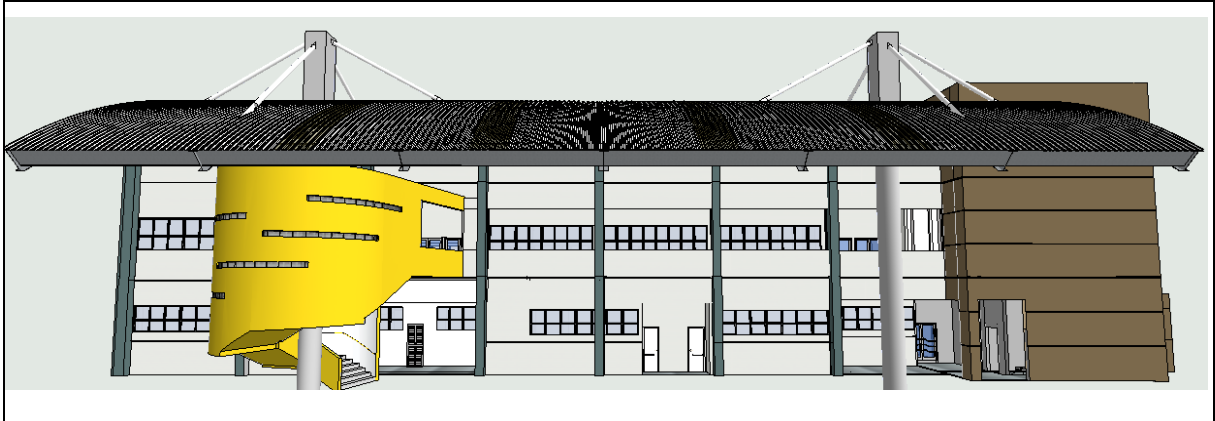


Figura 12 - Fachada Sul

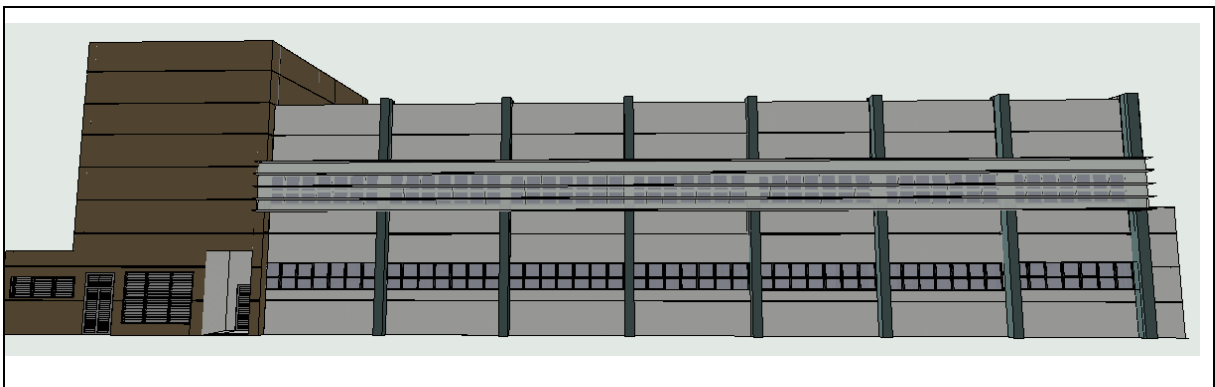


Figura 13 - Fachada Norte



Figura 14 - Fachada Oeste

Figura 15 - Fachada Leste

6. ANÁLISES PARA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA DA ENVOLTÓRIA E RESULTADOS OBTIDOS

A edificação em estudo será implantada no Município de Macaé, RJ, e portanto, localizada na Zona Bioclimática 05. O bloco de edifício dos Vestiários e Refeitórios possuem $A_{pe} > 500m^2$. Dessa forma, foi utilizada a Equação 3.8 do RTQ-C, para determinação do indicador de consumo da envoltória (IC_{env}), com fator de forma mínimo livre.

$$IC_{env} = 511,12.FA + 0,92.FF - 95,71.PAFt - 99,79.FS - 0,52.AVS - 0,29.AHS - 380,83.FA.FF + 4,27/FF + 729,20.PAFt.FS + 77,15$$

6.1 Atendimento aos pré-requisitos específicos da envoltória

6.1.1 Transmitância térmica e capacidade térmica

A partir das especificações dos tipos e espessuras dos materiais que compõem as paredes externas e coberturas do edifício foram calculadas as transmitâncias térmicas e suas respectivas capacidades térmicas, por meio do procedimento de cálculo apresentado na NBR 15.220-2.

De acordo com os materiais especificados em projeto, foram identificadas as características e as camadas que compõem a envoltória analisada (figuras de 16 a 24), conforme apresentado a seguir:

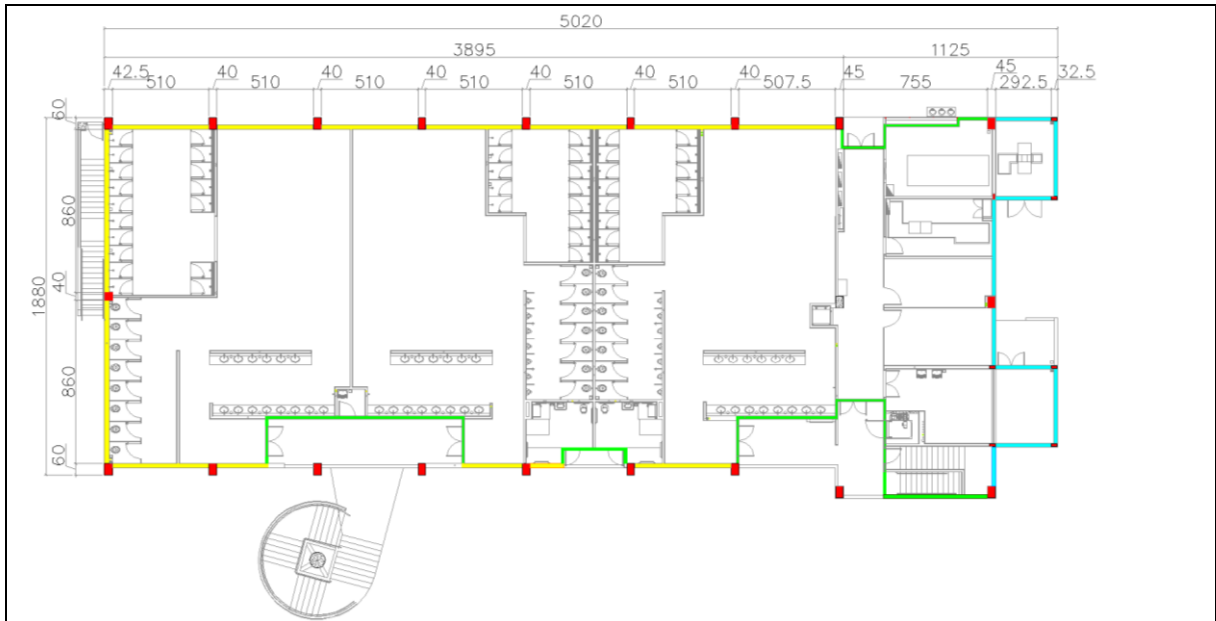


Figura 16 - Planta Pavimento Térreo: identificação dos tipos de alvenarias

LEGENDA

- Alvenaria de vedação em bloco de concreto 9x19x39 cm
- Alvenaria de vedação em bloco de concreto 14x19x39 cm
- Alvenaria de vedação em bloco de concreto 19x19x39 cm
- Pilar de concreto

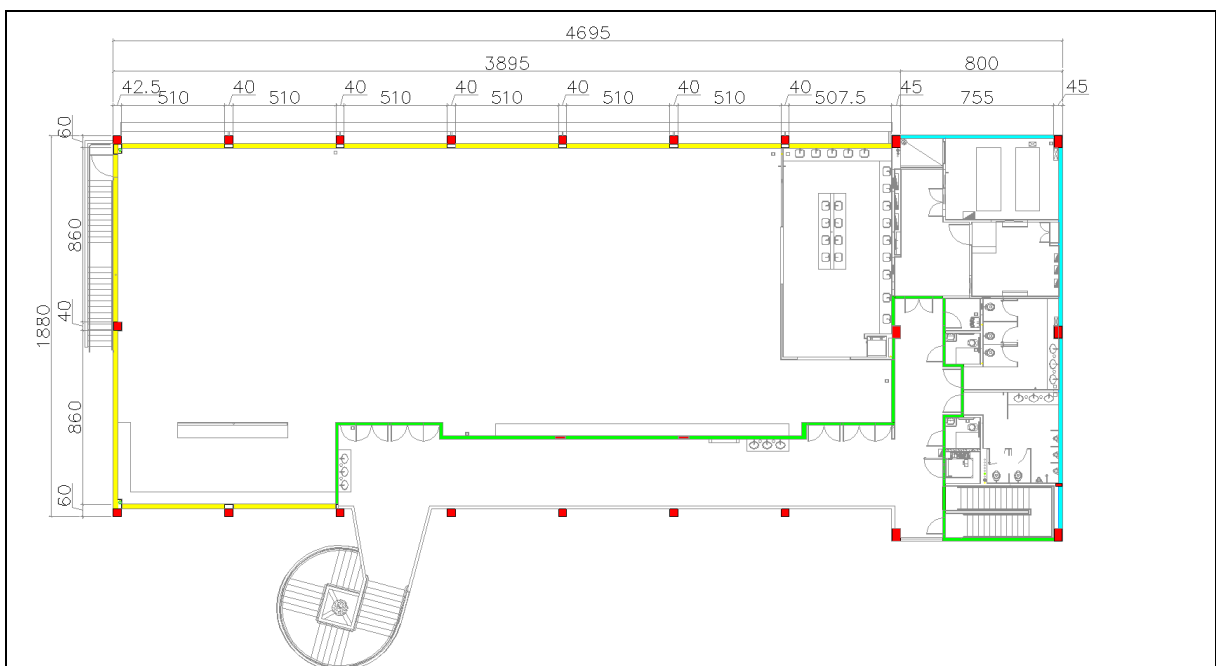
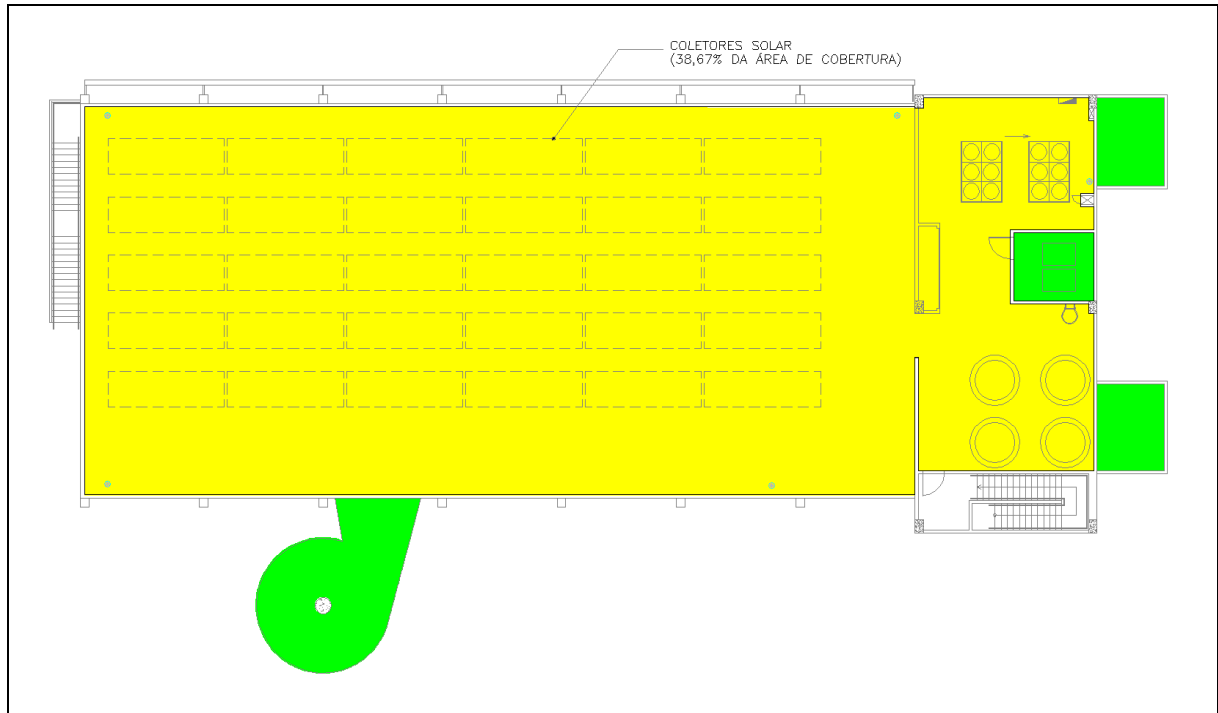


Figura 17 - Planta Pavimento 01: identificação dos tipos de alvenarias

**LEGENDA**

- Laje de concreto com dupla manta asfáltica SBS, tipo 3 ABNT (4mm), camada de transição, proteção térmica com dupla camada de XPS foamular 250 e proteção mecânica armada com tela galvanizada

- Laje de concreto com dupla Manta asfáltica SBS, tipo 3 ABNT (4mm), camada de transição e proteção mecânica armada com tela galvanizada

Figura 18 - Identificação de materiais da Cobertura

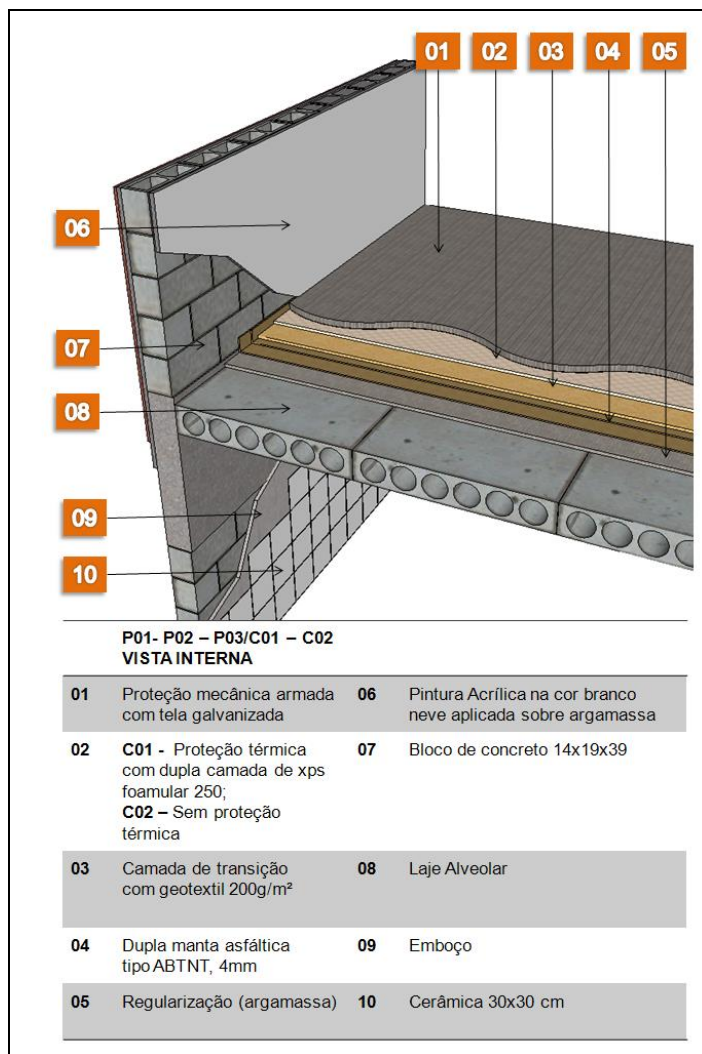


Figura 19 - Camada 01 - interna

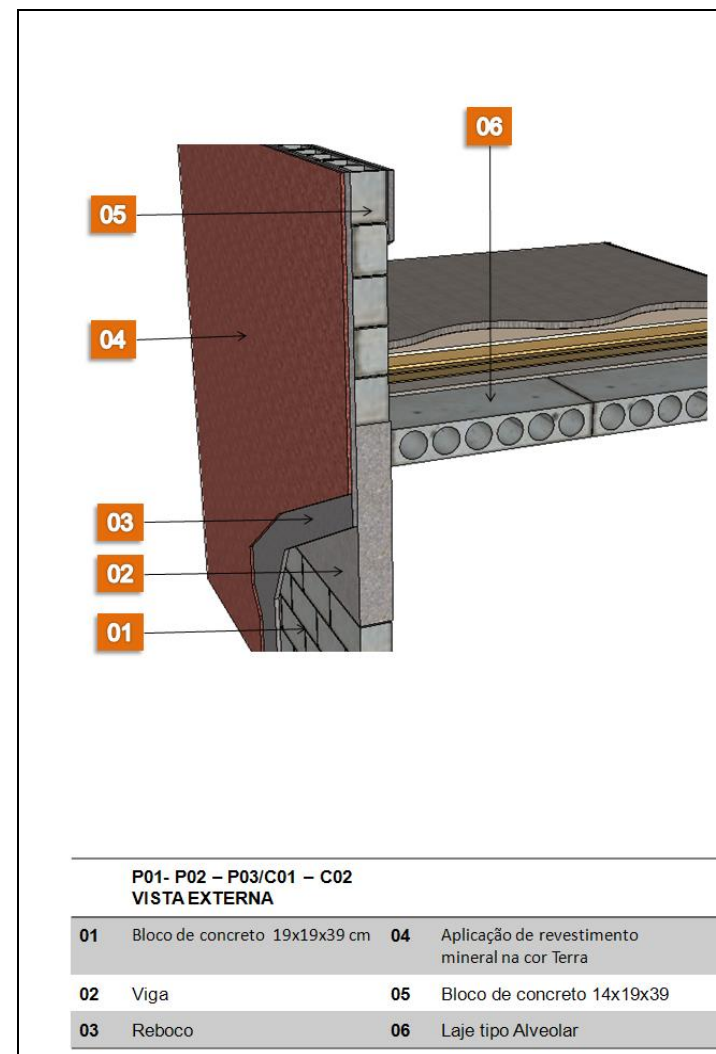


Figura 20 - Camada 01 - externa

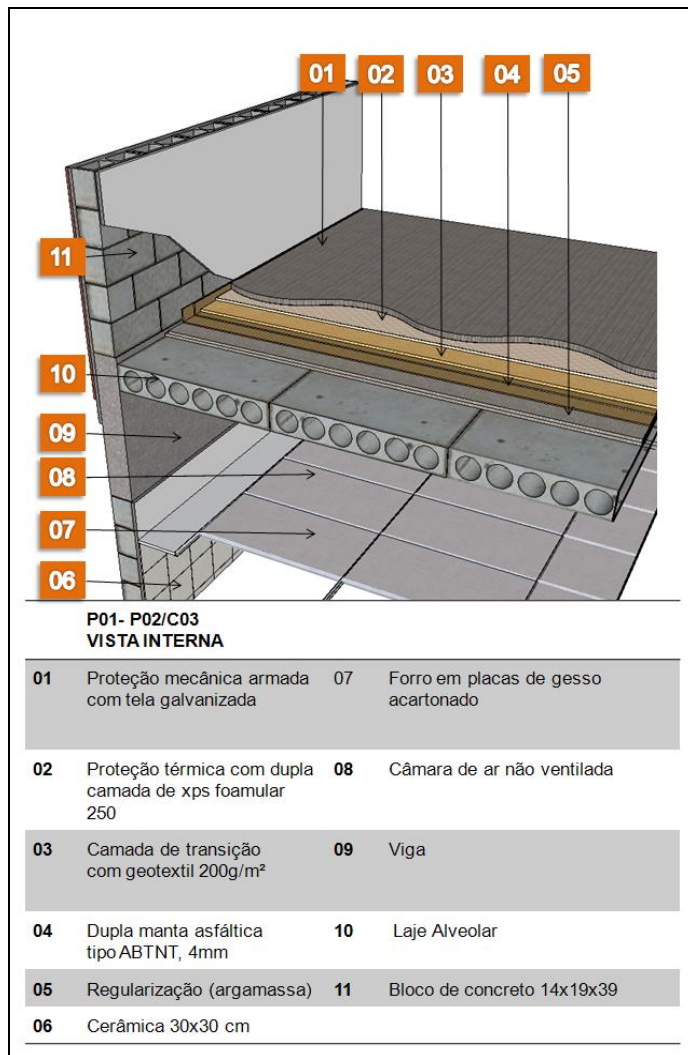


Figura 21 - Camada 02 - interna

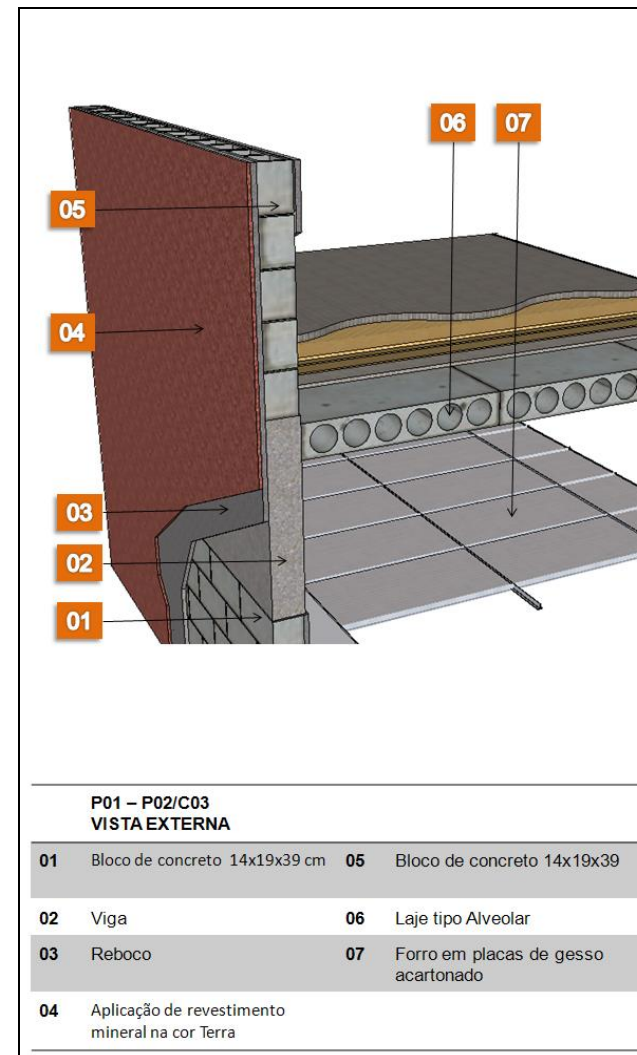


Figura 22 - Camada 02 - externa

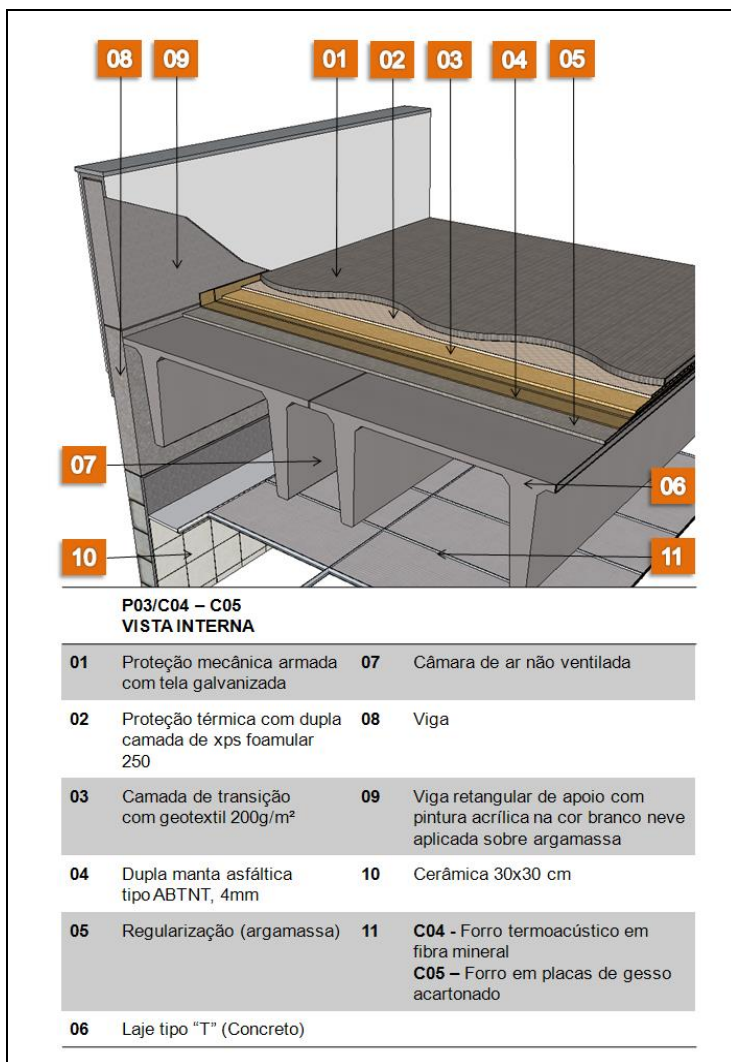


Figura 23 - Camada 03 - interna

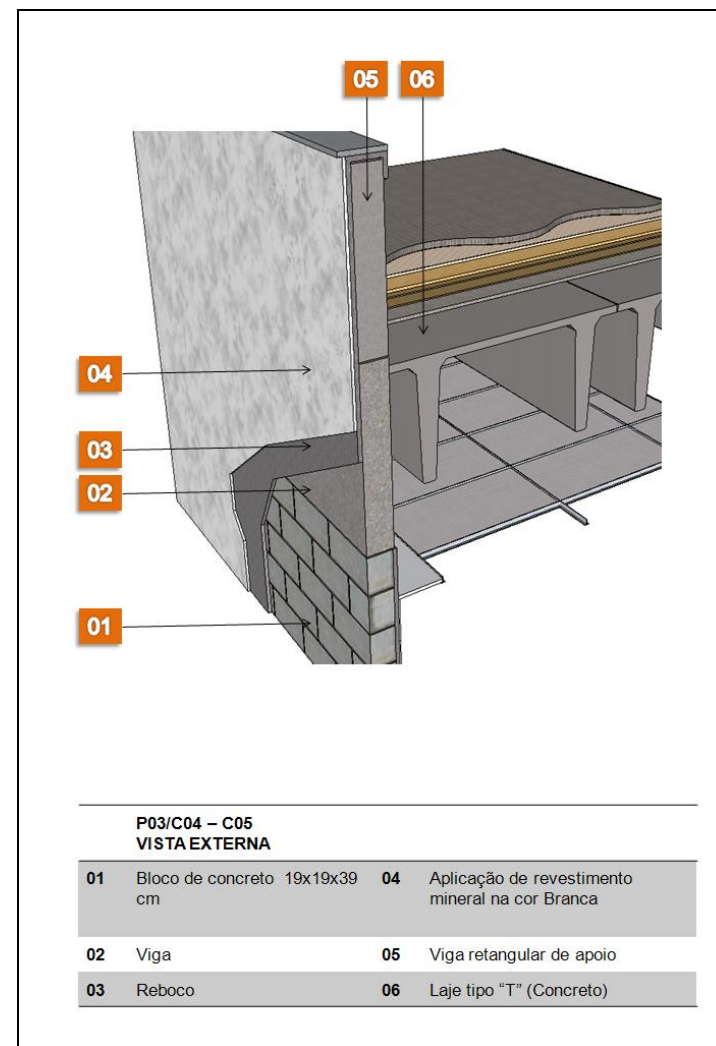


Figura 24 - Camada 03 - externa

✓ **Transmitância das paredes**

São apresentados a seguir o resultado para o cálculo de transmitâncias das paredes, e ponderação pela área das fachadas.

TRANSMITÂNCIA PAREDES		e	λ	R	ÁREA	ÁREAp	U	Up	Nível	Nível	Nível C/D
P01	Cerâmica 30x30	0,004	1,06	0,004	488,83	1534,94	3,14	2,40	3,70	3,70	3,70
	Emboço interno	0,02	1,15	0,017							
	bloco de concreto 19x39 cm	0,09	1,75	0,051							
	Reboco externo	0,02	1,75	0,011							
	Aplicação de revestimento mineral na cor terra	0,01	0,30	0,033							
P02	Cerâmica 30x30	0,004	0,50	0,008	237,78	544,51	2,29				
	Emboço interno	0,02	1,15	0,017							
	bloco de concreto 19x39 cm	0,14	1,75	0,080							
	Reboco externo	0,02	1,75	0,011							
	Aplicação de revestimento mineral na cor terra	0,01	0,30	0,033							
P03	Cerâmica 30x30	0,004	0,50	0,008	438,70	1057,27	2,41				
	Emboço interno	0,02	1,15	0,017							
	bloco de concreto 19x39 cm	0,19	1,75	0,109							
	Reboco externo	0,02	1,75	0,011							
	Aplicação de revestimento mineral na cor Branca	0,01	0,30	0,033							
P04	vidro incolor fosco, com espessura de 4 mm.	0,0008	1,00	0,0008	208,52	208,52	1,00				
P05	Cerâmica 30x30	0,004	1,06	0,004	220,56	613,16	2,78				
	Emboço interno	0,02	1,15	0,017							
	Viga de concreto	0,20	1,75	0,114							
	Reboco externo	0,02	1,75	0,011							
	Aplicação de revestimento mineral na cor Branca	0,01	0,30	0,033							
P06	Reboco	0,02	1,75	0,011	60,11	169,51	2,82				
	Emboço interno	0,02	1,15	0,017							
	Viga de concreto	0,25	1,75	0,143							
	Reboco externo	0,02	1,75	0,011							
	Aplicação de revestimento mineral na cor terra	0,01	0,30	0,033							
P07	Pilar de concreto	0,40	1,75	0,229	124,71	149,65	1,20				
TOTAL					1779,21	4277,56					

Quadro 3 - Transmitância das paredes

De acordo com as características dos materiais especificados, a transmitância térmica encontrada para as paredes foi de $U = 2,40 \text{ W/m}^2\text{K}$, **atendendo ao pré-requisito para nível A.**

✓ **Transmitância das coberturas**

São apresentados a seguir o resultado para o cálculo de transmitâncias das coberturas, e ponderação pelas áreas.

TRANSMITÂNCIA COBERTURAS		e	λ	R	ÁREA	ÁREA _p	U	U _p	Nível A	Nível E	Nível C/D
C01	Proteção mecânica armada com tela galvanizada	0,060	1,15	0,052	53,89	19,31	0,36	0,37	1,00	1,50	2,00
	Proteção térmica com dupla camada de xps foamular 250	0,06	0,035	1,714							
	Camada de transição com geotextil 200g/m ²	0,015	0,024	0,625							
	Dupla manta asfáltica tipo ABTNT, 4mm	0,008	0,23	0,035							
	Regularização (argamassa)	0,04	1,15	0,035							
Laje Alveolar	0,21	1,75	0,120	35,94	33,38	0,93					
Proteção mecânica armada com tela galvanizada	0,060	1,15	0,052								
Camada de transição com geotextil 200g/m ²	0,015	0,024	0,625								
Dupla manta asfáltica tipo ABTNT, 4mm	0,008	0,23	0,035								
Regularização (argamassa)	0,04	1,15	0,035								
Laje Alveolar	0,21	1,75	0,120	67,71	22,68	0,33					
Proteção mecânica armada com tela galvanizada	0,060	1,15	0,052								
Proteção térmica com dupla camada de xps foamular 250	0,06	0,035	1,714								
Camada de transição com geotextil 200g/m ²	0,015	0,024	0,625								
Dupla manta asfáltica tipo ABTNT, 4mm	0,008	0,23	0,035								
Regularização (argamassa)	0,04	1,15	0,035								
Laje Alveolar	0,21	1,75	0,120								
câmara de ar não ventilada			0,160	0,012	0,35	0,034					
Forro em placas de gesso acartonado											
C04	Proteção mecânica armada com tela galvanizada	0,060	1,15	0,052	625,88	214,37	0,34				
	Proteção térmica com dupla camada de xps foamular 250	0,06	0,035	1,714							
	Camada de transição com geotextil 200g/m ²	0,015	0,024	0,625							
	Dupla manta asfáltica tipo ABTNT, 4mm	0,008	0,23	0,035							
	Regularização (argamassa)	0,04	1,15	0,035							
	Laje tipo T (Concreto)	0,05	1,75	0,029							
	câmara de ar não ventilada			0,160							
Forro termoacústico em fibra mineral	0,012	0,2	0,060	97,17	33,58	0,35					
Proteção mecânica armada com tela galvanizada	0,060	1,15	0,052								
Proteção térmica com dupla camada de xps foamular 250	0,06	0,035	1,714								
Camada de transição com geotextil 200g/m ²	0,015	0,024	0,625								
Dupla manta asfáltica tipo ABTNT, 4mm	0,008	0,23	0,035								
Regularização (argamassa)	0,04	1,15	0,035								
Laje tipo T (Concreto)	0,05	1,75	0,029								
câmara de ar não ventilada			0,160								
Forro em placas de gesso acartonado	0,012	0,35	0,034	TOTAL	880,59	323,32					

Quadro 4 - Transmitância das coberturas

A transmitância térmica encontrada para a cobertura foi de $U = 0,37 \text{ W/m}^2\text{K}$ atendendo ao pré-requisito para nível A.

6.1.2 Absortância à radiação solar

O RTQ-C determina a utilização de materiais de revestimento externo de paredes com absortância solar baixa, menor que 50%. O mesmo é válido para coberturas. As absortâncias foram obtidas através de consulta à tabela da NBR 15.220-2.

A análise das cores da cobertura e paredes externas foi feita através da especificação contida na lista de materiais e dos projetos arquitetônicos aqui apresentados.

ABSORTÂNCIA DAS CORES		ÁREA		PONDERAÇÃO DA ÁREA		NÍVEL A/B
PAREDES	revestimento mineral tipo "fulget" - cor terra	577,80	0,74	427,57	0,41	0,50
	revestimento mineral tipo "fulget" - cor branca	888,37	0,20	177,67		
COBERTURA	Concreto Aparente	554,14	0,65	360,19	0,65	

Quadro 5 - Absortâncias das coberturas

As fachadas em revestimento mineral tipo fulget na cor branca possui absortância de 20%, enquanto o revestimento mineral tipo fulget na cor terra, possui absortância igual a 74%. Porém observa-se no quadro 09 de absortância que a ponderação entre as áreas aplicadas entre os dois tipos de revestimentos diminui a porcentagem que realmente influencia no envelope, sendo assim encontrado o valor de 41%, **atendendo ao pré-requisito para nível A.**

De acordo com a característica da cobertura composta por laje de concreto aparente foi encontrado um elevado nível de absorção, que por ponderação, chegou-se a uma absortância de 65%, **não atendendo ao pré-requisito para nível A.**

6.1.3 Iluminação Zenital

A cobertura não possui abertura zenital, portanto esse pré-requisito não se aplica.

6.2 Cálculo do Índice de Consumo da Envoltória

Para efetuar o cálculo do Índice de Consumo da Envoltória é necessário determinar as variáveis que compõem a equação para a zona bioclimática 5:

$$IC_{env} = 511,12.FA + 0,92.FF - 95,71.PAFt - 99,79.FS - 0,52.AVS - 0,29.AHS - 380,83.FA.FF + 4,27/FF + 729,20.PAFt.FS + 77,15$$

Assim, foram calculadas as áreas: total, de projeção da edificação, de cobertura, das fachadas, das aberturas, da cobertura e da envoltória; o volume da edificação.

$A_{tot} = 1693,93 \text{ m}^2$	$A_{ab} = 228,58 \text{ m}^2$
$A_{pe} = 957,16 \text{ m}^2$	$A_{cob} = 957,16 \text{ m}^2$
$A_{pcob} = 957,16 \text{ m}^2$	$A_{env} = 2562,92 \text{ m}^2$
$A_{fach} = 1605,76 \text{ m}^2$	$V_{tot} = 7896,36 \text{ m}^3$

A partir dessas, foram determinados: o fator de altura (FA), o fator de forma (FF), o percentual de aberturas na fachada, os ângulos de sombreamento (AVS e AHS), e consultado o fator solar dos vidros especificados em projeto.

$$FA = 0,57$$

$$FF = 0,32$$

6.2.1 Percentual de Abertura na fachada total (PAFt)

Segundo a definição do RTQ-C, o percentual de aberturas nas fachadas (PAFt) é calculado pela razão entre a soma das áreas de abertura envidraçada, ou com fechamento transparente ou translúcido, de cada fachada e a área total de fachada da edificação (excluindo os materiais opacos dos caixilhos). Caso o PAF parcial da(s) fachada(s) Oeste seja superior ao PAFt (todas as fachadas do edifício incluindo a(s) fachada(s) oeste em 20% ou mais, deve-se adotar o PAFo (Oeste) onde houver PAFt nas equações do item envoltória. Dessa forma, faz-se necessário determinar a orientação das fachadas da edificação em estudo.

✓ **Orientação Solar**

A orientação solar das fachadas dos edifícios foi obtida nos projetos de implantação e situação e foram conferidas por meio do Google Earth. Assim, a orientação das fachadas foi determinada para cada ponto cardinal, segundo um limite de abrangência de 45° no sentido horário e anti-horário, ou seja, para fachadas orientadas em outras direções geográficas foi adotada a orientação mais próxima da seguinte forma:

- de 0 a 45,0° e de 315,1° a 360,0 ° a orientação geográfica é norte;
- de 45,1° a 135,0°, a orientação geográfica é leste;
- de 135,1° a 225,0°, a orientação geográfica é sul; e
- de 225,1° a 315,0°, a orientação geográfica é oeste.

A figura 25 demonstra a sobreposição da edificação do Bloco A sobre a rosa dos ventos para definição da orientação das fachadas. As imagens sobrepostas permitem o posicionamento de cada reta perpendicular à sua fachada, mostrando a que orientação cada fachada está direcionada.

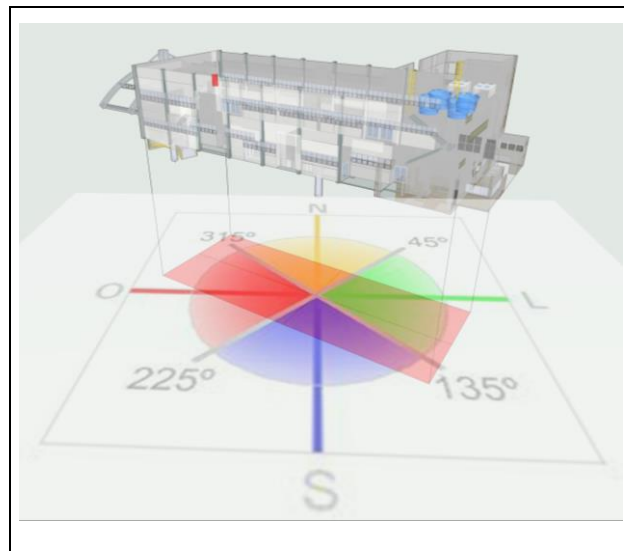


Figura 25 - Orientação de fachadas – Sobreposição da edificação

6.2.2 Determinação dos ângulos de sombreamento AVS e AHS

O RTQ-C apresenta dois conceitos complementares: Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS) e Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS). Estes indicadores de sombreamento na abertura são medidos, o primeiro em corte, e o segundo em planta. Assim, o AVS mede, no plano vertical, o efeito das proteções solares horizontais enquanto o AHS mede no plano horizontal o efeito das proteções solares verticais.

Os ângulos de sombreamento utilizados no cálculo do IC_{env} são o resultado da ponderação do ângulo em função da área das aberturas. O AHS de cada abertura deve ser calculado como a média dos dois ângulos encontrados, um para cada lateral da abertura. Tanto para o AVS, quanto para o AHS, o valor máximo da angulação a ser utilizada no cálculo do IC é de 45°.

Este edifício possui duas angulações diferentes (conforme figura 25) para o AVS, uma de 64,5° na fachada Sul, e outra de 59,38°. De acordo com o RTQ-C, a limitação do ângulo a 45° refere-se ao resultado final do ângulo de sombreamento. Portanto, foi utilizada a média destes ângulos em função da área de abertura do edifício, conforme quadro 06.

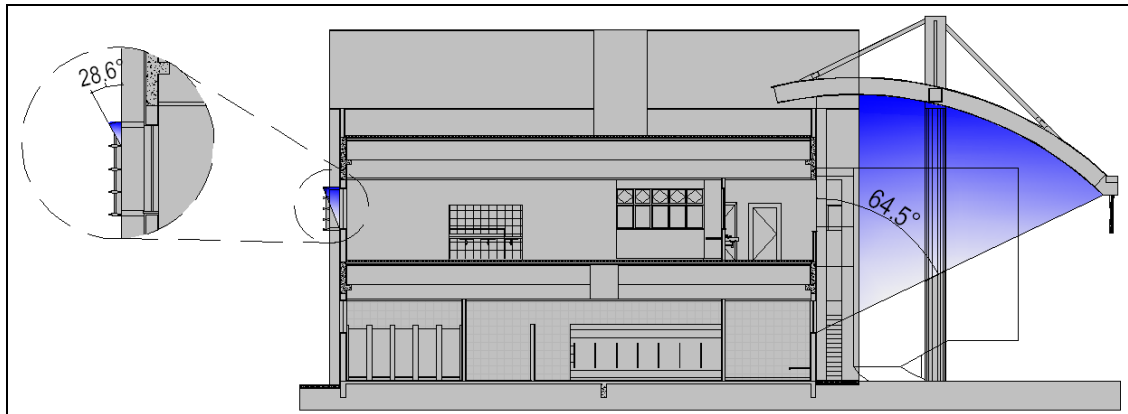


Figura 26 - Corte Transversal: Ângulo Vertical de Sombreamento

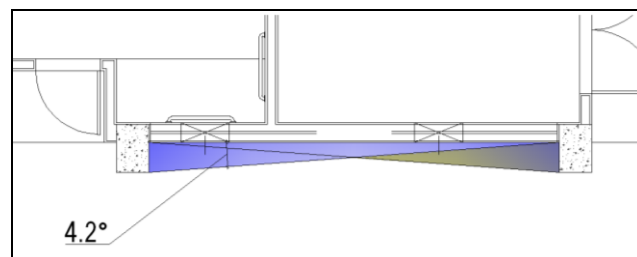


Figura 27 - Planta: Ângulo Horizontal de Sombreamento

AVS	AVS _s	A _{abertura}	50,79
	64,5	97,88	
	6313,26		
	AVS _N	A _{abertura}	
	28,2	59,38	
	1674,516		
	Área Abertura total=	157,26	
	Area Pond.=	7987,776	

Quadro 6 - Ponderação dos ângulos Verticais de sombreamento

O RTQ-C determina o limite de 45° para o valor do ângulo vertical de sombreamento, desta forma o valor utilizado no cálculo de IC será igual a 45°.

O edifício não apresenta proteções verticais, e os ângulos encontrados são homogêneos, desta forma o AHS utilizado no cálculo do IC é igual a 4,2° (fig. 26).

6.2.3 Fator Solar (FS)

A soma das parcelas de transmissão direta pelo vidro mais a parcela da energia absorvida e reirradiada para o interior é denominada Fator Solar (FS).

O FS dos vidros foi determinado a partir da especificação contida no memorial descritivo e de consulta a catálogos técnicos do fabricante. O vidro especificado foi vidro incolor comum de 3mm, com FS = 0,87.

6.2.4 Cálculo do Índice de Consumo da envoltória

O cálculo do IC da envoltória foi realizado com os dados calculados para o edifício, resumidos no quadro 07.

	Memória de Cálculo do I _{cenv}		VOLUME EDIFICAÇÃO			ÁREA FACHADA (m ²)					ÁREA ABERTURAS (m ²)				
	OBS	Área (m ²)	OBS	Altura (m)	Volume (m ³)	OBS	NORTE	SUL	LESTE	OESTE	OBS	NORTE	SUL	LESTE	OESTE
TÉRREO		859,64		4,6	3954,344		537,95	529,71	269,57	268,53		118,76	97,88	11,94	0
PAV 01		834,29		4,73	3.942,02										
	Atot	1693,93	Vtot.		7.896,36	Afac	537,95	529,71	269,57	268,53	Atot. Aberturas	228,58			
	Ape	957,16	OBS	AHSmáx.=45°		Afact	1605,76				PAFt (%)	0,14			
	Acob	957,16		FF min.=Livre		Aenv	2562,92				PAF° (%)	0			
	I _{cenv} =		274,82			FF	0,32	FS=		0,87	AHS	4,2			
						FA	0,57				AVS	45			

Quadro 7 - Memória de cálculo – Dados da edificação

Inserindo os valores na equação de IC para a ZB05, tem-se:

$$I_{cenv} = 511,12 \cdot 0,57 + 0,92 \cdot 0,32 - 95,71 \cdot 0,14 - 99,79 \cdot 0,87 - 0,52 \cdot 45 - 0,29 \cdot 4,20 - 380,83 \cdot 0,57 \cdot 0,32 + 4,27 \cdot 0,32 + 729,20 \cdot 0,14 \cdot 0,87 + 77,15$$

$$I_{cenv} = 274,82$$

6.2.5 Cálculo do IC_{max} e IC_{min}

Para a determinação do nível de eficiência da envoltória do edifício, é necessária a determinação dos valores limites para cada etiqueta. Assim calcula-se o IC_{máxD} e o IC_{min} para a envoltória da edificação em estudo.

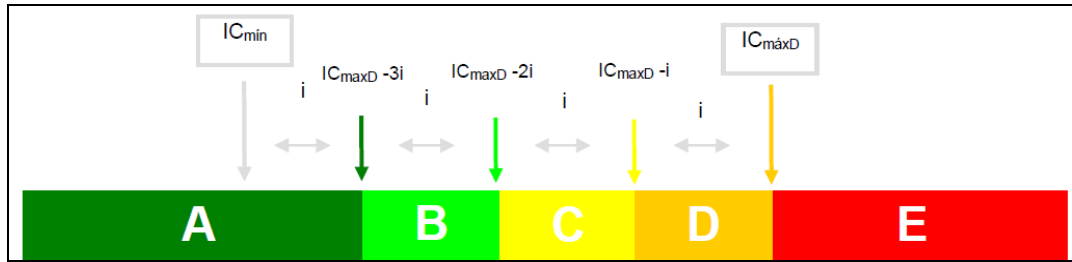


Figura 28 - Indicação do nível de eficiência para classificação final, com o $IC_{\max D}$ e o IC_{\min} .

Cálculo $IC_{\max D}$:

$$IC_{\max D} = 511,12 \cdot 0,57 + 0,92 \cdot 0,32 - 95,71 \cdot 0,6 - 99,79 \cdot 0,61 - 0,52 \cdot 0 - 0,29 \cdot 0 - 380,83 \cdot 0,57 \cdot 0,32 + 4,27 / 0,32 + 729,20 \cdot 0,6 \cdot 0,61 + 77,15$$

$$IC_{\max D} = 458,16$$

Cálculo IC_{\min} :

$$IC_{\min} = 511,12 \cdot 0,57 + 0,92 \cdot 0,32 - 95,71 \cdot 0,05 - 99,79 \cdot 0,87 - 0,52 \cdot 0 - 0,29 \cdot 0 - 380,83 \cdot 0,57 \cdot 0,32 + 4,27 / 0,32 + 729,20 \cdot 0,05 \cdot 0,87 + 77,15$$

$$IC_{\min} = 249,69$$

	MÁXIMO	MÍNIMO
PAFt	0,6	0,05
FS	0,61	0,87
AHS	0	0
AHS	0	0
	458,16	249,69
	i =	52,12

Quadro 8 - Dados do RTQ-C para cálculo do $IC_{\max D}$ e o IC_{\min} , e definição de “i”

	A	B	C	D	E
Lim Min	–	301,82	353,93	406,05	458,17
Lim Max	301,81	353,92	406,04	458,16	–

Quadro 9 - Limites encontrados dos intervalos dos níveis de eficiência

6.3 Classificação Final da Envoltória

Desta forma o nível de eficiência da envoltória do edifício do Bloco dos vestiários e refeitórios foram calculados de acordo com o método prescritivo do RTQ-C, com os dados apresentados na tabela 07.

Tabela 7 - Parâmetros para cálculo do IC_{env} , $IC_{máxD}$ e $IC_{mín}$.

Parâmetro	IC_{env}	$IC_{máxD}$	$IC_{mín}$
$A_{pe}(m^2)$	957,16	957,16	957,16
FA	0,53	0,05	0,05
FF	0,26	0,17	0,17
PAF_t	0,13	0,6	0,05
FS	0,47	0,61	0,87
AVS	45	0	0
AHS	4,2	0	0

O resultado obtido pela envoltória foi representado na figura 28, onde foram inseridos os valores limites obtidos em cada nível e o índice de consumo da envoltória (IC_{env}) atingido.

O indicador de consumo da envoltória (IC_{env}) obtido foi de 274,82 obtendo **nível “A”** na classificação da eficiência.

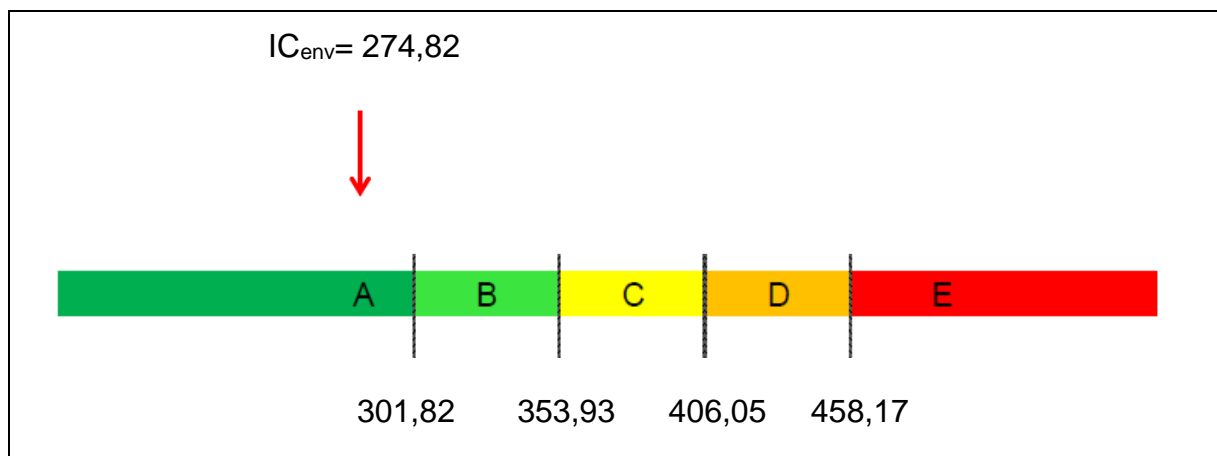


Figura 29 - Ilustração do cálculo de IC

6.4 Atendimento aos pré-requisitos específicos da envoltória

Após o cálculo do nível de eficiência da envoltória foi verificado o atendimento aos pré-requisitos específicos: transmitâncias térmicas, cores e absorvância de superfícies e iluminação zenital.

Tabela 8 - Resumo da classificação por requisito

	COBERTURAS	PAREDES
TRANSMITÂNCIA	A	A
ABSORTÂNCIA	C	A
IC _{env}	A	

Ao analisar a tabela acima com a classificação obtidas para os pré-requisitos e o resultado do cálculo do Índice de Consumo da Envoltória, observa-se o não atendimento do pré-requisito da absorvância da cobertura.

Nível de eficiência da envoltória obtido pelo $IC_{env} = 274,82$ – **Nível “A”**

Nível de eficiência da envoltória limitado pelo pré-requisito – **Nível “C”**

Dessa forma, a edificação analisada obteve como Resultado da Classificação Final o **Nível “C”** para a etiqueta parcial do sistema de Envoltória.

7. RECOMENDAÇÕES PARA OTIMIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA ENVOLTÓRIA

A classificação da envoltória para obtenção da etiqueta parcial resultou em classificação “C” devido ao não atendimento a um dos pré-requisitos: a absorvância da cobertura.

A cobertura do edifício é constituída por concreto aparente, que possui absorvância muito elevada (0,65). Esse resultado teria uma melhora significativa de “C” para “A” facilmente, apenas com uma alteração bastante simples e de baixo custo: se a cobertura em concreto aparente fosse pintada com cor de absorvância menor que 0,5. Assim, sugere-se a aplicação de pintura na cor branca, a fim de melhorar a pontuação final deste requisito.

Conforme a tabela abaixo, a diferença de custo entre as soluções especificadas e as recomendadas demonstra uma economia de aproximadamente 75%, além do ganho em relação ao resultado na classificação da envoltória de “C” para “A”.

Tabela 9 - Estimativa de Custos

Tipo de serviço	Total de área (m ²)	Custo (mão-de-obra e material)
Impermeabilização com aplicação de proteção térmica com dupla camada de xps foamular 250	R\$ 629,65	R\$ 97.630,15
Impermeabilização com pintura em tinta acrílica na cor branca	R\$ 1.259,30	R\$ 21.933,92

Observa-se que os demais pré-requisitos foram atendidos, e as variáveis que determinam o índice de consumo da envoltória obtiveram um bom desempenho na análise realizada através do método prescritivo do RTQ-C.

8. CONCLUSÕES

Este trabalho aplicou o método prescritivo do RTQ-C para obtenção da Etiqueta Parcial do Sistema de Envoltória, segundo os pré-requisitos do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Público (RTQ-C).

Desenvolveu uma análise da edificação avaliando os dados climáticos plotados sobre a Carta Bioclimática para o Município de Macaé, RJ na ZBBR 05, buscando verificar as recomendações bioclimáticas e as decisões projetuais, bem como o impacto das especificações construtivas sobre a eficiência energética da edificação. Analisou os pré-requisitos e as variáveis que influenciam o comportamento termo energético da edificação em relação ao desempenho da envoltória.

Os resultados da análise através do método prescritivo obtiveram o nível “A” nos cálculos do Índice de Consumo da Envoltória. No entanto, o limite de absorvância para a cobertura foi ultrapassado, e dessa forma não atendeu aos pré-requisitos exigidos pelo RTQ-C, sendo classificada como **nível “C”**.

Para a melhoria do desempenho e classificação “A” para a etiqueta parcial do sistema de envoltória, o diagnóstico realizado mostrou os bons resultados obtidos no cálculo do Índice de Consumo da Envoltória e indicou a necessidade de pintura da cobertura em cor de absorvância menor que 0,5. Uma solução simples e de baixo custo, que facilmente elevaria a classificação obtida para nível “A”.

A experiência obtida com a aplicação do RTQ-C evidenciou o potencial de conservação de energia ao se utilizar tecnologias energeticamente eficientes. Com os resultados, pode-se concluir a relevância da aplicação do regulamento desde a fase inicial da concepção do projeto, o que contribui efetivamente para a boa qualidade e a eficiência das edificações.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002 In Ministério do Meio Ambiente 2007. Plano de Manejo da Restinga de Jurubatiba. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/parna_jurubatiba.pdf> Acesso em: 25 mar. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

BRASIL. **Decreto n. 4.059**, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei n. 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/D4059.htm> Acesso em: 06 set. 2011.

BRASIL. **Lei n. 10295**, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10295.htm> Acesso em: 22 set. 2011.

CIC, 1994 In Ministério do Meio Ambiente 2007. Plano de Manejo da Restinga de Jurubatiba. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/parna_jurubatiba.pdf> Acesso em: 02 Abr. 2011.

FEEMA,1989. In Ministério do Meio Ambiente 2007. Plano de Manejo da Restinga de Jurubatiba. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/parna_jurubatiba.pdf> Acesso em: 23 mar. 2011.

GOULART, S. V. G. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico em edificações em Florianópolis**. Universidade Federal de Santa Catarina, 1993. (Dissertação de Mestrado).

GOULART, S.; LAMBERTS, R.,1993. Dados Climáticos para Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações. In: **Anais do II Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, p. 209-215. Florianópolis.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA (INMETRO). **Requisito técnico da qualidade para nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de**

serviços e públicos. Brasília: INMETRO, 2010. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?view={89E211C6-61C2-499A-A791-DACD33A348F3}>> Acesso em: 14 ago. 2011.

MEIO AMBIENTE, [http:// www.eletobras.gov.br](http://www.eletobras.gov.br), acesso em nov/11.

MEIRIÑO, M.J. **Arquitetura e sustentabilidade**, 2004. Disponível em <www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/04.047/595> Acesso em: 21 nov. 2011.

SOUZA et al. **Experiência de aplicação do RTQ-C no LABCON – UFMG.** In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 13º, 2010, Canela. Anais... Canela, ANTAC, 2010.

WACKERNAGEL, M.; REES, W. 1996. Nossa Pegada Ecológica: Reduzir o impacto humano sobre a Terra. Novos Editores Sociedade.

10. ANEXOS

Anexo A – TRANSMITÂNCIA: PAREDE DE BLOCO DE CONCRETO 9X19X39

(Reboco em ambas as faces com revestimento mineral na cor terra):

a) Resistência térmica do tijolo: Bloco 9x19x39:

Seção A (Concreto)

$$A_a = 0,01 \times 0,39 = 0,0039 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{e \text{ conc.}}{\lambda \text{ conc.}} \rightarrow R_a = \frac{0,09}{1,75} \rightarrow R_a = 0,05142 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

Seção B (Concreto + Câmara de ar + Concreto)

$$A_b = 0,165 \times 0,09 = 0,01485 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{e \text{ conc.}}{\lambda \text{ conc.}} + R_{ar} + \frac{e \text{ conc.}}{\lambda \text{ conc.}} \rightarrow R_b = \frac{0,02}{1,75} + 0,16 + \frac{0,02}{1,75} \rightarrow R_b = 0,01829 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

$$R_t = \frac{3x A_a + 2A_b}{\frac{3x A_a}{R_a} + \frac{2x A_b}{R_b}} \rightarrow R_t = \frac{3x0,0039 + 2x0,01485}{\frac{3x0,0039}{0,05142} + \frac{2x0,01485}{0,1829}} \rightarrow R_t = \frac{0,0117 + 0,0297}{0,2275 + 0,1623}$$

$$R_t = \frac{0,0414}{0,3898} \rightarrow R_t = 0,1062 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

b) Resistência térmica da Parede

Seção A (Reboco + Argamassa + Reboco)

$$A_a = 0,01 \times 0,39 + 0,01 \times 0,09 \rightarrow 0,0039 + 0,0009 = 0,0048 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{e \text{ reboco}}{\lambda \text{ reboco}} + \frac{e \text{ argamassa}}{\lambda \text{ argamassa}} + \frac{e \text{ reboco}}{\lambda \text{ reboco}} \rightarrow R_a = \frac{0,02}{1,75} + \frac{0,09}{1,15} + \frac{0,02}{1,75} \rightarrow R_a = \frac{0,13}{1,75} \rightarrow R_a = 0,01011 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

Seção B (Reboco + Bloco + Reboco)

$$A_b = 0,09 \times 0,39 = 0,0351 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{e \text{ reb.}}{\lambda \text{ reb.}} + R_{bl.} + \frac{e \text{ reb.}}{\lambda \text{ reb.}} \rightarrow R_b = \frac{0,02}{1,75} + 0,1062 + \frac{0,02}{1,75} \rightarrow R_b = \frac{0,04 + 0,1062}{1,75} \rightarrow R_b = \frac{0,1462}{1,75} \rightarrow R_b = 0,0835 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

Seção C (Azulejo+Seção A+Tijolo+Fulget)

$$A_c = 0,10 \times 0,40 = 0,04 \text{ m}^2$$

$$R_c = \frac{e \text{ azul.}}{\lambda \text{ azul.}} + R_a + R_b + \frac{e \text{ Fulget}}{\lambda \text{ Fulget}} \rightarrow \frac{0,004}{1,06} + 0,0742 + 0,0835 + \frac{0,01}{2,90} \rightarrow R_c = 0,00377 + 0,01011 + 0,0835 + 0,0034$$

$$R_c = 0,1918 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

$$R_t = \frac{A_a + 3x A_b + 2x A_c}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{3x A_b}{R_b} + \frac{2x A_c}{R_c}} \rightarrow R_t = \frac{0,0048 + 3x0,0351 + 2x0,04}{\frac{0,0048}{0,01011} + \frac{3x0,0351}{0,1282} + \frac{2x0,04}{0,1918}} \rightarrow R_t = \frac{0,0048 + 0,1053 + 0,08}{0,0474 + 0,8213 + 0,4171}$$

$$R_t = \frac{0,1901}{1,2858} \rightarrow R_t = 0,1478 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

Resistência total:

$$R_t = R_{si} + R_t + R_{se} \rightarrow R_t = 0,13 + 0,1478 + 0,04 \rightarrow R_t = 0,3178 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

Transmitância:

$$U = \frac{1}{R_t} \rightarrow U = \frac{1}{0,3178} \rightarrow U = 3,1466 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

$$\text{Fator Solar} = F_{So} = 4xUx\alpha(\text{Cor terra}) \rightarrow F_{So} = 4x3,2509x0,5 \rightarrow F_{So} = 6,50\%$$

Anexo B – TRANSMITÂNCIA: PAREDE DE BLOCO DE CONCRETO 14X19X39

(Reboco em ambas as faces com revestimento mineral na cor terra):

a) Resistência térmica do tijolo: Bloco 14x19x39:

Seção A (Concreto)

$$A_a = 0,01 \times 0,39 = 0,0039 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{e_{conc.}}{\lambda_{conc.}} \rightarrow R_a = \frac{0,14}{1,75} \rightarrow R_a = 0,08 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

Seção B (Concreto + Câmara de ar + Concreto)

$$A_b = 0,165 \times 0,14 = 0,0231 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{e_{conc.}}{\lambda_{conc.}} + R_{ar} + \frac{e_{conc.}}{\lambda_{conc.}} \rightarrow R_b = \frac{0,02}{1,75} + 0,16 + \frac{0,02}{1,75} \rightarrow R_b = 0,01829 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

$$R_t = \frac{\frac{3x A_a}{R_a} + \frac{2x A_b}{R_b}}{\frac{3x 0,0039}{0,08} + \frac{2x 0,0231}{0,1829}} \rightarrow R_t = \frac{0,0117 + 0,0462}{0,1462 + 0,2525}$$

$$R_t = \frac{0,0579}{0,3987} \rightarrow R_t = 0,1452 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

b) Resistência térmica da Parede

Seção A (Reboco + Argamassa + Reboco)

$$A_a = 0,01 \times 0,39 + 0,01 \times 0,14 \rightarrow 0,0039 + 0,0014 = 0,0053 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{e_{reb.}}{\lambda_{reb.}} + \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{reb.}}{\lambda_{reb.}} \rightarrow R_a = \frac{0,02}{1,75} + \frac{0,14}{1,15} + \frac{0,02}{1,75} \rightarrow R_a = \frac{0,18}{1,75} \rightarrow R_a = 0,0102 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

Seção B (Reboco + Bloco + Reboco)

$$A_b = 0,14 \times 0,39 = 0,0546 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{e_{reb.}}{\lambda_{reb.}} + R_{bl.} + \frac{e_{reb.}}{\lambda_{reb.}} \rightarrow R_b = \frac{0,02}{1,75} + 0,1452 + \frac{0,02}{1,75} \rightarrow R_b = \frac{0,04 + 0,1452}{1,75} \rightarrow R_b = \frac{0,1852}{1,75} \rightarrow R_b = 0,1058 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

Seção C (Azulejo + Seção A + Tijolo+Fulget)

$$A_c = 0,15 \times 0,40 = 0,06 \text{ m}^2$$

$$R_c = \frac{e_{\text{azul}}}{\lambda_{\text{azul}}} + R_a + R_b + \frac{e_{\text{Fulget}}}{\lambda_{\text{Fulget}}} \rightarrow R_c = \frac{0,004}{1,06} + 0,102 + 0,1058 + \frac{0,01}{2,90} \rightarrow R_c = 0,00377 + 0,102 + 0,1058 + 0,0034$$

$$R_c = 0,21497 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

$$R_t = \frac{A_a + 3xAb + 2xA_c}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{3xAb}{R_b} + \frac{2xA_c}{R_c}} \rightarrow R_t = \frac{0,0053 + 3x0,0546 + 2x0,06}{\frac{0,0052}{0,102} + \frac{3x0,0546}{0,1058} + \frac{2x0,06}{0,2139}} \rightarrow R_t = \frac{0,0053 + 0,1638 + 0,12}{0,05224 + 1,5482 + 0,5610}$$

$$R_t = \frac{0,2892}{2,1614} \rightarrow R_t = 0,1338 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

Resistência total:

$$R_t = R_{si} + R_t + R_{se} \rightarrow R_t = 0,13 + 0,1338 + 0,04 \rightarrow R_t = 0,3038 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

Transmitância:

$$U = \frac{1}{R_t} \rightarrow U = \frac{1}{0,3028} \rightarrow U = 3,29 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

$$\text{Fator Solar} = F_{So} = 4xUx\alpha(\text{Cor terra}) \rightarrow F_{So} = 4x3,289x0,5 \rightarrow F_{So} = 6,57\%$$

Anexo C – TRANSMITÂNCIA: PAREDE DE BLOCO DE CONCRETO 19X19X39

(Reboco em ambas as faces com revestimento mineral na cor branca):

a) Resistência térmica do tijolo: Bloco 19x19x39:

Seção A (Concreto)

$$A_a = 0,01 \times 0,39 = 0,0039 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{e_{\text{conc.}}}{\lambda_{\text{conc.}}} \rightarrow R_a = \frac{0,19}{1,75} \rightarrow R_a = 0,1085 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

Seção B (Concreto + Câmara de ar + Concreto)

$$A_b = 0,165 \times 0,19 = 0,03135 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{e_{\text{conc.}}}{\lambda_{\text{conc.}}} + R_{ar} + \frac{e_{\text{conc.}}}{\lambda_{\text{conc.}}} \rightarrow R_b = \frac{0,02}{1,75} + 0,16 + \frac{0,02}{1,75} \rightarrow R_b = 0,01829 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

$$R_t = \frac{3xA_a + 2A_b}{\frac{3xA_a}{R_a} + \frac{2xAb}{R_b}} \rightarrow R_t = \frac{3x0,0039 + 2x0,03135}{\frac{3x0,0039}{0,1085} + \frac{2x0,03135}{0,1829}} \rightarrow R_t = \frac{0,0117 + 0,0627}{0,1078 + 0,3428}$$

$$R_t = \frac{0,0744}{0,4506} \rightarrow R_t = 0,1651 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

b) Resistência térmica da Parede

Seção A (Reboco + Argamassa + Reboco)

$$A_a = 0,01 \times 0,39 + 0,01 \times 0,19 \rightarrow 0,0032 + 0,0038 = 0,007 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} \rightarrow R_a = \frac{0,02}{1,75} + \frac{0,19}{1,15} + \frac{0,02}{1,75} \rightarrow R_a = \frac{0,23}{1,75} \rightarrow R_a = 0,1314 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

Seção B (Reboco + Bloco + Reboco)

$$A_b = 0,19 \times 0,39 = 0,0741 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{e_{reb.}}{\lambda_{reb.}} + R_{bl.} + \frac{e_{reb.}}{\lambda_{reb.}} \rightarrow R_b = \frac{0,02}{1,75} + 0,1651 + \frac{0,02}{1,75} \rightarrow R_b = \frac{0,04 + 0,1651}{1,75} \rightarrow R_b = \frac{0,2051}{1,75} \rightarrow R_b = 0,1172 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

Seção C (Azulejo+Seção A+Tijolo+Fulget)

$$A_c = 0,20 \times 0,40 = 0,08 \text{ m}^2$$

$$R_c = \frac{e_{azul.}}{\lambda_{azul.}} + R_a + R_b + \frac{e_{Fulget}}{\lambda_{Fulget}} \rightarrow R_c = \frac{0,004}{1,06} + 0,1314 + 0,01172 + \frac{0,01}{2,90} \rightarrow R_c = 0,00377 + 0,1314 + 0,01172 + 0,00344$$

$$R_c = 0,25581 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

$$R_t = \frac{A_a + 3xAb + 2xAc}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{3xAb}{Ab} + \frac{2xAc}{R_c}} \rightarrow R_t = \frac{0,007 + 3x0,0741 + 2x0,08}{\frac{0,0058}{0,1314} + \frac{3x0,0741}{0,2051} + \frac{2x0,08}{0,25581}} \rightarrow R_t = \frac{0,007 + 0,2223 + 0,16}{0,0441 + 1,0838 + 0,6254}$$

$$R_t = \frac{0,3893}{1,7533} \rightarrow R_t = 0,2220 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

Resistência total:

$$R_t = R_{si} + R_t + R_{se} \rightarrow R_t = 0,13 + 0,2220 + 0,04 \rightarrow R_t = 0,392 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

Transmitância:

$$U = \frac{1}{R_t} \rightarrow U = \frac{1}{0,392} \rightarrow U = 2,55 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/W}$$

$$Fator \text{ Solar} = F_{So} = 4xUx\alpha(\text{Cor terra}) \rightarrow F_{So} = 4x2,55x0,3 \rightarrow F_{So} = 3,06\%$$

Anexo – D - Memorial de Cálculo das Aberturas

Esquadria	Largura	Altura	m ²	Quantidade	Total (m ²)	m ² de material transparente
J1	2,05	0,6	1,23	2	2,46	1,86
J2	1,625	1,2	1,95	1	1,95	1,52
J3	3	0,9	2,7	1	2,7	1,85
J4	MATERIAL OPACO					
J5	2,525	1,2	3,03	1	3,03	2,28
J6	1,95	0,9	1,755	1	1,755	1,38
J7	3,025	1,2	3,63	1	3,63	2,8
J8	MATERIAL OPACO					
J9	3,5	1,2	4,2	1	4,2	3,2
J10	3,75	0,9	3,375	1	3,375	
J11	4,95	1,2	5,94	1	5,94	4,55
J12	5,05	1,2	6,06	5	30,3	23,3
J12A	5,05	1,2	6,06	1	6,06	4,64
J12B	5,05	1,2	6,06	4	24,24	18,56
J13	7,1	0,9	6,39	1	6,39	4,71
J14	2,075	1,5	3,113	1	3,1125	2,45
J15	3,085	1,5	4,628	1	4,6275	3,11
J16	3,875	1,5	5,813	1	5,8125	4,65
J17	5,05	1,5	7,575	9	68,175	54
J18	5,55	1,5	8,325	3	24,975	18,24
J19	MATERIAL OPACO					
J20	MATERIAL OPACO					
J21	1,85	1,2	2,22	2	4,44	3,32
J22	2,55	1,2	3,06	1	3,06	2,18
J23	4,85	1,2	5,82	3	17,46	13,35
J23A	4,85	1,2	5,82	1	5,82	8,9
J23B	4,85	1,2	5,82	2	11,64	8,9
J23C	4,85	1,2	5,82	1	5,82	4,45
J24	6	1,2	7,2	1	7,2	9,12
J25	3	0,9	2,7	2	5,4	4,38
J26	3,7	1,05	3,885	1	3,885	
J27	2,46	2,213	5,444	1	5,44398	
J28	MATERIAL OPACO					
J29	3,9	0,4	1,56	1	1,56	
P07	MATERIAL OPACO					
TOTAL						207,70