

UNIS – CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS

GEISLA APARECIDA MAIA GOMES

SUBSTITUIÇÃO DE PILARES EM MADEIRA EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR

Varginha
2014

FEPESMIG

N. CLASS.	M. 624
GUTTER	A53415
ANO/EDIÇÃO	2014

2

UNIS – CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS

GEISLA APARECIDA MAIA GOMES

SUBSTITUIÇÃO DE PILARES EM MADEIRA EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR

Trabalho de conclusão de curso apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Graduação do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas.

Orientador: Me. Antônio de Faria

Varginha
2014

FEPESMIG

UNIS – CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS

GEISLA APARECIDA MAIA GOMES

SUBSTITUIÇÃO DE PILARES EM MADEIRA EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR

Trabalho de conclusão de curso apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Graduação do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas.

Prof. Me. Antônio de Faria

Prof. Armando Belato Pereira

Prof. Esp. Leopoldo Freire Bueno

*Dedico este trabalho a Deus e a minha
Família.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que rege meu caminho e me fez a pessoa que sou hoje.

Agradeço aos meus pais, aos meus filhos e a meu marido que sempre me incentivaram aos estudos e a seguir na profissão que escolhi.

Agradeço ao Prof. Mauricio Pinto da Silva pela fundamental ajuda na elaboração deste trabalho.

Agradeço ao meu orientador Prof. Me. Antônio de Faria, pelos conhecimentos que me passou.

RESUMO

A substituição e reforço de estruturas de madeira constitui um motivo de constante preocupação, considerando que a sua deterioração implica, muitas vezes, em comprometimento do patrimônio histórico, além de colocar em risco a segurança do conjunto estrutural e, conseqüentemente, dos usuários. As patologias em madeira estão cada vez mais frequentes devido, em parte, ao envelhecimento das estruturas, sendo a prevenção, recuperação ou substituição, realizada de forma apropriada e a partir de uma avaliação cuidadosa.

Este trabalho apresenta o cálculo estrutural para a reforma de uma casa unifamiliar, visando à substituição dos pilares em madeira, respeitando a arquitetura original e as características das peças já utilizadas, tendo como referência a NBR 7190/1997, que trata de Projetos de Estruturas de Madeira.

Palavras chave: *Substituição, Madeira, Carregamento, Pilar.*

ABSTRACT

The recovery of wooden structures constitute a reason of constant worry, considering that the deterioration implies, oftentimes, in heritage commitment. Beyond to put in risk the structural set security and, consequently, the users security. The Wood pathologies are increasingly frequent due, in parts, to the structures aging, being the prevention, recovery or substitution, performed in an appropriate form and from a careful evaluation.

This task presents the structural calculation for a reform of a detached house, order the recovery or replacement of the wooden pillars, respecting the original architecture and the parts feature already used, taking as reference the NBR 7190/1997, which is about 'Wooden Structures Projects'.

Key words: *Substitution, Wood, Load, Pillar.*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVO GERAL	12
3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
4. JUSTIFICATIVA	13
5. METODOLOGIA	
5.1. Capítulo 1 - Levantamento das Patologias.....	14
5.2. Capítulo 2 - Determinação das ações.....	24
5.3. Capítulo 3 - Considerações Finais	48
6. CONCLUSÃO.....	49
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Apodrecimento pela má conservação da estrutura do telhado	15
Figura 2 – Degradação da madeira por agentes biológicos	16
Figura 3 – Fendas na parede e no pilar	16
Figura 4 – Esquema de vigas e pilares do primeiro pavimento da edificação	17
Figura 5 – Parte mediana do Pilar 1.....	17
Figura 6 – Base do Pilar 1	17
Figura 7 – Vista lateral da edificação	18
Figura 8 – Fendas na base inferior do Pilar 5.....	18
Figura 9 – Fendas na base superior do Pilar 5.....	18
Figura 10 – Base superior do Pilar 8.....	19
Figura 11 – Vista mediana do Pilar 9.....	20
Figura 12 – Vista da base inferior do Pilar 9.....	20
Figura 13 – Vista do Pilar 10.....	20
Figura 14 – Vista do Pilar 11.....	21
Figura 15 – Vista do Pilar 12	21
Figura 16 – Vista do Pilar 15.....	22
Figura 17 – Seção dos banzos inferiores da estrutura do telhado	23
Figura 18 – Calhas em alumínio	23
Figura 19 – Vista superior do telhado	24
Figura 20 – Locação original dos pilares da residência.....	26
Figura 21 – Nova locação dos pilares da residência.....	26
Figura 22 – Vista transversal do telhado.....	27
Figura 23 – Projeto da armação do telhado para a cobertura	27
Figura 24 – Dimensões horizontais do telhado	28
Figura 25 – Cálculo da área frontal do telhado	28
Figura 26 – Cálculo da área lateral do telhado.....	29
Figura 27 – Isopletras das velocidades básicas V_0 (m/s).....	32
Figura 28 – Fator topográfico S_1 (z)	33
Figura 29 – Geometria do telhado considerada para o cálculo da carga de vento	37

Figura 30 – Geometria do telhado considerada para o cálculo da carga de vento	39
Figura 31 – Áreas de influência do telhado	42
Figura 32 – Pilares a serem locados para o recebimento das tesouras.....	49

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Característica e peso das telhas	25
Tabela 2 – Definição de categorias de terreno	34
Tabela 3 – Classes de edificações	34
Tabela 4 – Parâmetros meteorológicos	35
Tabela 5 – Fator estatístico S3.....	35
Tabela 6 – Coeficientes de pressão e de forma externos, para telhados com uma água, de edificações de planta retangular	38
Tabela 7 – Coeficientes de pressão e de forma externos, para telhados com duas águas, de edificações de planta retangular	40
Tabela 8 - Tabela E.1 - Valores médios de madeiras dicotiledôneas nativas e de florestamento (NBR 7190/1997).....	44
Tabela 9 - Tabela 12 - Valores usuais para carregamentos de longa duração (NBR 7190/1997).....	45
Tabela 10 - Tabela 15: coeficiente de fluência ϕ (NBR 7190/1997).....	45

1. INTRODUÇÃO

A recuperação de edifícios vem se destacando como uma das mais interessantes atividades dentro da construção civil, visando o restauro, a reutilização e substituição de diversos edifícios, que se encontram em condições precárias de conservação e segurança. A madeira, quando não recebe os devidos cuidados de manutenção ou são usadas em tempo superior ao previsto, necessitando de reabilitação. Há uma diferença entre restaurar e reforçar, sendo que a restauração abrange diversas operações na estrutura, com a finalidade de recompor a eficiência original, evitando que ocorra dano. Segundo BRANDI (2004), entende-se por restauração qualquer intervenção que vise recuperar a eficiência de um produto da atividade humana. Para BRASIL (2008), o reforço visa à melhoria do desempenho estrutural, possibilitando que a estrutura assuma novas exigências funcionais, como uma nova carga ou se adapte a condições ambientais causadas pelas modificações na área.

O Capítulo 1 desse trabalho apresenta o levantamento das estruturas analisadas, caracterizando-as e informando suas patologias. O Capítulo 2 contém a estimativa dos esforços causados pelo telhado e a verificação dos pilares, levando em conta as características apresentadas pela residência. O Capítulo 3 faz as considerações gerais acerca do projeto e indica a possível solução para os problemas encontrados durante o estudo, visando conservar a arquitetura original da residência, bem como os materiais utilizados.

2. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem por finalidade apresentar o projeto para a substituição de pilares em madeira de uma residência unifamiliar no município de Campanha/MG.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar as patologias apresentadas, verificando a necessidade de substituição de peças estruturais em madeira;
- Propor um projeto de substituição das peças analisadas.

4. JUSTIFICATIVA

Tendo em vista o enorme potencial brasileiro no que se refere à madeira, sendo desnecessário o gasto com transporte, sua utilização na arquitetura fica favorecida, podendo se levar em conta que:

- De acordo com Athena Sustainable Material Institute e do Candian Wood Coucil, a madeira consome, para sua produção, 2,8 GJ (giga joule) x 10³, enquanto o aço consome 6,7 GJ x 10³ (BLUMENSCHHEIN, 2004);
- Os resíduos urbanos provenientes dos processos construtivos estão na ordem de 40% a 70% do volume total de resíduos sólidos, de acordo com pesquisas realizadas por Hendriks (2000) e Pinto (1999), citado por Blumenschein.

Mesmo com a facilidade de obtenção da madeira, as principais patologias que afetam as estruturas de madeira, sejam as de origem biológica, agentes atmosféricos (sol, chuva, vento), agentes químicos, fogo e a falta de manutenção encontra-se, em edificações antigas, grande dificuldade em reaproveitar de peças estruturais, sendo, na maioria das vezes, necessário optar pela substituição das peças.

Para KROPF (2000), as construções de madeira têm a grande vantagem de que praticamente qualquer elemento pode ser reparado ou substituído, condição impensável para estruturas de concreto. Mesmo como uma simples troca de peça pode constituir uma árdua tarefa, é preferível evitar a reposição através da proteção dos elementos estruturais mais importantes. É a isso que se refere o adequado detalhamento de projeto.

Para constatar o estado de degradação da madeira que compromete a edificação será considerado, como método de observação *in loco*, o levantamento dos aspectos físicos tendo como recursos auxiliares o projeto arquitetônico e fotos da obra.

5. METODOLOGIA

Para o atendimento do objetivo proposto, a pesquisa foi estruturada na revisão bibliográfica sobre o tema em questão, pesquisa em teses e dissertações, livros técnicos e revistas especializadas. O trabalho também conta com um estudo de caso, sendo este, a execução do projeto de substituição dos pilares de uma residência unifamiliar situada na Rua Vital Brasil, nº 99, antiga Rua do

Comércio, Campanha MG, datada de 1925.

O trabalho foi dividido em três etapas sendo considerado, primeiramente, o estudo de sua arquitetura, procurando, dessa forma, definir parâmetros quanto à substituição de elementos estruturais. Para isso foram feitas revisões bibliográficas com o objetivo de definir o tipo de arquitetura e suas características, de modo a preservá-las. Num segundo momento foi feito um estudo *in loco* definindo quais os elementos necessitariam de substituição. Para a caracterização da madeira, foi consultado um carpinteiro da cidade, a fim de identificar o tipo de madeira encontrada na residência e uma possível opção para a substituição, se necessário. Por fim, foi feito o estudo estimado do carregamento do telhado, o pré-dimensionamento dos pilares utilizando o processo das áreas de influência e a verificação dos pilares de acordo com a NBR 7190/1997 levando-se em conta a estrutura já existente.

5.1. CAPÍTULO 1 - IDENTIFICAÇÃO DAS PATOLOGIAS

A residência encontra-se abandonada e, por consequência, muito depredada, justificando a dificuldade em se observar as patologias. Segundo Fontenelle (2000) apud Vivarelli (2006) diversos efeitos de peças de madeira independentemente de seu uso aparecem cotidianamente. Suas consequências mais naturais são o comprometimento da estrutura em si, em sua segurança e estabilidade, destacando-se:

- Abaulamento – deformações da madeira causadas por esforços excessivos nas peças, retração da madeira na secagem ou no desdobramento. Podem deformar a estrutura e introduzir tensões não previstas, além de causar problemas estéticos. Podem ser por escoamento, empenamento e arqueadura;
- Defeitos congênitos – são defeitos inerentes à própria madeira. Os principais tipos são: presença de nós, fibras desviadas, quebraduras, manchas e urdiduras;
- Defeitos de desdobramentos – desbitolamento e quinas mortas;
- Ataques por animais xilófagos – animais que atacam a madeira perfurando-a e causando enfraquecimento, podendo acarretar a sua destruição total. Como exemplo, podem-se citar os cupins, carunchos, limnórias, teredos e algumas espécies de vespas.

- Apodrecimento – é a decomposição da madeira pela ação de fungos (mofo ou bolor) ou pela ação de substâncias químicas tais como cloro, soda e ácidos.
- Fendas – aberturas nas extremidades das peças, produzidas pela secagem mais rápida da superfície; ficam situadas em planos longitudinais radiais, atravessando os anéis de crescimento. O aparecimento das fendas pode ser evitado mediante a secagem lenta e uniforme da madeira.

Para a identificação das patologias da edificação em questão, foi realizada uma vistoria determinando-se a existência e a gravidade dos problemas de apresentados, sendo citados a seguir:

1. **Apodrecimento:** pela má conservação da estrutura do telhado e a mesma apresentar-se danificada, a chuva causou o apodrecimento da madeira dos pilares da edificação. (Figura 1). Para NOLASCO (2008), o maior inimigo das paredes, principalmente aquelas feitas de terra crua, é a água, a qual provoca a perda de resistência do maciço da parede, favorece a penetração de bactérias e fungos, que provocam o apodrecimento da madeira existente e da material orgânica no local.

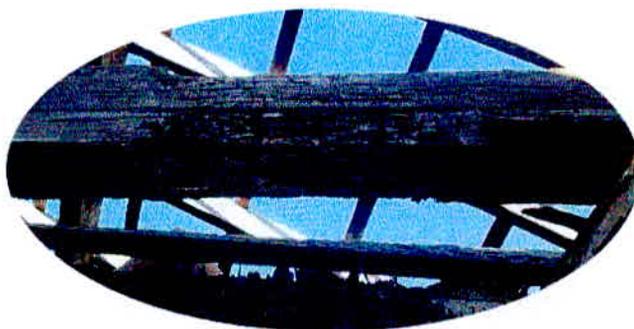


Figura 1 – Apodrecimento pela má conservação da estrutura do telhado.

2. **Ataques por animais xilófagos:** a madeira possui grande susceptibilidade ao ataque por agentes biológicos. Grande parte destes ataques se dá quando há condições favoráveis ao seu desenvolvimento, como temperatura ambiente, ar e umidade adequada a cada um deles. (Figura 2)

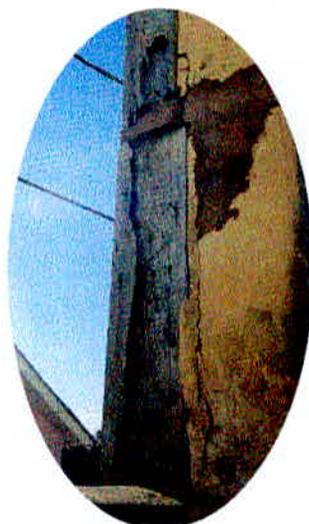


Figura 2 – Degradação da madeira por agentes biológicos.

3. **Fendas:** foram identificadas nos revestimentos e na própria parede, diminuem a vida útil das edificações. Segundo SAHADE (2005), as principais causas são dadas por recalques de fundação, atuação de sobrecargas, variações de temperatura e de umidade e ataques químicos, comprometendo diretamente a parede. (Figura 3)



Figura 3 – Fendas na parede e no pilar.

A Figura 4 representa o esquema dos pilares e vigas do primeiro pavimento da edificação, sendo os pilares numerados de P1 a P15 e as vigas, V1 a V5. A área não hachurada representa o pavimento térreo, sendo este na altura da rua.

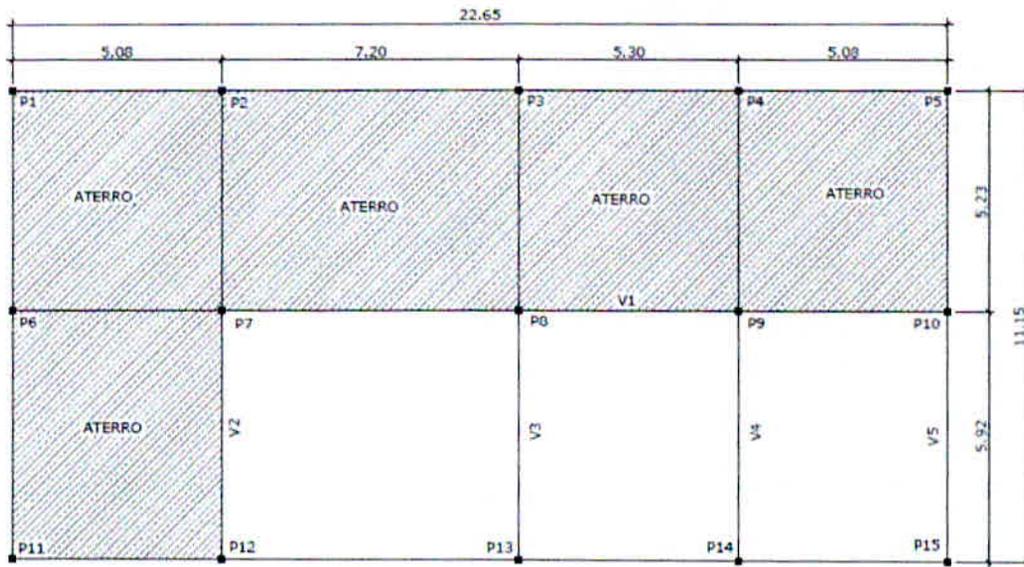


Figura 4 – Esquema de vigas e pilares do primeiro pavimento da edificação.

• Pilar 1

Dimensões: 0,20 x 0,20 x 3,00 (metros)

Tipo de madeira: Angelim

Patologias

1. Ataques por animais xilófagos na parte mediana e superior do pilar (Figura 5);
2. Alto índice de umidade na base do pilar (Figura 6).



Figura 5 – Parte mediana do Pilar 1.



Figura 6 – Base do Pilar 1

- **Pilar 2**

Os Pilares 2, 3 e 4 se encontram recoberto por argamassa, não sendo possível a análise de suas estruturas (Figura 7), sendo o estudo de sua estrutura feita mediante autorização do proprietário devido à necessidade de quebra de parede.



Figura 7 – Vista lateral da edificação.

- **Pilar 5**

Dimensões: 0,20 x 0,20 x 3,00 (metros)

Tipo de madeira: Angelim

Patologia:

1. Apresenta fendas na base inferior e superior (Figura 8 e 9).

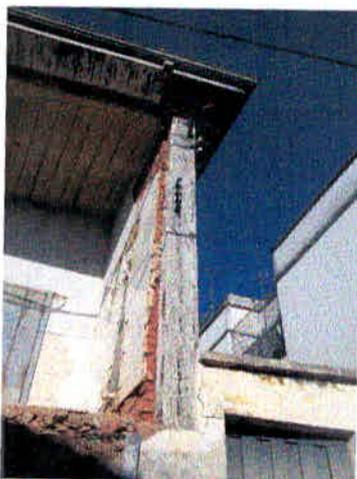


Figura 8 – Fendas na base inferior do Pilar 5.

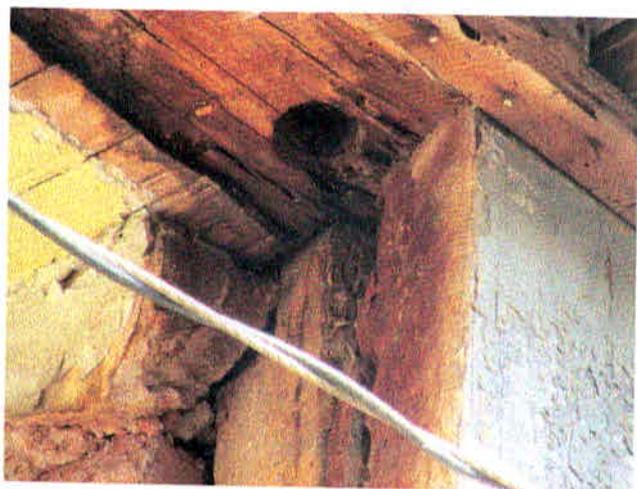


Figura 9 – Fendas na base superior do Pilar 5.

- **Pilar 6**

O Pilar 6 se encontra recoberto por argamassa, não sendo possível a análise de sua estrutura, sendo o estudo feito mediante autorização do proprietário devido à necessidade de quebra de parede.

- **Pilar 7**

O Pilar 7 se encontra recoberto por argamassa, não sendo possível a análise de sua estrutura, sendo o estudo feito mediante autorização do proprietário devido à necessidade de quebra de parede.

- **Pilar 8**

Dimensões: 0,20 x 0,20 x 3,00 (metros)

Tipo de madeira: Angelim

Patologia:

1. O Pilar 8 apresenta grande índice de umidade na base superior acarretando o apodrecimento da madeira (Figura 10).



Figura 10 – Base superior do Pilar 8.

- **Pilar 9**

Dimensões: 0,20 x 0,20 x 3,00 (metros)

Tipo de madeira: Angelim

Patologia:

1. Apresenta-se quase que totalmente degradado por ataques de animais xilófagos (Figuras 11 e 12)



Figura 11 – Vista mediana do Pilar 9.



Figura 12 – Vista da base inferior do Pilar 9.

- **Pilar 10**

Dimensões: 0,20 x 0,20 x 3,00 (metros)

Tipo de madeira: Angelim

Patologia:

1. Apresenta o apodrecimento da base e fendas na parte mediana do pilar (Figura 13).

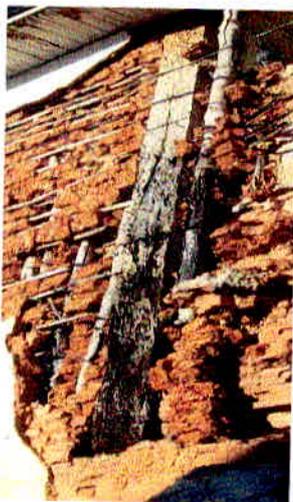


Figura 13 – Vista do Pilar 10.

- **Pilar 11**

Dimensões: 0,20 x 0,20 x 3,00 (metros)

Tipo de madeira: Angelim

Patologia:

1. Apresenta uma grande fenda em todo o seu comprimento (Figura 14).



Figura 14 – Vista do Pilar 11.

- **Pilar 12**

Dimensões: 0,20 x 0,20 x 3,00 (metros)

Tipo de madeira: Angelim

Patologia:

1. O Pilar 12 não apresenta, visivelmente, problemas referentes à umidade ou ataque de animais xilófagos (Figura 15).



Figura 15 – Vista do Pilar 12.

- **Pilar 13**

O Pilar 13 se encontra recoberto por argamassa, não sendo possível a análise de sua estrutura, sendo o estudo feito mediante autorização do proprietário devido à necessidade de quebra de parede.

- **Pilar 14**

O Pilar 14 se encontra recoberto por argamassa, não sendo possível a análise de sua estrutura, sendo o estudo feito mediante autorização do proprietário devido à necessidade de quebra de parede.

- **Pilar 15**

Dimensões: 0,20 x 0,20 x 3,00 (metros)

Tipo de madeira: Angelim

Patologia:

1. O Pilar 12 não apresenta, visivelmente, problemas referentes à umidade ou ataque de animais xilófagos (Figura 16).



Figura 16– Vista do Pilar 15.

✓ Telhado

Características analisadas:

- O telhado é do tipo quatro águas, com toda sua estrutura em madeira;
- Cobertura em telhas cerâmicas tipo francesa;
- Tesouras com tirantes e escoras;
- Banzos inferiores em seção retangular e circular (Figura 17);
- Calhas em alumínio (Figura 18)



Figura 17 – Seção dos banzos inferiores da estrutura do telhado.



Figura 18 – Calhas em alumínio.

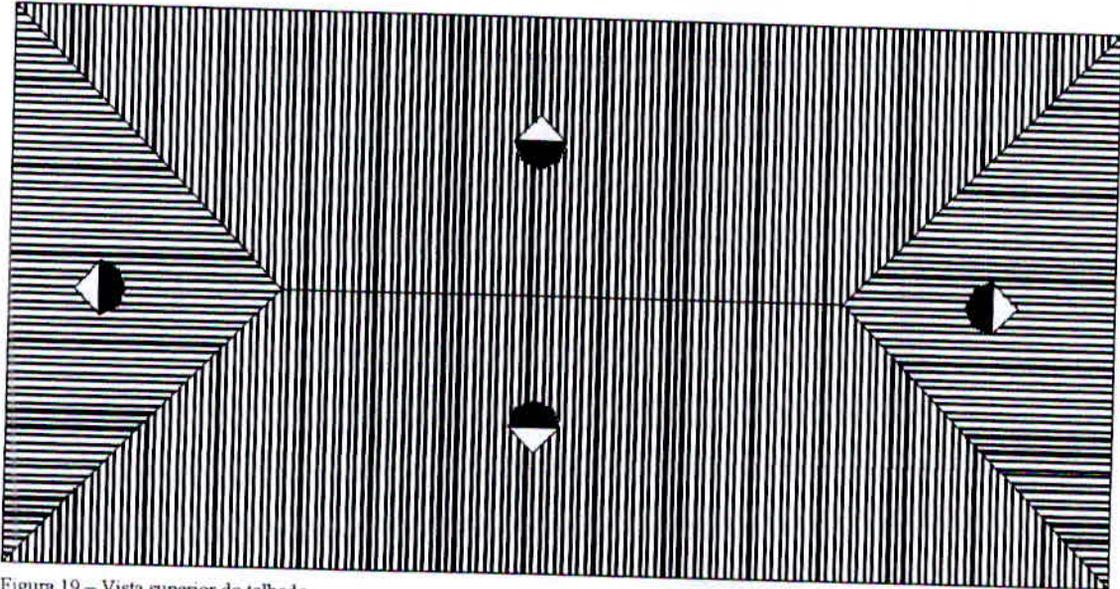


Figura 19 – Vista superior do telhado.

5.2.CAPÍTULO 2 – DETERMINAÇÃO DAS AÇÕES

5.2.1. Ações para o cálculo de estruturas da edificação

A NBR 6120/1980 fixa condições para se determinar as ações que devem ser consideradas no projeto de estruturas de edificações, sendo estas classificadas como ação permanente, ação accidental vertical e ação accidental de vento.

5.2.2. Ação permanente

É constituída pelo peso próprio da estrutura e pelo peso de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes.

5.2.3. Ação accidental

Atuam sobre a estrutura de edificações em fração de seu uso (pessoas, móveis, materiais diversos, veículos, etc.)

5.2.4. Ação accidental de vento

É a verificação da pressão causada pelo vento em edificações, levando em conta a forma, o ângulo de incidência do vento e outros fatores.

5.2.5. Avaliação do peso da cobertura

5.2.5.1. Características do telhado

Considerando as características apresentadas no Capítulo 1 deste trabalho, destaca-se:

- O telhado é do tipo quatro águas, com toda sua estrutura em madeira;
- Cobertura em telhas cerâmicas tipo francesa;
- Tesouras com tirantes e escoras;
- Banzos inferiores em seção retangular e circular

Para o atual estudo serão consideradas, segundo MOLITERNO (2009):

- Telhado quatro águas, conservando a estrutura original;
- Telha cerâmica, padrão antigo (Tabela 1);
- Tesouras com tirantes e escoras,
- Banzos inferiores e superiores em seção retangular.

Material	Tipo de telha		Dimensões (mm)		Distância entre ripas (mm)	Inclinação mínima		Quantidade telhas/m ²	Peso por unidade kN (seca)	Absorção d'água pluvial %	Peso kN/m ²	
			Largura total	Comprimento total		Graus	%					
Cerâmicas	Marseilha ou francesa	Padrão antigo cerâmica S. Caetano	240	410	330	26	49	15	0,028	20 a 30	0,45	
		Padrão de outras cerâmicas	240	400	300	26	49	15	0,025 a 0,027		0,50	
	Colonial Paulista ou Paulistinha	Padrão antigo cerâmica S. Caetano	150	410	350	22	40	32	0,018	20 a 30	0,65	
		Padrão de outras cerâmicas	120 x 150	425	350	23	42	30	0,025		0,95	
	Telhão	Cor branca	165 x 212	512	410	22	40	25	0,04	25 a 30	1,27	
	Flam		170 x 210	420		15	27	23				
Super flam		Telha 210 x 240	420		15	27	20					
Concreto	Concreto leve	Recômbins	75 mm	330	419	344	20	37	10	0,045	8	0,49
			100 mm				17	30	11	0,045		0,54
Vidro	Tipo Marseilha											
	Tipo Colonial Paulista											

* Para inclinações menores, aplicar material vedante nas juntas das telhas.

Tabela 1 – Característica e peso das telhas – MOLITERNO (2009)

5.2.6. Cálculo das ações atuantes no telhado

• Locação dos pilares

Analisada a locação original dos pilares da residência (Figura 20), detectou-se a necessidade de reposicionar os pilares laterais e centrais, de modo a receberem as cargas oriundas das tesouras (Figura 21).

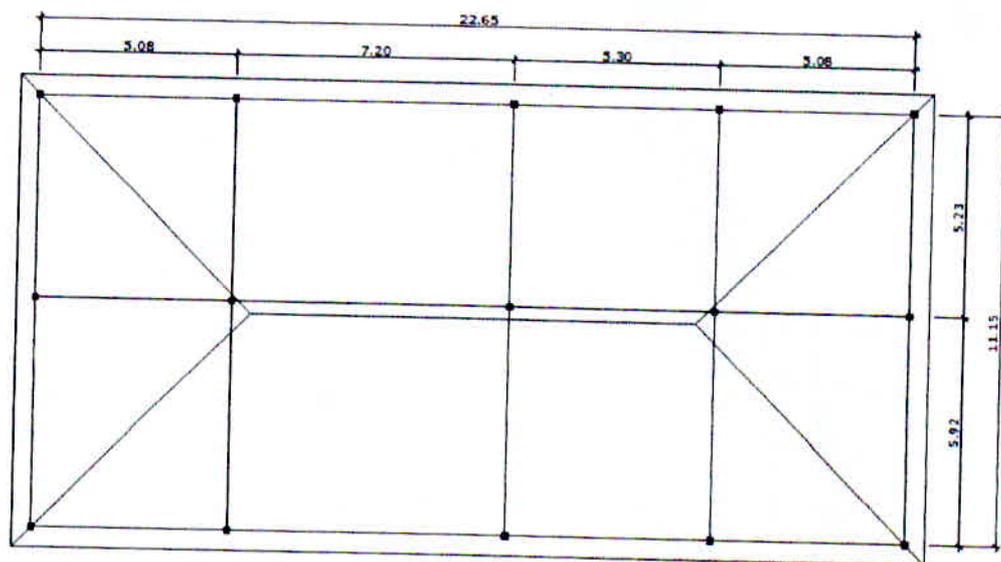


Figura 20 – Localização original dos pilares da residência (cotas em metro).

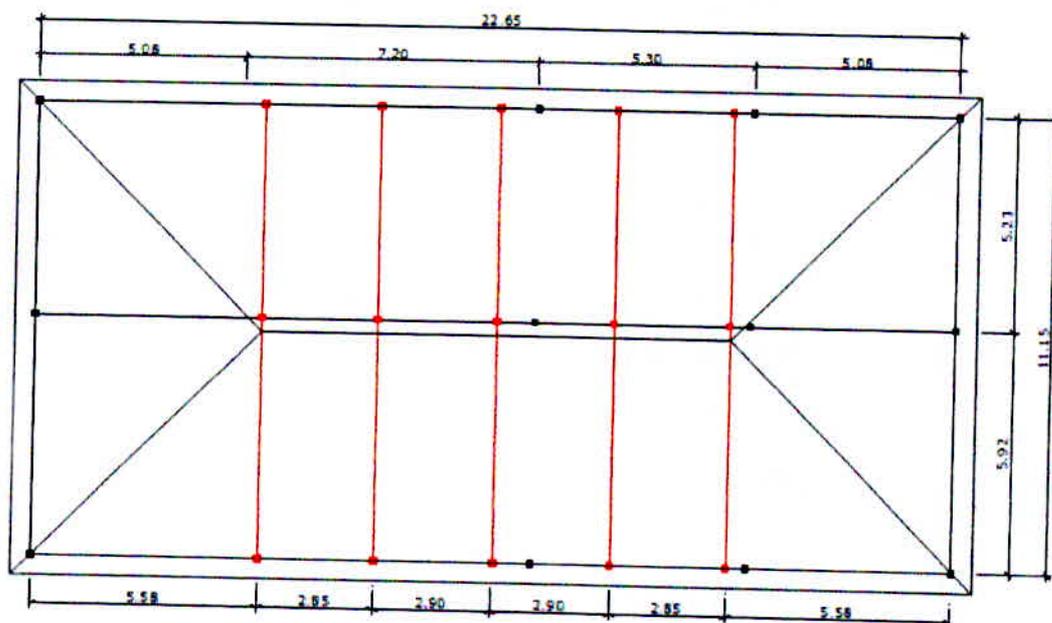


Figura 21 – Nova localização dos pilares da residência (cotas em metro).

- **Esboço do telhado**

Definidos os novos pilares, o projeto da armação do telhado para cobertura (Figura 22 e 23) com todas as peças em madeira serrada de 2ª categoria dicotiledônia, Classe de Resistência C30,

carregamentos de longa duração, classe de umidade 3 a 4, parafusos de aço ($f_{yk} = 240 \text{ Mpa}$, $\gamma_s = 1,1$, $f_{ytd} = 218 \text{ Mpa}$).

Sendo:

f_{ytd} - valor de cálculo da resistência;

f_{yk} - valor característico da resistência;

γ_s - coeficiente de minoração da resistência do aço.

Com base na Tabela 1, foi adotada a inclinação de 40% para o cálculo da altura do telhado, levando-se em consideração o tipo de telha.

$$h = \left(\frac{11,15}{2}\right) \cdot 0,40 = 2,23\text{m},$$

Visando a melhor execução, foi considerada a altura $h = 2,20\text{m}$.

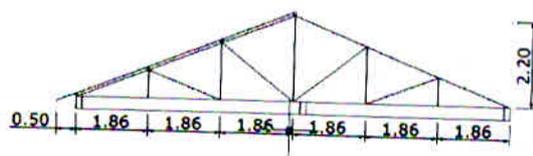


Figura 22 - Vista transversal do telhado (cotas em metro).

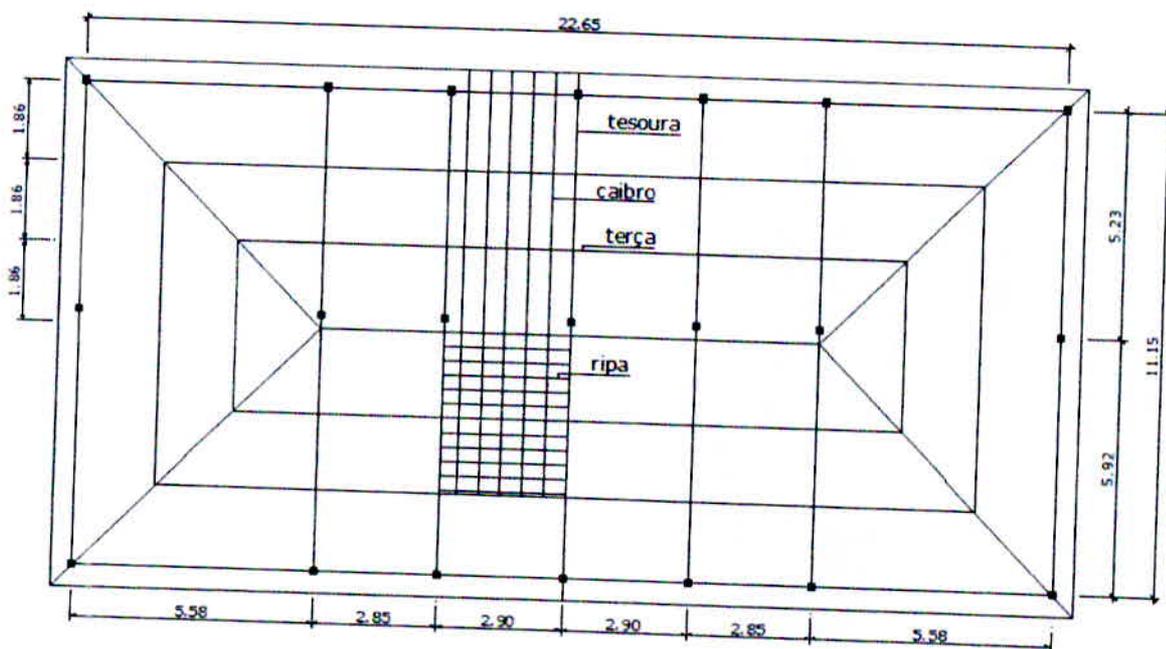


Figura 23 - Projeto da armação do telhado para cobertura (cotas em metro).

- **Cálculo da área do telhado**

Utilizando a ferramenta AutoCad, foram realizadas, para o cálculo das áreas, as seguintes medições em planta (Figura 24):

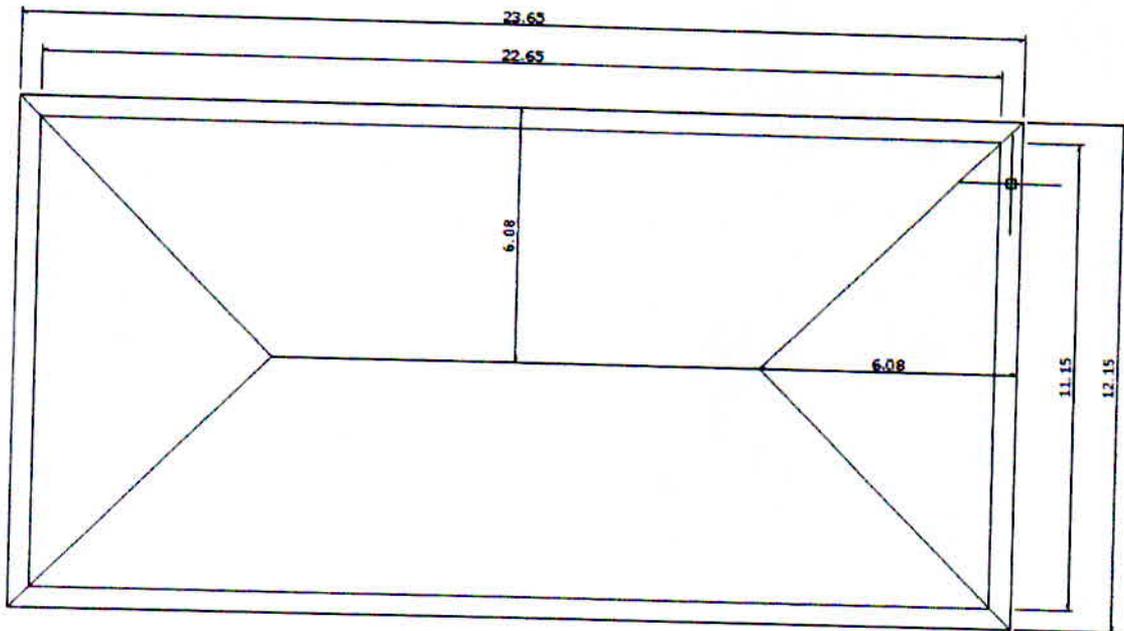
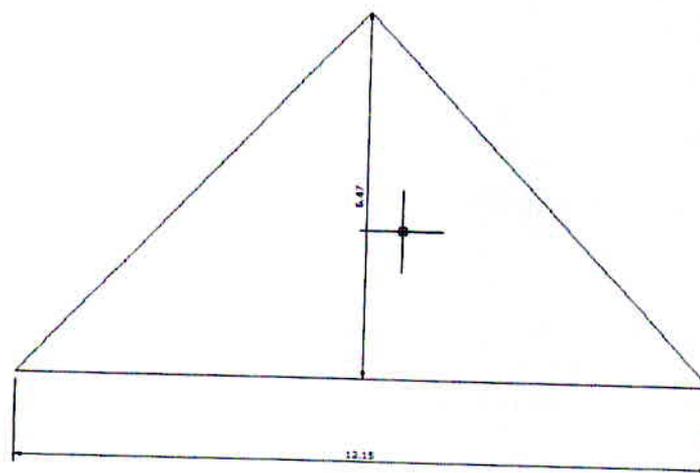


Figura 24 – Dimensões horizontais do telhado (cotas em metro).

✓ Para a face frontal do telhado (Figura 25):



área: 39,31 m²

Figura 25 – Cálculo da área frontal do telhado (cotas em metro).

- ✓ Para a face lateral do telhado (Figura 26):

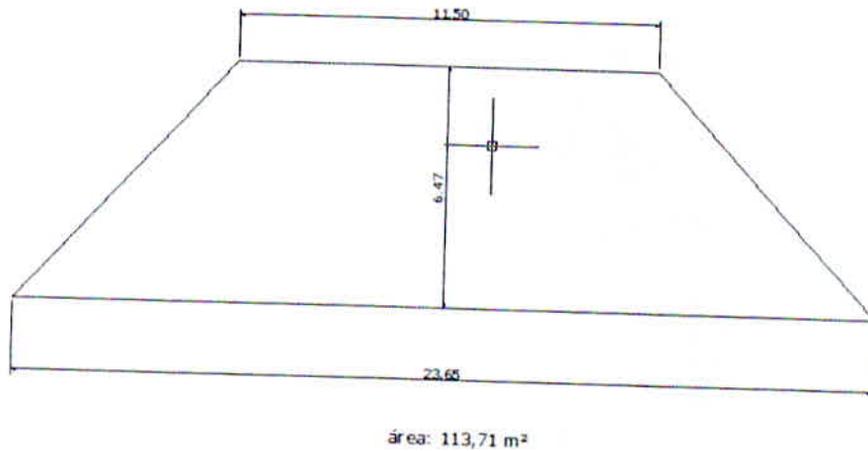


Figura 26 – Cálculo da área lateral do telhado (cotas em metro).

Somando-se todas as áreas encontradas tem-se a área total do telhado, que será utilizada para estimar o peso total da cobertura da residência.

$$2 \cdot 39,31 + 2 \cdot 113,71 = 306,04 \text{ m}^2$$

• **Cálculo da ação permanente do telhado (peso próprio e peso das telhas)**

Segundo MOLITERNO (2009), o cálculo da ação permanente total por m² de uma edificação pode ser calculada pela equação:

$$g = g_c + g_o + g_T + g_F + g_A$$

Onde:

- g - peso próprio da estrutura (N/m²);
- g_c - peso próprio da cobertura, em projeção horizontal (N/m²);
- g_o - peso próprio das terças (N/m²);
- g_T - peso próprio da tesoura e contraventamento (N/m²);
- g_F - peso próprio do forro (N/m²), e
- g_A - peso próprio das cargas adicionais (N/m²).

- a) Peso próprio da cobertura (g_c):

MOLITERNO (2009) afirma que para cobertura com telhas cerâmicas, deve-se incluir

os caibros e ripas no peso da cobertura, podendo ser calculada pela fórmula:

$$g_c = \frac{g_i}{\cos \alpha}$$

Sendo:

g_i = telhas + ripas + caibros + absorção de água

α = inclinação do telhado dada pela Tabela 1 .

MOLITERNO (2009) apresenta, para o cálculo das cargas unitárias:

❖ Telhas

De acordo com a Tabela 1 devemos considerar, para telha Colonial Paulista – Padrão antigo cerâmica São Caetano (150 x 410 mm), o peso de 0,65 kN/m², considerando-se a área do telhado em projeção horizontal.

❖ Ripas

Peso das ripas como 0,02 kN/m², sendo 3 ripas por metro.

❖ Caibros

Peso dos caibros como sendo de 0,05 kN/m² - 2 caibros por m.

❖ Absorção de água

Considerando a Tabela 1, a absorção de água pluvial está entre 20% e 30% do peso das telhas, sendo considerado nesse estudo, 30%.

Assim:

$$0,30 \cdot 0,65 = 0,195 \text{ kN/m}^2$$

Para o cálculo de g_i temos:

$$g_i = 0,65 + 0,02 + 0,05 + 0,195 = 0,915 \text{ kN/m}^2$$

Calculando-se g_c :

$$g_c = \frac{0,915}{\cos 22}$$

$$g_c = 0,987 \text{ kN/m}^2$$

b) Peso próprio das terças (g_0):

Para MOLITERNO (2009), o peso próprio das terças, considerando-se telhas tipo

colonial e vão de 1,86 m, pode ser considerado como 0,08 kN/m².

- c) Peso próprio da tesoura e contraventamento (g_T):

Segundo mesmo autor, o peso próprio da tesoura e contraventamento podem ser estimados, utilizando-se a Fórmula de Howe:

$$g_T = 245 (1+0,33L)$$

Sendo L o vão teórico da tesoura.

Como o vão teórico da tesoura é de 11,15m, tem-se:

$$g_T = 245 (1+0,33.11,15)$$

$$g_T = 1146,48 \text{ N/m}^2$$

$$g_T = 1,15 \text{ kN/m}^2$$

- d) Peso próprio do forro (g_F):

Para forros de Eucatex, segundo MOLITERNO (2009), o peso da estrutura de sustentação com madeira do tipo conífera, é de 100 a 120 N/m². Para este trabalho foi considerado 120 N/m² = 0,12 kN/m².

- e) Peso próprio das cargas adicionais (g_A):

Para o projeto em questão não foram consideradas cargas adicionais.

Com base nesses dados, é possível o cálculo da carga permanente do telhado:

$$g = g_c + g_o + g_T + g_F + g_A$$

$$g = 0,987 + 0,08 + 1,15 + 0,12 + 0$$

$$g = 2,34 \text{ kN/m}^2$$

- **Ação acidental**

Para a ação acidental, a NBR 6120/1980 prevê, para forros sem acesso a pessoas, um carregamento de 0,5 kN/m².

- **Cálculo da carga acidental de vento**

A NBR 6123/1988 normatiza a cálculo das forças exercidas pelo vento em edificações. Para o cálculo serão considerados parâmetros meteorológicos como a velocidade e o vento, rugosidade do terreno e topografia; também a determinação dos coeficientes de pressão. Para o cálculo dos fatores meteorológicos, a NBR 6123/1988 determina que a velocidade característica (V_k) pode ser

encontrada por:

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$$

Onde:

V_k - velocidade característica

V_0 - velocidade básica

S_1 - fator topográfico

S_2 - rugosidade do terreno

S_3 - fator estatístico

Em relação à ação do vento, devem ser avaliados pelo menos dois carregamentos: o carregamento que produz esforços de mesma direção do carregamento permanente, denominado vento de pressão; e o que produz esforços na direção contrária à do carregamento permanente, denominado de vento de sucção.

A velocidade básica V_0 é determinada pelas isopletas (Figura 27), definida, segundo a NBR 6123/1988, como a velocidade de uma rajada de 3 segundos, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 metros acima do solo em campo aberto e plano.

Para esse trabalho, considerando a região onde se encontra a residência, temos uma variação entre 30 e 35 m/s, sendo consideradas 35 m/s.

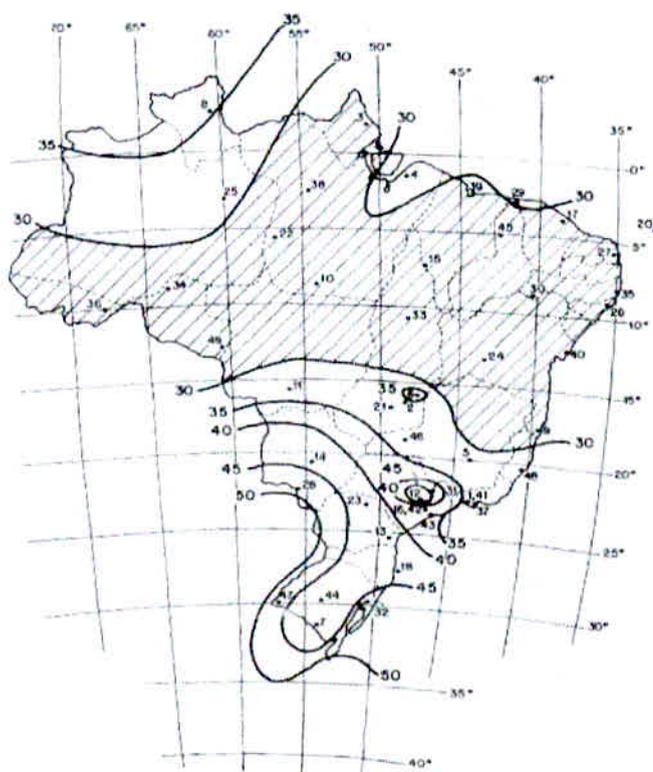


Figura 27 : Isopletas da velocidade básica - Figura 1 da NBR 6123/1988.

O fator S_1 leva em consideração as variações do relevo do terreno e é determinado de acordo com as condições (Figura 28):

- a) Terreno plano ou fracamente acidentado: $S_1 = 1,0$;
- b) Taludes ou morros:
 - Taludes e morros alongados nos quais pode ser admitido um fluxo de ar bidimensional soprando no sentido indicado da figura 28;
 - No ponto A (morros) e nos pontos A e C (taludes): $S_1 = 1,0$;
 - No ponto B, S_1 é uma função $S_1(z)$:
 - ⇒ Se $\theta \leq 3^\circ$,
$$S_1(z) = 1,0$$
 - ⇒ Se $6^\circ \leq \theta \leq 17^\circ$,
$$S_1(z) = 1,0 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) \cdot \operatorname{tg}(\theta - 3^\circ) \geq 1$$
 - ⇒ Se $\theta \geq 45^\circ$,
$$S_1(z) = 1,0 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) \cdot 0,31 \geq 1$$

(interpolando linearmente para $3^\circ < \theta < 6^\circ$ e $17^\circ < \theta < 45^\circ$),

Sendo:

z = altura medida a partir da superfície do terreno no ponto considerado;

d = diferença de nível entre a base e o topo do talude ou morro e

θ = inclinação média do talude ou morro.

- c) Vales profundos, protegidos de ventos de qualquer direção, $S_1 = 0,9$.

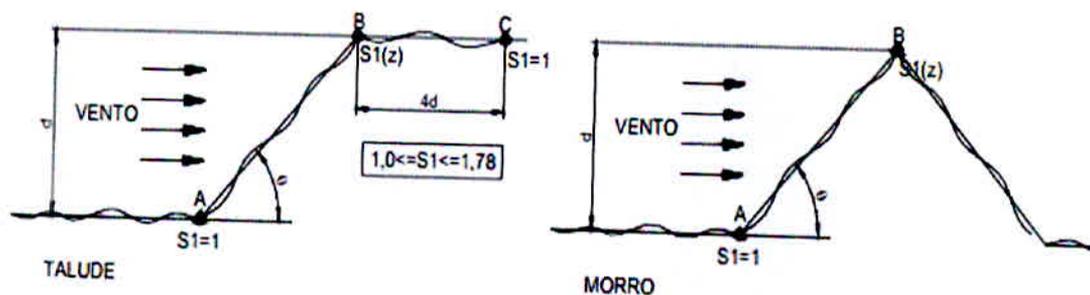


Figura 28: Fator topográfico $S_1(z)$ – Figura 2 da NBR 6123/1998.

Como a residência se encontra em terreno fracamente acidentado, será considerado, para

fins de cálculo, $S_1 = 1,0$.

Para o fator S_2 , que considera a rugosidade do terreno, dimensões da edificação e a altura sobre o terreno, a NBR 6123/1988 determina:

- Rugosidade do terreno (Tabela 2):

Definição de categorias de terreno segundo NBR6123/1988	
Categoria	Descrição do ambiente
I	mar calmo, lagos, rios, pântanos
II	campos de aviação, fazendas
III	casas de campo, fazendas com muros, subúrbios, com altura média dos obstáculos de 3,0m
IV	idades pequenas, subúrbios densamente construídos, áreas industriais desenvolvidas, com muros, subúrbios, com altura média dos obstáculos de 10,0m
V	florestas com árvores altas, centros de grandes cidades, com altura média igual ou superior a 25,0m

Tabela 2 - Definição de categorias de terreno, segundo a NBR 6123/1988.

- Dimensões da edificação (Tabela 3):

Classe	Descrição
A	Maior dimensão da superfície frontal menor ou igual a 20 metros
B	Maior dimensão da superfície frontal entre 20 e 50 metros
C	Maior dimensão da superfície frontal que 50 metros

Tabela 3 - Classes de edificações, segundo a NBR 6123/1988.

O fator S_2 , segundo a NBR 6123/1988, é calculado pela expressão $S_2 = b \cdot F_r \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^p$, onde o fator F_r (ações) é sempre o correspondente à categoria II e z , a altura acima do nível geral do terreno.

Os parâmetros b (largura) e p são definidos pela Tabela 4:

Categoria	z _g (m)	Parâmetros	Classes		
			A	B	C
I	250	b	1,10	1,11	1,12
		p	0,06	0,065	0,07
II	300	b	1,00	1,00	1,00
		Fr	1,00	0,98	0,95
		p	0,085	0,09	0,10
III	350	b	0,94	0,94	0,93
		p	0,10	0,105	0,115
IV	420	b	0,86	0,85	0,84
		p	0,12	0,125	0,135
V	500	b	0,74	0,73	0,71
		p	0,15	0,16	0,175

Tabela 4 - Parâmetros meteorológicos - Tabela 1 da NBR 6123/1988.

A residência em questão se enquadra na categoria IV, casas pequenas e seus arredores; classe B, toda edificação ou parte da edificação para o qual a maior dimensão horizontal ou vertical de superfície frontal esteja entre 20 m e 50 m, sendo, de acordo com a tabela (anterior), $b = 0,85$; $p = 0,125$ e $F_r = 0,98$ (categoria II, classe B), então:

$$S_2 = b \cdot F_r \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^p$$

$$S_2 = 0,85 \cdot 0,98 \cdot \left(\frac{8,2}{10}\right)^{0,125}$$

$$S_2 = 0,813$$

O Fator estatístico S_3 é fornecido pela Tabela 5, definida segundo a NBR 6123/1988.

Grupo	Descrição	S ₃
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

Tabela 5 - Fator estatístico S₃, segundo a NBR 6123/1988, considerando o nível de probabilidade (0,63) e a vida útil (50 anos) considerados adequados para edificações normais destinadas a moradias, hotéis, escritórios, etc.

Como o estudo se realiza em uma residência, será considerado, para fins de cálculo, $S_3 = 1,00$. Assim, calcula-se a velocidade característica do vento como sendo:

$$V_k = 35 \cdot 1,0 \cdot 0,813 \cdot 1,0$$

$$V_k = 28,4550 = 28,5 \text{ m/s}$$

A pressão dinâmica, segundo a NBR 6123:2008 é calculada pela expressão:

$$q = 0,613 \cdot V_k^2$$

Onde:

q = pressão dinâmica.

Para o estudo em questão:

$$q = 0,613 \cdot 28,5^2$$

$$q = 497,909 = 498 \text{ N/m}^2$$

Segundo MOLITERNO (2009), a força devido ao vento pode ser calculada multiplicando-se essa pressão pela área em que atua e por um coeficiente de pressão (ou força de arrasto) adequado:

$$F = c_p \cdot q \cdot A$$

Sendo:

F – força devido ao vento;

c_p – coeficiente de pressão;

q - pressão dinâmica;

A – área de atuação do vento.

MOLITERNO (2009) define coeficiente de pressão como a pressão sobre superfícies quaisquer de estruturas, permitindo a determinação da força do vento em um elemento plano de edificação de área A atuando perpendicular a ela, com regras de sinais idênticas. A NBR 6123/1988 estabelece as seguintes regras de sinais:

- Valores positivos dos coeficientes de pressão externa c_e ou interna c_i correspondem a sobrepressões e valores negativos correspondem a sucções.
- O coeficiente de pressão efetiva atuando sobre a superfície é a diferença entre os

coeficientes de pressão externa e a interna, isto é, $c = ce - ci$.

Onde:

c – coeficiente de pressão efetiva;

ce – coeficiente de pressão externa;

ci – coeficiente de pressão interna.

- c) Um valor positivo para o coeficiente de pressão efetiva total indica uma pressão efetiva com o sentido de uma sobrepressão externa, e um valor negativo indica uma pressão efetiva com o sentido de uma sucção externa.

Para o cálculo dos coeficientes de pressão externa, considerando que a NBR 6123/1988 não define o cálculo para telhados de quatro águas, para o mesmo, foi adotado o cálculo dos coeficientes de pressão externa, considerando o maior lado da edificação e, posteriormente, o menor lado da edificação.

- Para o maior lado da edificação, considerando-o geometricamente retangular temos (Figura 29):

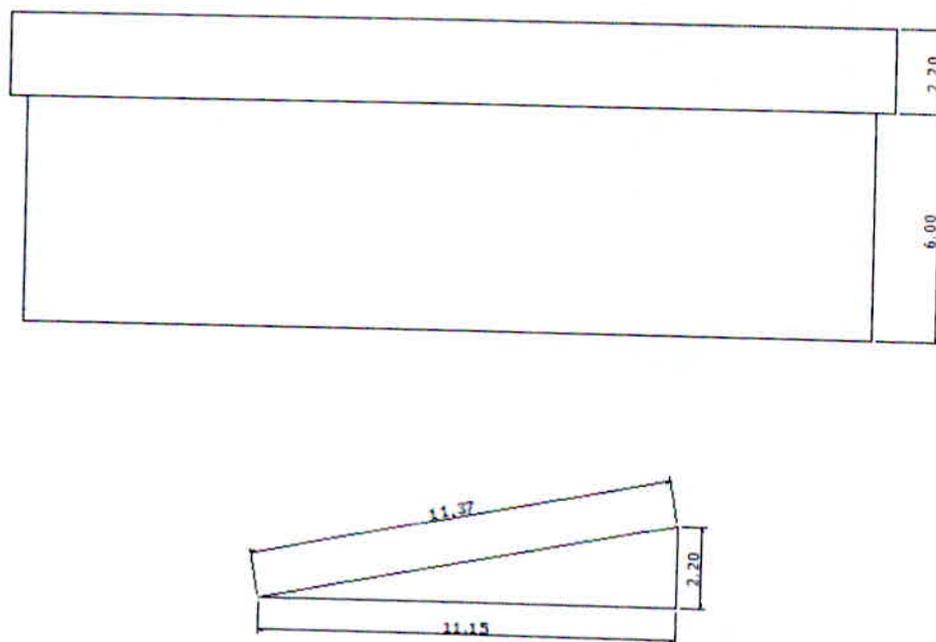
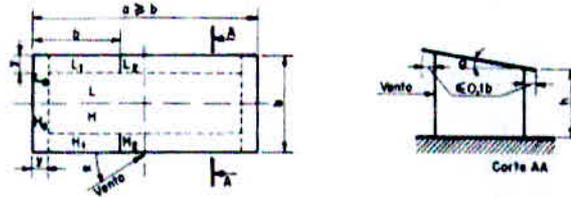


Figura 29 – Geometria do telhado considerada para o cálculo da carga de vento (cotas em metro).

Utilizando a inclinação do telhado como 22° (já calculado), temos, segundo a Tabela 6:



$y = h$ ou $0,15b$ (tomar o menor dos dois valores)

As superfícies H e L referem-se a todo o respectivo quadrante

θ	Valores de C_p para ângulo de incidência do vento									
	90° (C)		45°		0°		-45°		-90°	
	H	L	H	L	H e L (A)	H e L (B)	H	L	H	L
5°	-1,0	-0,5	-1,0	-0,9	-1,0	-0,5	-0,9	-1,0	-0,5	-1,0
10°	1,0	-0,5	-1,0	-0,8	-1,0	-0,5	-0,8	-1,0	-0,4	-1,0
15°	-0,9	-0,5	-1,0	-0,7	-1,0	-0,5	-0,6	-1,0	-0,3	-1,0
20°	-0,8	-0,5	-1,0	-0,6	-0,9	-0,5	-0,5	-1,0	-0,2	-1,0
25°	-0,7	-0,5	-1,0	-0,6	-0,8	-0,5	-0,3	-0,9	-0,1	-0,9
30°	-0,5	-0,5	-1,0	-0,6	-0,8	-0,5	-0,1	-0,6	0	-0,6

θ	C_{pe} médio					
	H_x	H_y	L_x	L_y	H_z	L_z
5°	-2,0	-1,5	-2,0	-1,5	-2,0	-2,0
10°	-2,0	-1,5	-2,0	-1,5	-2,0	-2,0
15°	-1,8	-0,9	-1,8	-1,4	-2,0	-2,0
20°	-1,8	-0,8	-1,8	-1,4	2,0	-2,0
25°	-1,8	-0,7	-0,9	-0,9	2,0	-2,0
30°	-1,8	-0,5	-0,5	-0,5	-2,0	-0,6

(A) Até uma profundidade igual a $b/2$ (B) De $b/2$ até $a/2$ (C) Considerar valores simétricos do outro lado do eixo de simetria paralelo ao vento

Tabela 6 : Coeficientes de pressão e de forma externos, para telhados com uma água, de edificações de planta retangular.

θ	90°		45°		0°		-45		-90	
	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L
20°	-0,8	-0,5	-1,0	-0,6	-0,9	-0,5	-0,5	-1,0	-0,2	-1,0
22°	-0,76	-0,5	-1,0	-0,6	-0,86	-0,5	-0,42	-0,96	-0,16	-0,96
25°	-0,7	-0,5	-1,0	-0,6	-0,8	-0,5	-0,3	-0,9	-0,1	-0,9

$$\frac{25-20}{22-20} = \frac{-0,7-(-0,8)}{x-(-0,8)} \Rightarrow x = -0,76$$

$$\frac{25-20}{22-20} = \frac{-0,8-(-0,9)}{x-(-0,9)} \Rightarrow x = -0,86$$

$$\frac{25-20}{22-20} = \frac{-0,3-(-0,5)}{x-(-0,5)} \Rightarrow x = -0,42$$

$$\frac{25-20}{22-20} = \frac{-0,9-(-1,0)}{x-(-1,0)} \Rightarrow x = -0,96$$

$$\frac{25-20}{22-20} = \frac{-0,1-(-0,2)}{x-(-0,2)} \Rightarrow x = -0,16$$

Para o cálculo do coeficiente de pressão interna, a NBR 6123/1998 define que, para edificações efetivamente estanques e com janelas fixas que tenham uma probabilidade desprezível de serem rompidas por acidente, considerar o mais nocivo dos seguintes valores:

$$c_i = -0,2 \quad \text{ou} \quad c_i = 0$$

Para o estudo em questão, será considerado o valor de $c_i = -0,2$.

Sendo:

$$F = (c_e - c_i) \cdot q \cdot A$$

Para vento a 90° , temos:

$$F = (-0,76 - (-0,2)) \cdot 498 \cdot 268,9$$

$$F = -74990,83 \text{ N}$$

$$F = -75 \text{ kN (sucção)}$$

Para vento a 0° , temos:

$$F = (-0,86 - (-0,2)) \cdot 498 \cdot 268,9$$

$$F = -88,4 \text{ kN (sucção)}$$

- Para o menor lado da edificação, temos (Figura 30):

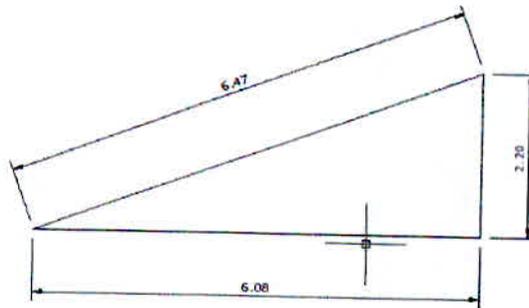


Figura 30 – Geometria do telhado considerada para o cálculo da carga de vento (cotas em metro).

Para $h = 6\text{m}$ e $b = 11,15$, temos segundo a tabela 7:

$$\frac{h}{b} = \frac{6}{11,15} = 0,6 \Rightarrow \frac{1}{2} < 0,6 < \frac{3}{2}$$

Altura relativa	θ	Valores de C_{pe} para				C_{pe} médio			
		$\alpha = 90^\circ$ (A)		$\alpha = 0^\circ$					
		EF	GH	EG	FH				
	0°	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-2,0	-2,0	-2,0	--
	5°	-0,9	-0,4	-0,8	-0,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1,0
	10°	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,4		-1,2
	15°	-1,0	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,2		-1,2
	20°	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6	-1,0			-1,2
	30°	0	-0,4	-0,7	-0,6	-0,8			-1,1
	45°	+0,3	-0,5	-0,7	-0,6				-1,1
	60°	+0,7	-0,6	-0,7	-0,6				-1,1
	0°	-0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-2,0	-2,0	-2,0	--
	5°	-0,9	-0,6	-0,9	-0,6	-2,0	-2,0	-1,5	-1,0
	10°	-1,1	-0,6	-0,8	-0,6	-2,0	-2,0	-1,5	-1,2
	15°	-1,0	-0,6	-0,8	-0,6	-1,8	-1,5	-1,5	-1,2
	20°	-0,7	-0,5	-0,8	-0,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,0
	30°	-0,2	-0,5	-0,8	-0,8	-1,0			-1,0
	45°	+0,2	-0,5	-0,8	-0,8				
	60°	+0,6	-0,5	-0,8	-0,8				
	0°	-0,8	-0,6	-0,9	-0,7	-2,0	-2,0	-2,0	--
	5°	0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-2,0	-2,0	-1,5	-1,0
	10°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-2,0	-2,0	-1,5	-1,2
	15°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-1,8	-1,8	-1,5	-1,2
	20°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-1,5	-1,5	-1,5	-1,2
	30°	-1,0	-0,5	-0,8	-0,7	-1,5			
	40°	-0,2	-0,5	-0,8	-0,7	-1,0			
	60°	+0,2	-0,5	-0,8	-0,7				

Tabela 7 - Coeficientes de pressão e de forma externos para telhados com duas águas, simétricos, de edificações de planta retangular.

Assim, para a inclinação de 22°:

θ	90°		0°	
	EF	GH	EG	FH
20°	-0,7	-0,5	-0,8	-0,6
22°	-0,6	-0,5	-0,8	-0,64
30°	-0,2	-0,5	-0,8	-0,8

$$\frac{30-20}{22-20} = \frac{-0,2-(-0,7)}{x-(-0,7)} \Rightarrow x = -0,6$$

$$\frac{30-20}{22-20} = \frac{-0,8-(-0,6)}{x-(-0,6)} \Rightarrow x = -0,64$$

Sendo:

$$F = (ce - ci) \cdot q \cdot A$$

Para vento a 90°, temos:

$$F = (-0,6 - (-0,2)) \cdot 498 \cdot 12,3$$

$$F = -2450,16 \text{ N}$$

$$F = -2,45 \text{ kN (sucção)}$$

Para vento a 0° , temos:

$$F = (-0,8 - (-0,2)) \cdot 498 \cdot 12,3$$

$$F = -3,7 \text{ kN (sucção)}$$

Considerando, para fins de cálculo, a pior situação de carregamento, define-se $F = -88,4 \text{ kN}$ (sucção), sendo $F = 0,30 \text{ kN/m}^2$.

Assim, a carga permanente do telhado acrescida da carga acidental e da carga acidental de vento é: $2,34 + 0,5 + 0,30 = 3,14 \text{ kN/m}^2$.

5.2.7. Cálculo da área de influência dos pilares

Para a estimativa da carga dos pilares não foi encontrada, na literatura, estimativa de carga por linhas de influência para estruturas em madeira, sendo considerada para esse trabalho, a estimativa de cálculo para estruturas em concreto. Nesse caso, LIBÂNIO (2007) indica o processo das áreas de influência, que consiste em dividir a área total do pavimento em áreas de influência relativas a cada pilar e, a partir daí, estimar a carga que cada um deve absorver.

Processo:

- 1) Dividir as distâncias entre os eixos de cada pilar em intervalos que varia entre $0,45.L$ e $0,55.L$ (sendo L a distância entre os pilares, nos eixos x e y), assim:
 - 1.1) $0,45.L$: pilar de extremidade e de canto, na direção de sua menor dimensão;
 - 1.2) $0,45.L$: pilar interno quando, na direção considerada, o vão consecutivo a seu carregamento superar em 20% o valor correspondente ao vão em questão;
 - 1.3) $0,55.L$: complementos dos vãos do caso anterior;
 - 1.4) $0,50.L$: pilar de extremidade e de canto, na direção de sua maior dimensão;
 - 1.5) $0,50.L$: pilar interno quando, na direção considerada, o vão consecutivo a seu carregamento diferirem menos de 20% do valor correspondente ao vão em questão.

Pela Figura 31:

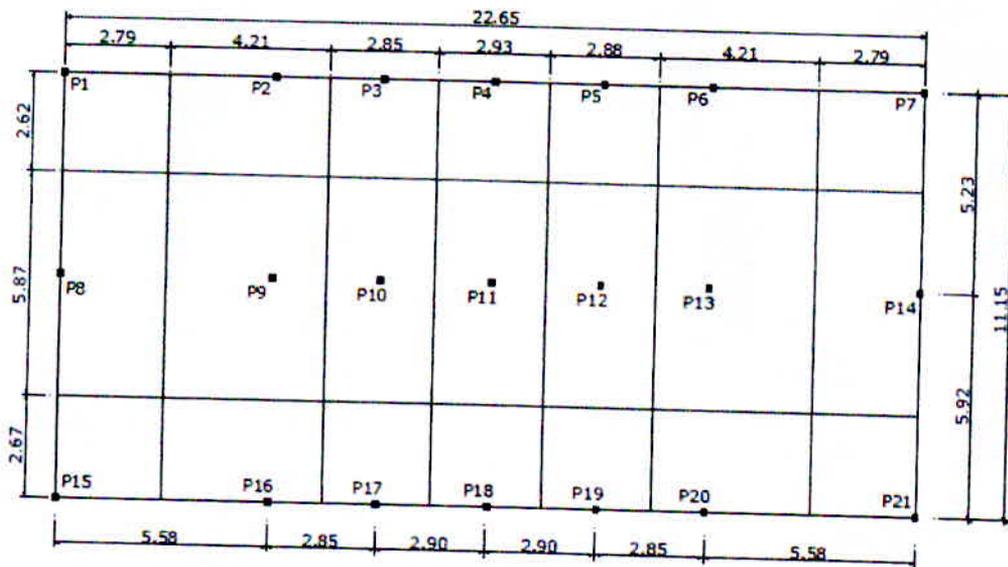


Figura 31: Áreas de influência do telhado da residência estudada (cotas em metro).

- ✓ $P1 = 2,79 \cdot 2,62 = 7,31 \text{ m}^2$
- ✓ $P2 = 4,21 \cdot 2,62 = 11,03 \text{ m}^2$
- ✓ $P3 = 2,85 \cdot 2,62 = 7,47 \text{ m}^2$
- ✓ $P4 = 2,93 \cdot 2,62 = 7,68 \text{ m}^2$
- ✓ $P5 = 2,88 \cdot 2,62 = 7,55 \text{ m}^2$
- ✓ $P6 = 4,21 \cdot 2,62 = 11,03 \text{ m}^2$
- ✓ $P7 = 2,79 \cdot 2,62 = 7,31 \text{ m}^2$
- ✓ $P8 = 5,87 \cdot 2,79 = 16,38 \text{ m}^2$
- ✓ $P9 = 5,87 \cdot 4,21 = 24,71 \text{ m}^2$
- ✓ $P10 = 5,87 \cdot 2,85 = 16,73 \text{ m}^2$
- ✓ $P11 = 5,87 \cdot 2,93 = 17,20 \text{ m}^2$
- ✓ $P12 = 5,87 \cdot 2,88 = 16,91 \text{ m}^2$
- ✓ $P13 = 5,87 \cdot 4,21 = 24,71 \text{ m}^2$
- ✓ $P14 = 5,87 \cdot 2,79 = 16,38 \text{ m}^2$
- ✓ $P15 = 2,67 \cdot 2,79 = 7,45 \text{ m}^2$
- ✓ $P16 = 2,67 \cdot 4,21 = 11,24 \text{ m}^2$
- ✓ $P17 = 2,67 \cdot 2,85 = 7,61 \text{ m}^2$
- ✓ $P18 = 2,67 \cdot 2,93 = 7,82 \text{ m}^2$

$$\checkmark P19 = 2,67 \cdot 2,88 = 7,69 \text{ m}^2$$

$$\checkmark P20 = 2,67 \cdot 4,21 = 11,24 \text{ m}^2$$

$$\checkmark P21 = 2,67 \cdot 2,79 = 7,45 \text{ m}^2$$

Para um carregamento $g = 2,34 \text{ kN/m}^2$ tem-se, para cada pilar:

Pilar	Área de Influência (m ²)	Carregamento (kN/m ²)
P1	7.31	23.0
P2	11.03	34.6
P3	7.47	23.5
P4	7.68	24.1
P5	7.55	23.7
P6	11.03	34.6
P7	7.31	23.0
P8	16.38	51.4
P9	24.71	77.6
P10	16.73	52.5
P11	17.2	54.0
P12	16.91	53.1
P13	24.71	77.6
P14	16.38	51.4
P15	7.45	23.4
P16	11.24	35.3
P17	7.61	23.9
P18	7.82	24.6
P19	7.69	24.1
P20	11.24	35.3
P21	7.45	23.4

5.2.8. Verificação dos pilares

Segundo PFEIL (2011), pilares são peças que podem estar sujeitas à compressão simples e à flexocompressão por ação de carga aplicada com excentricidade ou de um momento fletor oriundo de cargas transversais, em combinação com a carga axial de compressão.

A NBR 7190/1997 especifica dimensões mínimas construtivas para peças retangulares e a área mínima das respectivas seções transversais.

Para este trabalho foram realizadas as verificações nas seções de 20 x 20 cm,

preservando as dimensões dos pilares atuais e 15 x 15 cm, visando à redução da dimensão da seção e, assim, reduzir o gasto com a reforma/substituição dos pilares.

Para a verificação dos pilares foram realizados os cálculos apenas para o pilar que recebe o maior carregamento, dado que os demais pilares seguirão o mesmo padrão construtivo.

✓ 1ª Verificação

a) Geometria:

Pilar de madeira, 2ª categoria, dicotiledônea, Angelim Araroba, classe de resistência C-30, 20 x 20 cm, esforço atuante $N_k = 77,6$ kN.

- Área da seção: $A = b \cdot h = 20 \cdot 20 = 400 \text{ cm}^2$
- Momento de inércia: $I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{20 \cdot 20^3}{12} = 13333,4 \text{ cm}^4$

b) Propriedades mecânicas (Tabelas 8 e 9)

- Valor característico da resistência à compressão paralela as fibras: $f_c = 50,5$ Mpa
- Módulo de elasticidade: $E_c = 12876$ Mpa = 1287,6 kN/cm²
- Coeficiente de modificação: $K_{md} = 0,7 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,56$
- $F_{cmd} = 0,56 \cdot 0,7 \cdot \frac{50,5}{1,4} = 14,14$ Mpa = 1,42 kN/cm²

Nome comum (dicotiledôneas)	Nome científico	$\rho_{med,15}$ (Kg/m ³)	f_{d1} (MPa)	f_{d2} (MPa)	f_{d3} (MPa)	f_t (MPa)	E_{10} (MPa)	n
Angelim Araroba	<i>Vataireopsis araroba</i>	688	50,5	69,2	3,1	7,1	12876	15
Angelim Ferro	<i>Hymenolobium spp</i>	1170	79,5	117,8	3,7	11,8	20827	20
Angelim Pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i>	694	59,8	75,5	3,5	8,8	12912	39
Angelim Pedra Verdadero	<i>Dioszira excelsa</i>	1170	76,7	104,9	4,8	11,3	16694	12
Branquilha	<i>Terminalia spp</i>	803	48,1	87,9	3,2	9,8	13481	10
Galearana	<i>Andira spp</i>	677	59,1	79,7	3,0	5,9	14098	11
Canafistula	<i>Cassia ferruginea</i>	871	52,0	84,9	6,2	11,1	14613	12
Casca Grossa	<i>Vachysia spp</i>	801	56,0	120,2	4,1	8,2	16224	31
Castelo	<i>Gossypiospermum praecox</i>	759	54,8	99,5	7,5	12,8	11105	12
Cedro Amargo	<i>Cedrela odorata</i>	504	39,0	58,1	3,0	6,1	9839	21
Cedro Doce	<i>Cedrela spp</i>	500	31,5	71,4	3,0	5,6	8058	10
Champagne	<i>Dipteris odorata</i>	1090	93,2	133,5	2,9	10,7	23002	12
Cupruba	<i>Goupia glabra</i>	838	54,4	62,1	3,3	10,4	13627	33

Tabela 8 - Tabela E.1 - Valores médios de madeiras dicotiledôneas nativas e de florestamento (NBR 7190/1997).

Situações duradouras de projeto para carregamentos de longa duração ($k_{mod,1} = 0,7$) Madeira serrada (segunda categoria: $k_{mod,3} = 0,8$)	
Classes de umidade (1) e (2)	$k_{mod} = 0,7 \times 1,0 \times 0,8 = 0,56$
Classes de umidade (3) e (4)	$k_{mod} = 0,7 \times 0,8 \times 0,8 = 0,45$
$\gamma_{wc} = 1,4$ $\gamma_{wt} = 1,8$ $\gamma_{wv} = 1,8$	$f_{wN,k,12} = 0,70 f_{wN,m,12}$ $f_{wV,k,12} = 0,54 f_{wV,m,12}$ $f_{t2} = f_{t0,k} \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right]$
$f_{c0,d} = f_{c0,d}$ $f_{c90,d} = 0,25 f_{c0,d} \cdot \alpha_n$ $f_{e0,d} = f_{c0,d}$ $f_{e90,d} = 0,25 f_{c0,d} \cdot \alpha_e$ Coníferas: $f_{v0,d} = 0,12 f_{c0,d}$ Dicotiledóneas: $f_{v0,d} = 0,10 f_{c0,d}$	

Tabela 9 - Tabela 12 - Valores usuais para carregamentos de longa duração (NBR 7190/1997).

c) Característica da seção (Tabela 10)

$$I_{ef} = \varphi \cdot I = 0,85 \cdot 13333,4 = 11333,4 \text{ cm}^4$$

Classes de carregamento	Classes de umidade	
	(1) e (2)	(3) e (4)
Permanente ou de longa duração	0,8	2,0
Média duração	0,3	1,0
Curta duração	0,1	0,5

Tabela 10 - Tabela 15: coeficiente de fluência φ (NBR 7190/1997).

- Raio de giração para seção retangular:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{b \cdot h^3}{12 \cdot b \cdot h}} = \sqrt{\frac{h^2}{12}} \Rightarrow i = \frac{h}{\sqrt{12}}$$

$$i = \frac{20}{\sqrt{12}} \Rightarrow i = 5,78 \text{ cm}$$

- Índice de esbeltez: $\lambda = \frac{l_e}{i} = \frac{280}{5,78} \Rightarrow \lambda = 48,44 \Rightarrow 40 < \lambda < 80$ (medianamente esbelta – NBR 7190/1997).
- Módulo de resistência à flexão: $W_{ef} = \frac{I_{ef}}{x} = \frac{11333,4}{20/2} = 1133,34 \text{ cm}^3$

d) Combinação normal

$$N_d = 1,4 \cdot 77,6 = 108,64 \text{ kN}$$

e) Momento M_d

$$e_i = 0 \geq \frac{N_d}{A} = \frac{108,64}{400} = 0,27 \text{ cm}$$

$$e_a = \frac{L_0}{300} = \frac{280}{300} = 0,93 \text{ cm (excentricidade total mínima – NBR 7190/1997)}$$

$$e_1 = e_i + e_a = 0,27 + 0,93 = 1,20 \text{ cm}$$

$$F_E = \left(\frac{\pi}{L_0}\right)^2 \cdot E_c \cdot I_{ef} = \left(\frac{\pi}{280}\right)^2 \cdot 1287,6 \cdot 11333,4 = 1835,2 \text{ kN}$$

$$e_d = e_1 \cdot \left(\frac{F_E}{F_E - N_d}\right) = 1,20 \cdot \left(\frac{1835,2}{1835,2 - 108,64}\right) = 1,28 \text{ cm}$$

$$M_d = N_d \cdot e_d = 108,64 \cdot 1,28 = 139,06 \text{ kN.cm}$$

f) Tensões atuantes

$$\sigma_{Nd} = \frac{N_d}{A} = \frac{108,64}{400} = 0,27 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{tensão normal})$$

$$\sigma_{Md} = \frac{M_d}{W_x} = \frac{139,06}{1133,34} = 0,123 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{tensão de compressão devida ao momento fletor } M_d)$$

g) Verificação final

Segundo a NBR 7190/1997, considera-se atendida a condição de segurança relativa ao estado limite último de instabilidade, se no ponto mais comprimido da seção transversal for respeitada a condição:

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{cd}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{cd}} = \frac{0,27}{1,42} + \frac{0,123}{1,42} = 0,19 + 0,09 = 0,28 < 1,0 \quad (\text{verifica !!})$$

✓ **2ª Verificação**

a) Geometria:

Pilar de madeira, 2ª categoria, dicotiledônea, Angelim Araroba, classe de resistência C-30, 15 x 15 cm, esforço atuante $N_k = 77,6$ kN.

- Área da seção: $A = b \cdot h = 15 \cdot 15 = 225 \text{ cm}^2$
- Momento de Inércia: $I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{15 \cdot 15^3}{12} = 4218,8 \text{ cm}^4$

b) Propriedades mecânicas

- Valor característico da resistência à compressão paralela as fibras: $f_c = 50,5 \text{ Mpa}$
- Módulo de elasticidade: $E_c = 12876 \text{ Mpa} = 1287,6 \text{ kN/cm}^2$
- Coeficiente de modificação: $K_{md} = 0,7 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,56$
- $F_{cmd} = 0,56 \cdot 0,7 \cdot \frac{50,5}{1,4} = 14,14 \text{ Mpa} = 1,42 \text{ kN/cm}^2$

c) Característica da seção

$$I_{ef} = \alpha \cdot I = 0,85 \cdot 4218,8 = 3585,98 \text{ cm}^4$$

- Raio de giração para seção retangular:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{b \cdot h^3}{12}}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{h^2}{12}} \Rightarrow i = \frac{h}{\sqrt{12}}$$

$$i = \frac{15}{\sqrt{12}} \Rightarrow i = 4,33 \text{ cm}$$

- Índice de esbeltez: $\lambda = \frac{l_e}{i} = \frac{280}{4,33} \Rightarrow \lambda = 64,67 \Rightarrow 40 < \lambda < 80$ (medianamente esbelta)
- Módulo de resistência à flexão: $W_{ef} = \frac{I_{ef}}{x} = \frac{3585,98}{15/2} = 478,13 \text{ cm}^3$

d) Combinação normal

$$N_d = 1,4 \cdot 77,6 = 108,64 \text{ kN}$$

e) Momento M_d

$$e_i = 0 \geq \frac{N_d}{A} = \frac{108,64}{225} = 0,48 \text{ cm}$$

$$e_a = \frac{L_0}{300} = \frac{280}{300} = 0,93 \text{ cm}$$

$$e_1 = e_i + e_a = 0,48 + 0,93 = 1,41 \text{ cm}$$

$$F_E = \left(\frac{\pi}{L_0}\right)^2 \cdot E_c \cdot I_{ef} = \left(\frac{\pi}{280}\right)^2 \cdot 1287,6 \cdot 3585,98 = 580,7 \text{ kN}$$

$$e_d = e_1 \cdot \left(\frac{F_E}{F_E - N_d}\right) = 1,41 \cdot \left(\frac{580,7}{580,7 - 108,64}\right) = 1,73 \text{ cm}$$

$$M_d = N_d \cdot e_d = 108,64 \cdot 1,73 = 187,95 = 188 \text{ cm}$$

f) Tensões atuantes

$$\sigma_{Nd} = \frac{N_d}{A} = \frac{108,64}{225} = 0,48 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{tensão normal})$$

$$\sigma_{Md} = \frac{M_d}{W_x} = \frac{188}{3585,98} = 0,052 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{tensão de compressão devida ao momento fletor } M_d)$$

g) Verificação final

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{cd}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{cd}} = \frac{0,48}{1,42} + \frac{0,052}{1,42} = 0,34 + 0,037 = 0,38 < 1,0 \text{ (verifica !!)}$$

5.3. CAPÍTULO 3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Feitas as verificações para os pilares de dimensões 20 x 20 e 15 x 15, conclui-se que as duas seções resistem aos esforços solicitados, sendo adotados pilares de Angelim Araroba, classe de resistência C-30, 15 x 15 x 280 cm. De acordo com a análise realizada no Capítulo 1 deste trabalho define-se, para o projeto em questão, a locação de novos pilares nas paredes laterais da residência, com a finalidade de receberem as estruturas das tesouras do telhado e a substituição de todos os pilares já existentes (Figura 32).

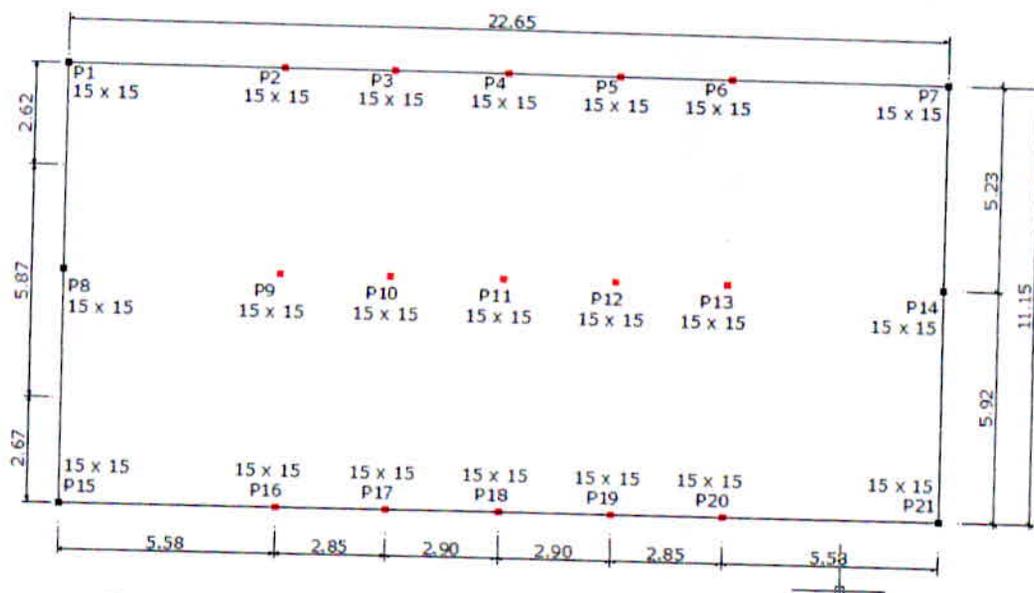


Figura 32: Pilares a serem locados para o recebimento das tesouras (vermelho) – cotas em metro.

6. CONCLUSÃO

A madeira, no ramo da construção civil traz muitos benefícios econômicos, sociais e ecológicos, contrariando o que se pensa de que pode gerar grande desmatamento. Ela é um material renovável e sua produção necessita de muito menos energia quando comparada com a produção do concreto e aço.

No que se refere aos custos, o uso de métodos construtivos diferentes pode ser tanto mais barato quanto mais caros, o que justifica, no trabalho em questão, a substituição ou o restauro das estruturas. Nesse sentido, alguns pontos devem ser respeitados para garantia da salvaguarda do patrimônio:

- ✓ A intervenção mínima deve ser sempre respeitada, lembrando que a substituição total deve ser evitada ao máximo;
- ✓ Deve-se estimular o conhecimento das técnicas tradicionais e a sua preservação, pois é um componente importante da conservação do patrimônio. Somente com esta preservação estará garantida a transmissão de conhecimentos através do tempo, como o uso de encaixes e ensambladuras artesanais;
- ✓ Indica-se a realização da avaliação da segurança estrutural, com análise da estabilidade;

- ✓ Realizar a prospecção na madeira com identificação anatômica para fins de estudo da resistência estrutural, para que no caso de uma substituição seja colocada uma madeira de espécie igual ou com melhores qualidades. Esta identificação é importante, igualmente, para fins de resgatar a valorização patrimonial na semelhança entre a espécie original e a do novo elemento.

Uma vistoria e o estudo estrutural adequado, realizado por um especialista em estruturas antigas de madeira, podem evitar intervenções significativas, que sempre são menos indicadas quando se trata de um patrimônio edificado.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190/1997 Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, ABNT, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123/1988 Normas de forças devido ao vento. Rio de Janeiro, ABNT, 1988.
- BRANDI, Cesare. **Teoria da Restauração**. Tradução: Beatriz Mugayar Kuhl. São Paulo: Ateliê Editorial, 2004.
- BRASIL, Douglas Rodriguez. **Utilização de estruturas de aço na recuperação de estruturas de madeira**. Faculdade de Engenharia Civil da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, 2008.
- BUMENSCHHEIN, R. N. **A Sustentabilidade na Cadeia Produtiva da Indústria da Construção**. Tese (Doutorado). Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, 2004.
- COSTA, Aníbal. **Metodologias de avaliação da segurança em construções tradicionais**, Portugal, 2010. Disponível em: <<http://reabilitar2010.inec.pt/pdf/curso/AnibalCosta.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2013.
- GELFI, P. et al. Stud shear connection design for composite concrete slab and wood beams. **Journal of Structural Engineering**, New York, v.128, n.5, p.1544-1550, 2002.
- MIOTTO, J.L.; DIAS, A.A. Reforço e recuperação de estruturas de madeira. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v.27, n. 2, p.163-174, 2006.
- MOLITERNO, Antônio. **Caderno de Projetos de telhados e estruturas de Madeira**. 3ª Edição, São Paulo: Edgard Blucher, 2009
- NOLASCO, Ney Ribeiro. **Cadernos Ofícios – Alvenaria**. Ouro Preto, FAOP, 2008.
- PESSÔA, José (Org.). **Lucio Costa: documentos de trabalho**. Rio de Janeiro: IPHAN, 1999.
- PFEIL, Walter. Estruturas de madeira: dimensionamento segundo a norma brasileira NBR 7190/97. 6ª Edição, Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- RIBEIRO, Rosina Trevisan M.. Patologias nas Construções Históricas. In: **Conservação e Restauro: Arquitetura**, Márcia Braga (Org.). Rio de Janeiro, 2004.
- SAHADE, R.F. **Avaliação de sistemas de recuperação de fissuras em alvenaria de vedação**. 2005.188f. Dissertação (Mestre em Habitação). Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2005.

VASCONCELLOS, Sylvio. **Arquitetura no Brasil: sistemas construtivos**. Belo Horizonte: FAU/UFMG, 1979.