ENGPRO
arquitetura e
engenharia

MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO EXECUTIVO PARA COBERTURA - 3° BATALHÃO DE OP LIT DE FUZILEIROS NAVAIS – NATAL/RN

MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO EXECUTIVO PARA COBERTURA - 3º BATALHÃO DE OP LIT DE FUZILEIROS NAVAIS – NATAL/RN

RESUMO:
ELABORAÇÃO DO PROJETO DE ENGENHARIA PARA REFORMA DA COBERTURA DA GARAGEM/OFICINA DE VIATURAS DO 3º BATALHÃO DE OPERAÇÕES LITORÂNEAS DE FUZILEIROS NAVAIS (3ºBTLOPLITFN).

TERMO DE REFERÊNCIA Nº 46/2026

CONTRATADA:
ENGPRO SERVIÇOS E SOLUÇÕES EM ENGENHARIA LTDA
CNPJ: 29.175.021/0001-20
AV. ROMUALDO GALVÃO, 2109, SALA 409 – LAGOA NOVA – NATAL/RN – CEP: 59056-165
TELEFONE (84) 99139-5160 – E-MAIL: ENGPROSOLUCOES@GMAIL.COM

ENGPRO
arquitetura e engenharia

PROJETO:	CLIENTE:
3º BATALHÃO DE OPERAÇÕES LITORÂNEAS DE FUZILEIROS NAVAIS (3ºBTLOPLITFN)	CENTRO DE INTENDENCIA DA MARINHA EM NATAL CNPJ: 00.394.502/0397-84
ENDEREÇO DA OBRA:	ART/RRT:
RUA SILVIO PELICO SN. ALECRIM. NATAL/RN CEP: 59.040-150	RN20260927299

DISCIPLINA:	CONTEÚDO:	DATA:
ESTRUTURAL	MEMORIAL DESCRITIVO	31/07/2026

ETAPA:	RESPONSABILIDADE TÉCNICA:	REVISÃO:	ÁREA CONST.:
PROJETO EXECUTIVO (PE)	FERDINANDO SILVA ENGENHRIO CIVIL CREA-RN: 211641256-0	R03	743,89m²

GERENTE DE PROJETOS:	EQUIPE DE DESENVOLVIMENTO:
RAPHAEL ALEXANDRE ENGENHEIRO CIVIL CREA: 211091223-4	FERDINANDO SILVA ENG. CALCULISTA JOÃO BERNARDO | IAN FRONZA

ESTÉ DOCUMENTO É PROTEGIDO PELA LEI N°9.610/98, QUE REGULA OS DIREITOS AUTORAIS DO BRASIL. QUALQUER REPRODUÇÃO, DISTRIBUIÇÃO OU UTILIZAÇÃO NÃO AUTORIZADA DESTE CONTEÚDO ESTÁ ESTRITAMENTE PROIBIDA E PODE RESULTAR EM SANÇÕES CIVIS E CRIMINAIS.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 4
2. COMPONENTES DO PROJETO 4
3. NORMATIZAÇÃO DE CONSULTA 4
4. VISITA DE CAMPO 4
5. ESTRUTURA EXISTENTE 5
6. ANÁLISE ESTRUTURAL E DIMENSIONAMENTO 9
7. ESTIMATIVA DE CRONOGRAMA E DATAS PARA ENTREGAS 10
8. PARÂMETROS DA CONCEPÇÃO DO PROJETO 10
9. MEMÓRIA DE CÁLCULO DE ENTALHAMENTO DE APOIOS 14
10. MEMÓRIA DE LIGAÇÃO ENTRE TERÇAS 18
11. DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES PARAFUSADAS 19

1. INTRODUÇÃO

Este memorial refere-se ao dimensionamento e desenvolvimento de projetos de uma estrutura para cobertura para edificação térrea localizada em Natal-RN.

2. COMPONENTES DO PROJETO

Além deste Memorial descritivo, integram o projeto documentos técnicos complementares, dentre os quais se destacam: as plantas com desenhos orientativos de como os elementos estruturais devem ficar depois de prontos, quais materiais devem ser utilizados, e suas respectivas quantidades.

O projeto contempla também o cálculo estrutural, caracterização da estrutura adotada, premissas observadas in loco, recomendações de bom funcionamento, orçamento para realização da obra.

3. NORMATIZAÇÃO DE CONSULTA

- ABNT NBR 6120:2019 Versão Corrigida:2019 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações.
- ABNT NBR 7190:2022 Projeto de Estruturas de Madeira

4. VISITA DE CAMPO

A visita técnica realizada no Galpão dos Fuzileiros Navais, com foco na análise preliminar da cobertura existente e na avaliação das intervenções necessárias à sua reforma. O galpão possui área aproximada de 754 m^2 (38,15x19,75) e encontra-se subdividido internamente entre os setores de garagem e mecânica de veículos, além de uma academia de musculação utilizada pelos marinheiros. A intervenção prevista consiste na substituição do sistema de cobertura atual, incluindo a troca do tipo de telha e a possível substituição dos elementos estruturais que compõem a cobertura, tais como terças, tesouras e demais componentes de apoio.

Atualmente, a cobertura é composta por estrutura em madeira, formada por tesouras do tipo Howe, sistema estrutural caracterizado pela presença de diagonais tracionadas e montantes comprimidos. O material de vedação da cobertura existente é composto por telhas cerâmicas do tipo colonial, cuja substituição está prevista, a princípio, por telhas de fibrocimento. Essa alteração tende a resultar em uma nova configuração geométrica para o telhado, especialmente em função das menores inclinações usualmente adotadas para esse tipo de telha.

5. ESTRUTURA EXISTENTE

O galpão possui estrutura principal composta por pilares em concreto armado e sistema de cobertura em tesouras de madeira. Em seu pórtico típico, foram identificadas duas tesouras principais, ambas com geometria em duas águas, formando uma calha central entre os panos de cobertura. A calha central é sustentada por pilares internos, os quais não se encontram alinhados aos pilares externos da edificação. Conforme medição realizada in loco, os pilares internos possuem seção aproximada de 28 x 28 cm, enquanto os pilares externos apresentam dimensão aparente de 75 x 75 cm.

Apesar da dimensão observada nos pilares externos, foi identificado em campo um relevo em sua superfície, indicando a possibilidade de que parte dessa espessura, estimada em aproximadamente 25 cm para o interior da edificação, corresponda a fechamento em alvenaria, sem função estrutural. Dessa forma, recomenda-se que essa condição seja confirmada em etapa posterior, por meio de inspeção complementar, prospecção localizada ou análise dos projetos estruturais existentes, caso disponíveis. Os pilares internos aparentam ser elementos pré-moldados e desempenham função estrutural relevante no sistema de cobertura, servindo de apoio à calha central e às duas tesouras principais por meio de seus capitéis, em ambos os lados. O outro apoio das tesouras ocorre sobre a viga que interliga os pilares externos.

Em razão da falta de alinhamento entre os pilares internos e externos, a transferência de cargas da cobertura não ocorre de forma diretamente coincidente entre os apoios centrais e periféricos, sendo necessária atenção especial à análise do caminho das cargas, à verificação das vigas de apoio e à compatibilidade estrutural da solução proposta para a reforma da cobertura. As medidas internas foram tiradas apenas da região da garagem já que a academia, que faz parte do galpão, não pode ser medida internamente. Apesar disso suas dimensões foram estimadas para a realização do croqui.



Conforme verificado em campo, alguns vãos identificados entre os elementos estruturais da cobertura não apresentam padronização. Essa variação pode estar relacionada a imprecisões na execução da obra original ou, ainda, a possíveis divergências pontuais decorrentes do processo de medição em campo.

Para fins de cálculo e dimensionamento, caso não seja possível confirmar com precisão todos os vãos entre tesouras e apoios, será adotada a padronização com base na dimensão mais recorrente constatada durante o levantamento, de modo a garantir coerência técnica e uniformidade na análise estrutural. Durante a vistoria, foi observado que os elementos de madeira das tesouras apresentam sinais de desgaste decorrentes da ação do tempo. Também foram identificados pontos de atenção na cobertura, incluindo fissurações em elementos de madeira e rompimento pontual de terças internas.



A princípio, será considerada a substituição total dos elementos de madeira que compõem a cobertura. Entretanto, caso seja constatado que determinados componentes da estrutura existente apresentam condições adequadas de conservação e resistência, poderá ser indicada sua reutilização, desde que atendam aos requisitos de segurança, desempenho e resistência previstos em projeto. Essa definição deverá ser realizada ao longo do processo de análise e dimensionamento estrutural, considerando critérios técnicos, estado de conservação dos materiais, viabilidade de reaproveitamento e eventual redução de custos para a execução da reforma. Além dos elementos do telhado, foram constatadas outras patologias nos elementos de concreto armado como trincas e desagregação do concreto.





6. ANÁLISE ESTRUTURAL E DIMENSIONAMENTO

Devido à dificuldade de movimentação e possível interferência com os elementos de alvenaria do fechamento frontal, o dimensionamento da nova cobertura deverá manter, a princípio, a altura e a inclinação do telhado existente. Dessa forma, a intervenção deverá considerar a substituição do carregamento proveniente das telhas atuais, compostas por

telhas cerâmicas do tipo colonial, pelo novo carregamento correspondente às telhas de fibrocimento, que apresentam peso próprio relativamente inferior.

Essa premissa permite reduzir alterações na geometria da cobertura e minimizar interferências nos fechamentos existentes, contribuindo para uma solução de reforma mais compatível com a configuração atual da edificação.

7. ESTIMATIVA DE CRONOGRAMA E DATAS PARA ENTREGAS

- DIA 15/07/2026 – Data para apresentação da Concepção Inicial modelada.

Com a entrega dessa concepção inicial, os agentes por parte do contratante poderão analisar a ideia inicial e elaborar questionamentos.

Com uma possível aprovação do modelo criado, então, o próximo passo será o detalhamento do projeto e confecção do Memorial descritivo de cálculo e recomendações construtivas, assim como a elaboração do Orçamento/Cronograma de Obra.

Em sendo aprovado o modelo, espera-se que em aproximadamente 15 dias úteis a entrega do restante da documentação.

- DIA 05/08/2026 – Data para entrega da documentação restante do projeto.

8. PARÂMETROS DA CONCEPÇÃO DO PROJETO

8.1 PARÂMETROS RESTRITIVOS A SEREM OBSERVADOS NO ATO DA CONCEPÇÃO:

1- A estrutura existe da Calha Central deveria ser preservada integralmente.
2- Mudança da tipificação do Telhado, adotando a utilização da telha de fibrocimento e descartando a telha colonial.
3- Preservação da estrutura de concreto armado existente. Esta estrutura é o elemento basilar para o suporte da cobertura.
4- Preservação dos Eixos Teóricos de Alinhamento das Tesouras Existentes.

8.2 PARÂMETROS DA ANÁLISE DE VENTOS

Para fins de dimensionamento e verificação estrutural da cobertura, foram adotados parâmetros geométricos, de ações de vento e de carregamento permanente, com base em levantamento de campo e nas características locais do empreendimento situado na **Rua Marcílio Dias, 120–138, Quintas, Natal/RN**.

Quanto às ações de vento, considerou-se **velocidade básica (mapa de isopletas) de 30 m/s**. Para caracterizar o terreno, adotou-se os coeficientes de : **S1 = 1,0** (terreno plano ou fracamente acidentado), **S2 = 0,98** (Categoria I – superfícies lisas de grandes dimensões) e **S3 = 1,10** (Grupo 1 – edificações cuja ruína pode afetar a segurança/socorro). Na

determinação da velocidade característica, **modelo de campo** resultando em **Vk0 ≈ 33,0 m/s**.

A partir desses parâmetros, obteve-se a **pressão característica de vento** sobre as faces da edificação de **0,64 kN/m² (campo)**.

8.3 PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

Sobre a caracterização da edificação, ela apresenta **planta aproximada de 38,15 m × 19,40 m** e **altura total de 6,55 m**, com **angulação estimada do banzo superior de ~28°**. O sistema estrutural é modulado com **distanciamento médio entre pórticos de 3,80 m**, mantido para preservar a geometria existente. A **fachada frontal** é composta por base retangular e topo triangular; a **elevação lateral** possui base e topo retangulares, com cobertura inclinada. A altura foi decomposta em **4,35 m** (base frontal reta) e **2,20 m** (montante central).

Por questão de proximidade com ambiente de alta salinidade, evitou-se o de elementos metálicos para estruturação do elemento principal de suporte (tesouras). E optou-se por preservar a tipologia do material a ser aplicado na estrutura da cobertura, madeira de lei. E com base em pesquisa de mercado regional de Natal-RN, encontra-se com certa facilidade madeiras de várias classes de resistência e deste modo, mostrando-se a concepção inicial do projeto que está em linha com a realidade do mercado local. Esta concepção leva em consideração o uso da madeira **Angelim Vermelho** (**Classe D-60**) de nome científico **Dinizia Excelsa.**

Para os carregamentos permanentes (peso próprio) dos elementos estruturais, foram considerados os seguintes perfis retangulares: **banzo inferior 20,0 × 8,0 cm**, **banzo superior 17,5 × 8,0 cm**, **diagonais 15,0 × 8,0 cm**, **montantes 20,0 × 9,0 cm** e **terças 15,0 × 8,0 cm**.

O peso próprio de cada peça foi obtido pelo produto entre sua área de seção transversal, comprimento e peso específico da madeira. A soma dos pesos individuais resultou em um peso próprio total da estrutura de aproximadamente 4,24 kN.

ELEMENTO	Dim. A	Dim. B	Peso/m³ (Normativo)	Carga Linear	Comp. Peça	Carga da Peça
B. SUPERIOR	0,175 m	0,080 m	10,00 kN/m³	0,14 kN/m	9,50 m	1,33 kN
B. INFERIOR	0,200 m	0,080 m	10,00 kN/m³	0,16 kN/m	9,22 m	1,48 kN
DIAGONAL	0,15 m	0,080 m	10,00 kN/m³	0,12 kN/m	4,00 m	0,48 kN
MONTANTE	0,200 m	0,090 m	10,00 kN/m³	0,18 kN/m	2,20 m	0,40 kN
TERÇA	0,15 m	0,080 m	10,00 kN/m³	0,12 kN/m	4,67 m	0,56 kN
			P. Próprio / Tesoura	0,72 kN/m	Carga Total	4,24 kN

CARRREGAMENTOS POR ÁREA				
MATERIAL TELHA	0,60 kN/m²	α TESOURA	28 º	0,68 kN/m²
VENTO				0,64 kN/m²
ACIDENTAL				1,00 kN/m²

8.4 CARGAS PERMANENTES

A carga permanente referente à cobertura foi determinada considerando a utilização de telhas cerâmicas do tipo colonial, cujo peso característico é de 0,60 kN/m². Em função da inclinação do telhado, essa carga foi corrigida para atuar sobre a projeção horizontal da estrutura, resultando em uma carga distribuída equivalente de 0,68 kN/m².

8.5 SOBRECARGA DE UTILIZAÇÃO

A sobrecarga de utilização foi adotada conforme a ABNT NBR 6120 – Ações para o Cálculo de Estruturas, considerando coberturas com acesso restrito para inspeção e manutenção. Para essa condição, foi utilizada uma carga acidental de 1,00 kN/m², aplicada uniformemente sobre a cobertura.

8.6 COMBINAÇÃO DE AÇÕES

As ações permanentes e variáveis foram combinadas conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 8681 – Ações e Segurança nas Estruturas, sendo posteriormente convertidas em cargas nodais equivalentes e aplicadas nos nós da tesoura para a análise estrutural e o dimensionamento dos elementos.

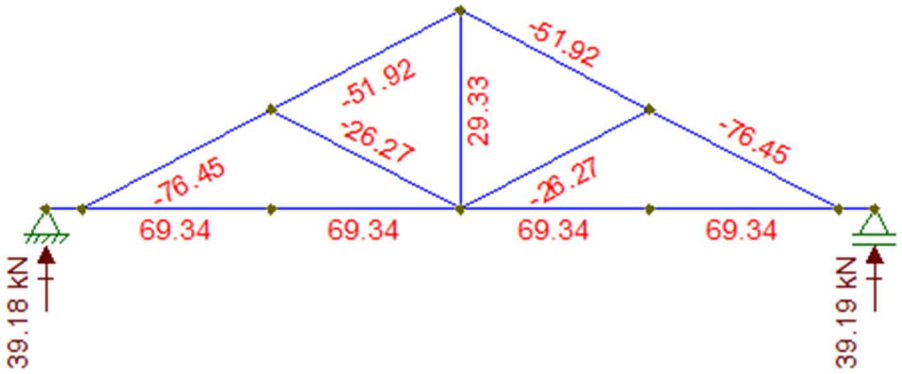
Para o dimensionamento da estrutura foram analisadas três combinações de carregamentos, considerando o peso próprio, as cargas permanentes, a sobrecarga de utilização e a ação do vento. Foi adotada a combinação que resultou nos maiores esforços solicitantes, garantindo a condição mais desfavorável para o dimensionamento da estrutura.

$$Comb.1 = 1{,}3 * Ppróprio + 1{,}4 * Qpermanente + 1{,}5 * Qvariável + 1{,}4 * 0{,}6 * Qvento$$

$$Comb.2 = 1{,}3 * Ppróprio + 1{,}4 * Qpermanente + 1{,}5 * 0{,}8 * Qvariável + 1{,}4 * Qvento$$

$$Comb.3 = Ppróprio + Qpermanente + 0{,}6 * Qvariável$$

A combinação mais crítica foi a Combinação 2, por apresentar os maiores esforços solicitantes na estrutura. Nessa condição, foram obtidas cargas nodais de 19,59 kN nos nós centrais e de 9,80 kN nos nós de extremidade da tesoura. Esses carregamentos foram adotados na análise estrutural e no dimensionamento dos elementos da treliça, por representarem a situação mais desfavorável do ponto de vista da segurança. Resultando nos esforços abaixo:



8.7 PARÂMETROS RELACIONADOS À ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO

Para que essa estrutura nova desempenhe adequadamente e com segurança, é condição necessária que os apoios existentes (estrutura de concreto armado onde a cobertura será fixada/apoiada) estejam íntegros e com capacidade resistente compatível com as ações que serão transferidas.

Ainda que as telhas de fibrocimento sejam, em geral, um sistema de cobertura de concepção simples, o conjunto “telhas + terças/apoios + elementos de fixação” introduz e transmite à estrutura existente ações permanentes e variáveis, tais como:

1- Peso próprio da nova estrutura (perfis, terças, contraventamentos, fixadores e acessórios);
2- Peso próprio das telhas de fibrocimento e de arremates (cumeeiras, rufos, calhas, pingadeiras);
3- Ações de vento (pressão e sucção), que podem gerar esforços significativos de arrancamento e solicitações nos pontos de ancoragem;
4- Sobrecargas de manutenção, conforme uso previsto para inspeções e intervenções na cobertura;
5- Ações adicionais associadas a acúmulo de água por eventual empoçamento, caso haja deformações nos apoios ou irregularidades geométricas.

Dessa forma, a segurança global do sistema não depende apenas do dimensionamento correto da estrutura nova, mas também da integridade do substrato de apoio.

Patologias típicas em estruturas de concreto armado — como fissuração relevante, desplacamento do cobrimento, armaduras expostas/corroídas, infiltrações recorrentes, carbonatação e deformações excessivas — podem comprometer a capacidade de ancoragem, reduzir a resistência local e alterar o caminho de transmissão das cargas. Nessas condições, ainda que a estrutura da cobertura esteja corretamente dimensionada, podem ocorrer falhas por arrancamento de chumbadores, ruptura local do concreto, perda de aderência, além de problemas de desempenho (desníveis, aberturas de vedação e infiltrações).

Em especial para coberturas em telha de fibrocimento, é fundamental garantir apoios alinhados e estáveis, pois deformações nos pontos de apoio podem resultar em quebra de telhas, falhas em sobreposições e arremates, e perda de estanqueidade. Assim, a aptidão do concreto armado existente como base de apoio é premissa para o desempenho esperado do sistema de cobertura.

Por este motivo, antes da execução da estrutura nova, é recomendável que o contratante providencie (ou que seja apresentado) um parecer/vistoria técnica sobre as condições da estrutura de concreto armado existente, confirmando:

1- Integridade dos elementos de apoio (vigas, lajes, platibandas, cintas e/ou pontos de ancoragem);
2- Ausência de patologias ativas que reduzam a capacidade resistente;
3- Condições adequadas para fixação (distâncias de borda, espessuras, qualidade do concreto e detalhamento de armaduras, quando aplicável);
4- Compatibilidade geométrica (níveis, prumos e alinhamentos) para recebimento da nova cobertura.

Caso sejam identificadas não conformidades, eventuais reparos, recuperação ou reforço da estrutura de concreto armado existente deverão ser tratados previamente à instalação da cobertura, por profissional habilitado responsável por essa etapa.

9. MEMÓRIA DE CÁLCULO DE ENTALHAMENTO DE APOIOS

O dimensionamento da ligação por entalhamento foi desenvolvido considerando as propriedades mecânicas da madeira obtidas a partir da resistência característica da espécie adotada. Conforme estabelece a ABNT NBR 7190, as resistências utilizadas no projeto devem

ser reduzidas por meio de coeficientes de modificação e coeficientes parciais de segurança, de modo a representar adequadamente as condições reais de utilização da estrutura.

A peça analisada possui largura de 8,0 cm e altura de 17,5 cm, sendo solicitada por uma força normal de compressão de projeto igual a 66,0 kN. O esforço é transmitido através de um plano inclinado formando um ângulo de 27° em relação às fibras da madeira. Como critério construtivo, foi adotada profundidade mínima de entalhe igual a 2,0 cm, enquanto a profundidade máxima admissível foi limitada a um quarto da altura da seção transversal, resultando em 4,38 cm, conforme recomendação da ABNT NBR 7190.

Foi adotada resistência característica à compressão paralela às fibras igual a 6,00 kN/cm², servindo como parâmetro para obtenção das demais propriedades resistentes da madeira. A partir desse valor foram determinadas as resistências de cálculo à compressão paralela, compressão perpendicular, tração paralela e cisalhamento, utilizadas em todas as verificações subsequentes.

Tabela 2 – Classes de resistência de espécies de florestas nativas definidas em ensaios de corpos de prova isentos de defeitos

Classes	f_{c0k} MPa	$f_{v0,k}$ MPa	$E_{c0,med}$ MPa	Densidade a 12 % kg/m³
D20	20	4	10 000	500
D30	30	5	12 000	625
D40	40	6	14 500	750
D50	50	7	16 500	850
D60	60	8	19 500	1 000
NOTA 1	Os valores desta Tabela foram obtidos de acordo com a ABNT NBR 7190-3.			
NOTA 2	Valores referentes ao teor de umidade igual a 12 %.			
NOTA 3	Os valores das classes de resistência para espécies nativas estão disponíveis na ABNT NBR 7190-3:2022, Tabela A.1.			

Inicialmente foram determinadas as resistências de cálculo da madeira, considerando os coeficientes de modificação previstos pela ABNT NBR 7190. Para isso foram adotados os coeficientes k_{mod1} = 0,60 e k_{mod2} = 0,80, cujo produto resulta em um coeficiente global de modificação igual a 0,48. Esse fator representa a influência das condições de carregamento e da classe de umidade sobre a resistência da madeira.

Tabela 4 – Definição de classes de carregamento e valores de k_{mod1}

Classes de carregamento	Ação variável principal da combinação		Tipos de madeira	
	Duração acumulada	Ordem de grandeza da duração acumulada da ação característica	Madeira serrada Madeira roliça Madeira lamelada colada (MLC) Madeira lamelada colada cruzada (MLCC) Madeira laminada colada (LVL)	Madeira recomposta
Permanente	Permanente	Mais de dez anos	0,60	0,30
Longa duração	Longa duração	Seis meses a dez anos	0,70	0,45
Média duração	Média duração	Uma semana a seis meses	0,80	0,65
Curta duração	Curta duração	Menos de uma semana	0,90	0,90
Instantânea	Instantânea	Muito curta	1,10	1,10

Tabela 5 – Valores de k_{mod2}

Classes de umidade	Madeira serrada Madeira roliça Madeira lamelada colada (MLC) Madeira lamelada colada cruzada (MLCC) Madeira laminada colada (LVL)	Madeira recomposta
(1)	1,00	1,00
(2)	0,90	0,95
(3)	0,80	0,93
(4)	0,70[a]	0,90

[a] Não é permitido o uso do MLCC para classe de umidade (4).

O dimensionamento do entalhe foi realizado considerando a resistência da madeira à compressão, tração e cisalhamento, conforme os critérios da ABNT NBR 7190. Inicialmente foram determinadas as resistências de cálculo da madeira, obtendo-se a resistência à compressão paralela às fibras de 2,057 kN/cm², à tração paralela às fibras de 0,916 kN/cm², ao cisalhamento paralelo às fibras de 0,2057 kN/cm² e à compressão perpendicular às fibras de 0,514 kN/cm². A partir desses valores, foi calculada a resistência à compressão inclinada às fibras para o ângulo de 27°, resultando em 1,271 kN/cm².

Considerando o esforço atuante de 66 kN na região do entalhe, foi determinada inicialmente a área resistente disponível, resultando em 35,91 cm², gerando uma tensão de compressão inclinada de cálculo de 1,838 kN/cm². Como essa tensão é superior à resistência da madeira à compressão inclinada, verificou-se que a área existente não era suficiente para resistir ao esforço aplicado, sendo necessário aumentar a área de contato do entalhe.

A partir da resistência disponível da madeira, foi calculada a área resistente necessária de 51,92 cm², correspondente a uma profundidade de entalhe de aproximadamente 6 cm. Entretanto, esse valor ultrapassa o limite máximo recomendado para a redução da seção da peça, podendo comprometer a resistência do elemento. Dessa forma, optou-se pela adoção de dois entalhes com profundidade de 4 cm cada, aumentando a área de contato e mantendo a integridade da seção de madeira.

Após a definição dos dois entalhes, foi verificada também a resistência ao cisalhamento na região de apoio. Para um comprimento adotado de 30 cm, a tensão de cisalhamento calculada foi de 0,247 kN/cm², valor superior à resistência da madeira ao cisalhamento (0,2057 kN/cm²). Portanto, o comprimento de apoio precisou ser aumentado, sendo recalculado para 36 cm, garantindo que a tensão de cisalhamento permanecesse dentro do limite resistente da madeira.

Assim, a solução final adotada consiste em uma ligação com dois entalhes de 4 cm de profundidade e comprimento de apoio de 36 cm, proporcionando área suficiente para resistir aos esforços de compressão inclinada e cisalhamento, sem comprometer a seção resistente da peça de madeira.

Verificação Estrutural	Solicitação (σd / τd)	Resistência (fd)	Taxa de Utilização	Resultado
Compressão Inclinada (Entalhe Único e = 4,0 cm)	1,838 kN/cm²	1,271 kN/cm²	144,6%	REPROVADO
Compressão Inclinada (Entalhe Duplo e = 2 × 4,0 cm)	0,919 kN/cm²	1,271 kN/cm²	72,3%	APROVADO
Cisalhamento Paralelo (L = 30 cm)	0,247 kN/cm²	0,2057 kN/cm²	120,1%	REPROVADO
Cisalhamento Paralelo (Ladotado = 36 cm)	0,2042 kN/cm²	0,2057 kN/cm²	99,3%	APROVADO

RECOMENDAÇÕES CONSTRUTIVAS

A análise da ligação por entalhamento segundo os critérios da norma ABNT NBR 7190 conduz às seguintes especificações de projeto:

Geometria do Entalhe: Adotar a configuração com entalhe duplo (dois dentes), cada qual com profundidade e = 4,0 cm. Isso garante a limitação e ≤ emáx = 4,38 cm (h/4) e fornece área de compressão inclinada total de 71,82 cm², atendendo com folga à área necessária de 51,92 cm².

Comprimento do Salto ao Cisalhamento: Executar o comprimento do salto com Ladotado = 36,0 cm, garantindo que a tensão solicitante de cisalhamento (τd = 0,2042 kN/cm²) seja inferior à resistência de cálculo da madeira (fv,0,d = 0,2057 kN/cm²).

Execução das Tendas: Os dentes do entalhe duplo devem ser executados com precisão para garantir a transferência simultânea e uniforme de carga em ambos os planos de contato.

10. MEMÓRIA DE LIGAÇÃO ENTRE TERÇAS

Para o dimensionamento das terças da cobertura proposta, foram consideradas as ações permanentes provenientes do peso das telhas de fibrocimento, o peso próprio da terça de madeira, a sobrecarga de utilização e a ação do vento, conforme os critérios estabelecidos pelas normas técnicas vigentes. A cobertura será composta por telhas onduladas de fibrocimento com espessura de 8 mm, sendo adotado um peso característico de 0,24 kN/m². Considerando a inclinação do telhado, essa carga foi corrigida para atuar sobre a projeção horizontal da cobertura, resultando em uma carga permanente equivalente de 0,27 kN/m². Para o espaçamento entre terças adotado de 1,20 m, a carga proveniente das telhas foi convertida em carga linear, resultando em 0,324 kN/m atuando sobre cada terça.

Também foi considerado o peso próprio da terça de madeira, composta por uma seção transversal de 15,0 × 8,0 cm e peso específico da madeira de 10,0 kN/m³, resultando em uma carga adicional de aproximadamente 0,12 kN/m. A sobrecarga de utilização foi adotada conforme a ABNT NBR 6120 – Ações para o Cálculo de Estruturas, considerando cobertura com acesso restrito destinada apenas à inspeção e manutenção, sendo utilizada uma carga acidental de 1,00 kN/m², que corresponde a uma carga linear de 1,20 kN/m sobre cada terça.

A ação do vento foi determinada conforme os critérios da ABNT NBR 6123 – Forças Devidas ao Vento em Edificações, sendo adotada uma pressão equivalente de 0,64 kN/m². Considerando o espaçamento entre terças de 1,20 m, essa ação foi convertida em uma carga linear de aproximadamente 0,77 kN/m. Dessa forma, considerando simultaneamente o peso das telhas, o peso próprio da terça, a sobrecarga de utilização e a ação do vento, a carga total característica atuante sobre cada terça da cobertura proposta resulta em aproximadamente 2,41 kN/m, valor utilizado como referência para as verificações estruturais do elemento.

A análise estrutural forneceu os esforços solicitantes característicos de 88,0 kN de esforço normal e 6,60 kN.m de momento fletor. Para o dimensionamento dos elementos estruturais, esses valores foram convertidos em esforços de cálculo mediante a aplicação dos coeficientes de ponderação das ações, conforme os critérios da ABNT NBR 8681. Assim,

foram considerados esforços de cálculo de aproximadamente 123 kN de compressão axial para as verificações de resistência e estabilidade da terça.

A ligação da terça foi dimensionada considerando um esforço de tração atuante de 123 kN, utilizando uma peça de madeira com seção transversal de 8 × 15 cm, densidade característica da madeira igual a 850 kg/m³ e uma ligação composta por 4 parafusos de diâmetro 10 mm, instalados com inclinação de 63° em relação às fibras da madeira. A resistência da ligação foi avaliada considerando a capacidade de embutimento da madeira ao redor dos parafusos, levando em conta a densidade da espécie adotada e as dimensões da peça de madeira.

A partir das propriedades da madeira, foi determinada a resistência de cálculo ao embutimento, obtendo-se o valor de 44,81 MPa. Com esse parâmetro, juntamente com o diâmetro dos parafusos e a espessura resistente da peça de madeira na face de fixação, foi obtida uma resistência aproximada de 35,85 kN por parafuso para a condição de referência. Como os parafusos possuem inclinação de 63° em relação às fibras, foi considerada a influência da direção do elemento de ligação, resultando em uma capacidade resistente aproximada de 39,97 kN por parafuso.

Considerando a utilização de quatro parafusos de Ø10 mm, a resistência total da ligação é de aproximadamente 159,9 kN, valor superior ao esforço de tração solicitante de 123 kN. Dessa forma, a ligação apresenta capacidade suficiente para resistir ao carregamento aplicado, com margem de segurança adequada.

O entalhe tem como finalidade aumentar a eficiência da ligação entre as peças de madeira, permitindo que parte do esforço de 123 kN seja transmitida diretamente pelo contato entre as superfícies de madeira, por meio da compressão inclinada às fibras. Dessa forma, reduz-se a concentração de esforços nos parafusos e melhora-se a estabilidade da ligação.

A profundidade do entalhe deve ser limitada para não comprometer a seção resistente da peça, evitando falhas por esmagamento, cisalhamento ou fendilhamento da madeira. Os parafusos atuam de forma complementar, mantendo as peças unidas e resistindo aos esforços de separação e deslocamentos. Assim, a ligação trabalha em conjunto pelo apoio do entalhe e pela fixação mecânica dos parafusos, garantindo a segurança estrutural.

11. DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES PARAFUSADAS

O dimensionamento das ligações parafusadas foi realizado conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 7190, adotando-se parafusos de aço ASTM A307 com diâmetro

de 16 mm. A resistência de cálculo do aço dos parafusos foi determinada em 227 MPa. Para a madeira utilizada, foi considerada uma densidade característica de 833,33 kg/m³, resultando em uma resistência característica ao embutimento paralelo às fibras de 57,4 MPa. Como as ligações são solicitadas perpendicularmente às fibras, foi aplicado o coeficiente k_{90} = 1,59, obtendo-se uma resistência característica ao embutimento de 36,1 MPa e uma resistência de cálculo de 12,38 MPa.

A verificação do modo de ruptura indicou um parâmetro geométrico β = 5,0, superior ao valor limite β_{lim} = 4,29, caracterizando a flexão do parafuso como mecanismo resistente predominante. Nessas condições, a capacidade resistente de cálculo de cada parafuso foi determinada em 8,49 kN por plano de cisalhamento.

Com base nessa capacidade resistente, foram adotados os seguintes quantitativos de parafusos para cada ligação:

- Ligação do nó central: maior esforço solicitante de 60,0 kN, resultando na adoção de 8 parafusos Ø16 mm.
- Ligação da diagonal: maior esforço solicitante de 25,0 kN, resultando na adoção de 3 parafusos Ø16 mm.
- Ligação do banzo superior com montante: maior esforço solicitante de 45,0 kN, resultando na adoção de 6 parafusos de Ø16 mm.

Dessa forma, todas as ligações atendem aos critérios de resistência e detalhamento estabelecidos pela ABNT NBR 7190, garantindo a segurança estrutural e o adequado desempenho do sistema de conexões.

RAPHAEL ALEXANDRE DA SILVA:09253354445
Assinado de forma digital por RAPHAEL ALEXANDRE DA SILVA:09253354445
Dados: 2026.08.14 08:50:35 -03'00'