

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CAMILA CANAN

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DO CICLO DE VIDA DE SISTEMAS DE COBERTURA
COM ESTRUTURAS EM MADEIRA**

PATO BRANCO

2022

CAMILA CANAN

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DO CICLO DE VIDA DE SISTEMAS DE COBERTURA
COM ESTRUTURAS EM MADEIRA**

**ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF ROOFING SYSTEMS: THE IMPACTS AND
DAMAGES CONSIDERING THE LIFE CYCLE**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, campus Pato Branco, como requisito para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Volmir Sabbi

PATO BRANCO

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

CAMILA CANAN

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DO CICLO DE VIDA DE SISTEMAS DE COBERTURA
COM ESTRUTURAS EM MADEIRA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, campus Pato Branco, como requisito para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Data de aprovação: 30 de junho de 2022

Volmir Sabbi
Doutorado em Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Paola Regina Dalcanal
Doutorado em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Heloiza Aparecida Piassa Benetti
Doutorado em Engenharia de Produção
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PATO BRANCO

2022

Dedico este trabalho à minha filha Lara,
você é minha força, meu pequeno grande milagre.

AGRADECIMENTOS

Aqui deixo meus mais sinceros agradecimentos a todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, para a realização deste trabalho, as pessoas que sempre estiveram comigo, que sempre emitiram boas vibrações para a realização deste sonho.

Em especial, agradeço, aos meus pais, pelo apoio e amor incondicional em todos os momentos, a minha princesa Lara, que tantas vezes quis brincar com a mamãe ocupada e ao meu amor, Tiago, pelo companheirismo, dedicação e apoio.

Agradeço a minha amiga Ana, pela paciência, pelo incentivo, pelas conversas e distrações.

Agradeço a todos os professores que fizeram parte desta jornada, em especial aos professores Dr. Volmir Sabbi e Dr. Elizângela Marcelo Siliprandi, pela compreensão e indescritível dedicação, pelo acolhimento e apoio.

“Imaginem quantos conflitos desapareceriam do mundo se
ninguém jamais impusesse a outro uma ideologia”
(GOSWAMI, Amit. 2021)

RESUMO

O presente trabalho tem o objetivo de realizar a avaliação ambiental em sistemas de cobertura em madeira, a fim determinar qual telha apresenta menos impactos e danos, com relação a dimensão ambiental. Para isto, foi realizado uma análise comparativa baseada na Avaliação do Ciclo de Vida, entre coberturas de telha cerâmica, de concreto e de fibrocimento, com auxílio do *software* SimaPro e da base de dados internacional *Ecoinvent v3*, para uma mesma residência unifamiliar. Foram utilizadas as abordagens de ponto médio (*midpoint*), e de ponto final (*endpoint*), onde foi empregado o método ReCiPe 2016. Através das análises realizadas, concluiu-se que a telha de concreto apresentou menores impactos ambientais e danos à saúde, aos ecossistemas, e à disponibilidade de recursos, quando comparada às telhas cerâmica e de concreto. Já com relação ao sistema de cobertura, o com telha de fibrocimento apresentou os menores impactos e danos.

Palavras-chave: Estrutura de cobertura. Avaliação ambiental. Avaliação do ciclo de vida. Sustentabilidade

ABSTRACT

The following work has the objective of carrying out an environmental assessment in wood roofing systems, in order to determine which tile has the least impact and damage, in relation to the environmental dimension. For this, a comparative analysis was carried out based on the Life Cycle Assessment, between ceramic tile, concrete and fiber cement roofs, with the help of the SimaPro software and the international database Ecoinvent v3, for the same single-family residence. The midpoint and endpoint approaches were used, where the ReCiPe 2016 method was employed. Through the executed analyzes, it was concluded that the concrete tile had lower environmental impacts and health damage, to ecosystems, and to the availability of resources, when compared to ceramic and concrete tiles. In relation to the roofing system, the fiber cement tile presented the lowest impacts and damages.

Keywords: Roof structure. Environmental assessment. Life cycle assessment, Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.....	27
Figura 2 - Áreas relevantes para a humanidade e o planeta	27
Figura 3 - Agenda 21 e suas reinterpretações no setor da construção civil	30
Figura 4 - Relações no processo de produção de um edifício.....	34
Figura 5 - Inserção da sustentabilidade de forma vertical	35
Figura 6 - Sistema de cobertura	37
Figura 7 - Tesoura do tipo Howe	37
Figura 8 - Fluxograma do processo de fabricação da telha cerâmica	39
Figura 9 - Processo de fabricação da telha de concreto	43
Figura 10 – Processo <i>Hatschek</i>	44
Figura 11 - Gráfico das Isopletas velocidade básica	46
Figura 12 - Fator topográfico $S_1(z)$	48
Figura 13 - Parâmetros para determinar S_2 em função das cinco categorias de terreno	49
Figura 14 - Valores de S_2 para as categorias e classes do terreno	49
Figura 15 - Valore mínimos de S_3	50
Figura 16 - Valores referentes aos fatores de combinação e utilização	54
Figura 17 - Fases do ciclo de vida do produto.....	68
Figura 18 - Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida	69
Figura 19 - Fluxograma das etapas realizadas.....	75
Figura 20 - Telha cerâmica.....	76
Figura 21 - Telha de concreto.....	76
Figura 22 - Telha de fibrocimento.....	76
Figura 23 - Planta baixa: Projeto de residência unifamiliar.....	78
Figura 24 - Fluxograma da avaliação da dimensão ambiental	84
Figura 25 - Abordagem Midpoint: DCA.....	87
Figura 26 - Abordagem <i>Midpoint</i> : DCB.....	89
Figura 27 - Abordagem <i>Midpoint</i> : DCC	91
Figura 28 - Análise global: Comparação dos projetos	93
Figura 29 - Caracterização: Danos à saúde humana (DCA)	99
Figura 30 - Caracterização: Danos à disponibilidade dos ecossistemas (DCA).....	100
Figura 31 - Caracterização: Danos a disponibilidade de recursos (DCA).....	100

Figura 32 – Análise global: Avaliação de danos DCA	101
Figura 33 - Caracterização: Danos à saúde humana (DCB)	103
Figura 34 - Caracterização: Danos à disponibilidade dos ecossistemas (DCB).....	104
Figura 35 - Caracterização: Danos a disponibilidade de recursos (DCB).....	104
Figura 36 - Análise global: Avaliação de danos DCB	105
Figura 37 - Caracterização: Danos à saúde humana (DCC)	107
Figura 38 - Caracterização: Danos à disponibilidade dos ecossistemas (DCC).....	108
Figura 39 - Caracterização: Danos à disponibilidade de recursos (DCB).....	108
Figura 40 - Análise global: Avaliação de danos DCC	109
Figura 41 - Caracterização: Danos à saúde humana	111
Figura 42 - Caracterização: Danos à disponibilidade dos ecossistemas	112
Figura 43 - Caracterização: Danos à disponibilidade de recursos.....	112
Figura 44 - Análise global: Comparação das estruturas	113

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - γ_g para ações permanentes de grande variabilidade.	56
Quadro 2 - γ_g para ações permanentes de pequena variabilidade.....	56
Quadro 3 - γ_g para ações permanentes indiretas	57
Quadro 4 - γ_g para ações variáveis	57
Quadro 5 - γ_w correspondentes à resistência da madeira para os estados limites últimos.....	58
Quadro 6 - Valores referentes ao $k_{mos,1}$	59
Quadro 7 - Valores referentes ao $k_{mod,2}$	59
Quadro 8 - Valores de α_n	61
Quadro 9 - Valores referentes ao coeficiente de fluência (ϕ).....	67
Quadro 10 - Categorias de Impacto: <i>Midpoint ReCiPe</i> 2016.....	73
Quadro 11 - Categorias de danos: <i>Endpoint ReCiPe</i> 2016	73
Quadro 12 - Dimensões das telhas	77
Quadro 13 - Materiais considerados para análise	81
Quadro 14 - Processos utilizados do SimaPro	82
Quadro 15 - Resumo dos resultados obtido através da abordagem Midpoint.....	93
Quadro 16 - Relação entre as categorias de danos e as categorias de impacto.....	97
Quadro 17 - Resumo dos resultados obtido através da abordagem Midpoint.....	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - ICV para os sistemas de cobertura.....	85
Tabela 2 - Abordagem <i>Midpoint</i> : DCA	86
Tabela 3 - Abordagem <i>Midpoint</i> : DCB (continua)	87
Tabela 4 - Abordagem <i>Midpoint</i> : DCC (continua)	89
Tabela 5 - Análise global: comparação dos projetos (continua).....	91
Tabela 6 - Caracterização: Abordagem <i>Endpoint</i> (DCA)	98
Tabela 7 - Análise global: Avaliação de danos DCA.....	101
Tabela 8 - Caracterização: Abordagem <i>endpoint</i> (DCB).....	102
Tabela 9 - Análise global: Avaliação de danos DCB.....	105
Tabela 10 - Caracterização: Abordagem <i>Endpoint</i> (DCC)	106
Tabela 11 - Análise global: Avaliação de danos DCC.....	109
Tabela 12 - Caracterização: Análise comparativa das estruturas	110
Tabela 13 - Análise global: Comparação das estruturas	113

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivos	17
1.1.1 Objetivos Gerais	17
1.1.2 Objetivos Específicos.....	17
1.2 Justificativa	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1 Sustentabilidade	20
2.1.1 Sustentabilidade na Construção Civil	28
2.2 Sistemas de Cobertura	36
2.2.1 Telhas Cerâmica.....	38
2.2.2 Telha de Concreto	42
2.2.3 Telha de Fibrocimento	43
2.2.4 Dimensionamento de Estruturas de Cobertura.....	45
<u>2.2.4.1 Definição da carga de vento</u>	<u>45</u>
<u>2.2.4.2 Carga de manutenção</u>	<u>51</u>
<u>2.2.4.3 Definição das cargas permanentes</u>	<u>51</u>
<u>2.2.4.4 Ações de segurança.....</u>	<u>53</u>
<u>2.2.4.5 Resistência da madeira</u>	<u>58</u>
<u>2.2.4.6 Condição de segurança para as solicitações normais.....</u>	<u>60</u>
<u>2.2.4.7 Solicitações tangenciais</u>	<u>63</u>
<u>2.2.4.8 Estabilidade</u>	<u>64</u>
2.3 Pensamento do Ciclo de Vida	67
2.3.1 Avaliação do Ciclo de Vida	68
<u>2.3.1.1 Definição de objetivo e escopo.....</u>	<u>70</u>
<u>2.3.1.2 Inventário do Ciclo de Vida</u>	<u>70</u>
<u>2.3.1.3 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida</u>	<u>71</u>
<u>2.3.1.4 Interpretação</u>	<u>74</u>
3 METODOLOGIA	75
3.1 Fase 1 – Escolha dos materiais	75
3.2 Fase 2 – Revisão bibliográfica	77

3.3 Fase 3 – Desenvolvimento do projeto	78
3.4 Fase 4 – Dimensionamento das estruturas	78
3.5 Fase 5 – Análise ambiental dos sistemas de cobertura	81
3.5.1 Definição do objetivo e escopo	81
3.5.2 Levantamento do Inventário do Ciclo de Vida	81
3.5.3 Avaliação do Impacto do Ciclo de vida	83
3.5.4 Interpretação.....	83
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	84
4.1 Pensamento do Ciclo de Vida	84
4.1.1 Resultados da Avaliação do Ciclo de Vida	84
<u>4.1.1.1 Resultados do Inventário do Ciclo de Vida</u>	<u>85</u>
<u>4.1.1.2 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida e Interpretação</u>	<u>85</u>
4.1.1.2.1 Abordagem de Ponto Médio (<i>Midpoint</i>)	85
4.1.1.2.2 Abordagem do Ponto Final (<i>Endpoint</i>)	96
5 CONCLUSÃO	117
REFERÊNCIAS	119
APÊNDICE A – Dimensionamento de Cobertura com Telha Cerâmica (DCA)	132
APÊNDICE B – Dimensionamento de cobertura com Telha de Concreto (DCB) ...	152
APÊNDICE C – Dimensionamento de Cobertura com Telha de Fibrocimento (DCC)	172
ANEXO A: Tabela 4 da NBR 6123:1988	190
ANEXO B: Tabela 5 da NBR 6123:1988	190

1 INTRODUÇÃO

A questão climática vem sendo amplamente debatida, principalmente, no que se refere ao aquecimento global. Segundo Aires (2019), os recursos naturais eram vistos como infinitos pela sociedade, o que fez com que o planeta fosse cada vez mais afligido pelas ações humanas. Assim, a escassez de recursos naturais e as mudanças climáticas que ocorreram nas últimas décadas vêm alertando a sociedade, transformando cada vez mais a relação entre o homem e o meio ambiente (SOUSA, *et al.*, 2015). De acordo com Tavares (2006), as iniciativas que regulamentam a relação das atividades humanas com o meio-ambiente começaram a ser estudadas, principalmente, a partir do início da década de 1970. Devido aos impactos causados na sociedade pelo desenvolvimento das metrópoles, a sustentabilidade ganhou espaço na discussão (DESCHAMPS, 2017). Nesse sentido, o conceito de sustentabilidade e de desenvolvimento sustentável buscam trazer uma nova visão de responsabilidade social.

No ano de 1987, o Relatório de Brundtland definiu desenvolvimento sustentável como aquele que tem por objetivo atender às necessidades da geração presente sem que isso comprometa as gerações futuras de também atenderem as suas necessidades. O desenvolvimento sustentável possui dois conceitos-chave, o primeiro é o conceito de necessidade sobretudo dos mais pobres, e o segundo é a noção das limitações impostas ao meio ambiente pela tecnologia e organização social que o impedem de atender às necessidades presentes e futuras (RELATÓRIO BRUNDTLAND, 1991).

No cenário atual, a discussão e defesa do desenvolvimento sustentável ganhou um novo olhar a partir do ano de 2015, com a adoção da Agenda 2030, que estabeleceu 17 objetivos, conhecidos como Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, e 169 metas a serem alcançadas até o ano de 2030 a fim de acabar com a pobreza e promover uma vida digna para todos (ARAÚJO, 2020).

Para Dias *et al.* (2010), países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, tem uma crescente extração de recursos naturais devido a necessidade de melhores padrões de vida da população. Com isso, destaca-se a importância do aperfeiçoamento da relação entre a economia e o meio ambiente, pois é fundamental

diminuir os impactos causados ao meio ambiente, a fim de melhorar o desempenho ambiental.

A construção civil é o setor que mais extrai recursos naturais, tendo um impacto significativo sobre o meio ambiente, a sociedade e a economia. Mundialmente o setor consome 32% dos recursos naturais renováveis e não renováveis, 12 a 16% da água disponível, 25% de toda a madeira, produz entre 30 e 40% dos resíduos sólidos, emite 18,4% das emissões diretas e indiretas de Gases de efeito estufa (GEE), e consome 32% da produção total de energia (DARKO et al., 2017; CBIC, 2017). Ainda, segundo Ribeiro (2021), cerca de 42% de todo o resíduo gerado pela indústria da construção civil é descartado de forma inapropriada, desse total, apenas 5% são reciclados.

No ano de 2019, o Brasil lançou na atmosfera 2,17 bilhões de toneladas de dióxido de carbono, um aumento de 9,6% das emissões brutas de gases de efeito estufa (GEE) com relação ao ano de 2018. As emissões por energia e processos industriais corresponderam a, respectivamente, 19% e 5% do total. No panorama mundial, o Brasil ocupa o 6º lugar entre os países com maiores emissões de GEE (ALBUQUERQUE, 2020).

De acordo com Abreu (2012), no setor industrial, as emissões são relacionadas a produção de ferro e aço, a extração da madeira e, principalmente, da produção de cimento utilizados na construção civil.

A indústria cimenteira tem potencial de degradação ambiental tanto pela emissão de gases ocorrida durante o processo de produção quanto pelo processo de extração do calcário e da argila (QUEIROZ, 2018). Dessa forma, a indústria do cimento se torna responsável por cerca de 7% das emissões totais produzidas pelo homem, no Brasil essa participação é de 2,6% das emissões de CO_2 , sendo praticamente 1/3 da média mundial (OLIVEIRA, 2019).

Outro material muito utilizado na construção civil é a cerâmica, de acordo com Xavier (2016, p. 5) “[...] à indústria da cerâmica é uma grande geradora de poluentes”, pois dentro das etapas de produção dos materiais cerâmicos, a secagem em estufa é resultado da queima de combustíveis fósseis, que está ligado à liberação de gases. Com relação a energia incorporada na fabricação de blocos, tijolos e telhas varia entre 0,291 kWh/kg a 1,944 kWh/kg (MANFREDINI; SATTLER, 2005).

Dessa forma, os materiais e componentes normalmente utilizados pelo setor da construção civil, são extraídos da natureza, passam por etapas e processos industriais, e então são disponibilizados e transportados até a obra. Onde cada uma dessas etapas desde a extração até a utilização e, conseqüentemente, os resíduos produzidos, causam um impacto considerável no meio ambiente (MACEDO, 2011).

Entre as ferramentas utilizadas para avaliar esses impactos ambientais, destaca-se a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). De acordo com Costa (2012) a “ACV é uma ferramenta da sustentabilidade para tomada de decisão na estratégia ambiental”. Soares, Souza e Pereira (2006), também destacam a ACV como uma ferramenta excelente para analisar e escolher alternativas de um ponto de vista ambiental, uma vez que possui como aplicação principal a apresentação de um inventário de entradas e saídas associado a um projeto ou produto.

Com base nisso, define-se o problema da pesquisa com o seguinte questionamento: Ao realizar a avaliação ambiental de três sistemas de cobertura para um mesmo projeto, uma com a telha cerâmica, uma com telha de fibrocimento e a outra com telha de concreto, qual é a mais vantajosa em relação aos impactos ambientais?

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos Gerais

Este trabalho visa realizar uma avaliação ambiental através da comparação entre três sistemas de cobertura para um mesmo projeto, a fim de determinar qual opção apresenta-se mais sustentável, considerando a dimensão ambiental, com o intuito de auxiliar na tomada de decisão em projetos de sistemas de cobertura.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar o dimensionamento de um projeto estrutural de cobertura em madeira para telhas cerâmicas, telhas de fibrocimento e telhas de

concreto de acordo com a ABNT NBR 7190/97 – Projeto de estruturas de madeira;

- Fazer o levantamento de inventário dos materiais;
- Realizar a avaliação do inventário através do *software* SimaPro, versão 9.3.03, licença *Faculty*;
- Comparar os resultados obtidos e concluir qual dos projetos apresenta melhor desempenho ambiental.

1.2 Justificativa

As discussões acerca da sustentabilidade na construção civil a fim de reduzir os impactos ambientais causados pelo setor são tema de debate e preocupação da sociedade. Costa (2019, p. 2) acredita que “[...] a adoção de práticas sustentáveis seja uma alternativa capaz de reduzir os impactos ocasionados pelas indústrias, em especial, a da construção civil”.

Segundo Freitas e Paiva (2018), ao realizar a análise em 74 artigos, constatou-se que 30% deles tratavam da Avaliação do Ciclo de vida, no entanto, a grande maioria se concentrava no setor agropecuário, além de 48% deles se basearem em alguma forma de cultivo vegetal ou de criação animal. Assim, a escolha dos materiais de construção que serão utilizados em uma obra representam um importante campo para uma engenharia ambientalmente responsável (SOARES; SOUZA; PEREIRA, 2006)

Para Costa (2012), o consumo desenfreado dos recursos ambientais atrelado a degradação do meio ambiente ocasiona mudanças ambientais e um possível esgotamento de recursos naturais, sendo assim, são desejáveis os debates e esforços dedicados a busca de soluções que considera as dimensões ambientais, sociais e econômicas.

Logo, este trabalho se justifica pela importância da tomada de decisão ainda na fase de projeto, pois o projetista apresenta maior capacidade de intervenção nas etapas de projeto e construção, em relação aos materiais que serão utilizados, levando em consideração as questões ambientais. Além disso, pode-se relacionar o trabalho desenvolvido com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS): Indústria inovação e infraestrutura (ODS9); Cidades e comunidades sustentáveis

(ODS11), pois trata de desenvolvimento de estruturas sustentáveis e redução dos impactos ambientais.

Com isso, para a concepção deste, foi utilizado o *software SimaPro*, que auxilia no processo de avaliação do inventário de ciclo de vida obtido através de projeto, realizando a mensuração dos impactos ambientais causados na execução de um projeto de estrutura de cobertura com telha cerâmica, telha de fibrocimento e telha de concreto, analisando assim os três tipos de sistemas de coberturas a fim de comparar os resultados obtidos com o objetivo de auxiliar o projetista na escolha dos materiais, levando-se em consideração não só a dimensão econômica, mas também, a dimensão ambiental.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sustentabilidade

As discussões acerca do meio ambiente tiveram seu início por volta da década de 1960 através de Organizações Não-Governamentais (ONGs), porém a consolidação do movimento ambientalista segundo alguns autores foi impulsionada pela publicação “Primavera Silenciosa” de Rachel Louise Carson, no ano de 1962, que levou o leitor a refletir sobre as atitudes do homem dentro da sociedade com relação ao meio ambiente (COSTA, 2019).

Com o crescimento das discussões acerca do meio ambiente, no ano de 1968 foi criado o Clube de Roma, composto por líderes mundiais, economistas, empresários e cientistas, ele foi responsável, no ano de 1972, pela publicação do relatório “*The Limits to Growth*”, que tinha como preocupação central o possível esgotamento de recursos naturais se as taxas de crescimento da população fossem mantidas (COSTA, 2019; VIEIRA, 2004). No mesmo ano da publicação do relatório pelo Clube de Roma, a Organização das Nações Unidas (ONU) realizou a primeira conferência sobre o ambiente humano, em Estocolmo – Suécia, desse encontro originou-se a Declaração de Estocolmo que apresentou 26 princípios com o objetivo de guiar e oferecer inspiração para a preservação e a melhoria do ambiente humano (CORRÊA, 2009).

No ano de 1987, Gro Harlem Brundtland, a então primeira ministra da Noruega foi nomeada pela ONU para coordenar os debates ambientais na Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, desse encontro originou-se o documento *Nosso Futuro Comum*, posteriormente conhecido como *Relatório de Brundtland*. Esse documento buscou identificar os principais problemas mundiais e estabeleceu compromissos relacionados à segurança e saúde da humanidade, apresentando objetivos a serem atingidos a fim de reverter a situação prevista pelo estudo realizado pelo Clube de Roma, e propondo que o desenvolvimento passasse a promover também a manutenção do meio ambiente deixando assim de alimentar apenas a economia, apresentando de tal forma o termo Desenvolvimento Sustentável (CORRÊA, 2009; COSTA, 2019).

No ano de 1988, foi criado o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, com o objetivo de fornecer avaliações relacionadas às mudanças climáticas, apontar onde se faz necessário novas pesquisas, e apresentar soluções destinadas a prevenir ou reduzir os impactos ambientais. Nas décadas seguintes a ONU realizou várias conferências mundiais que trataram do meio ambiente e do clima, como a ECO-92 no Rio de Janeiro em 1992, a Rio+10 em Johannesburgo no ano de 2002, a Rio+20 no Rio de Janeiro em 2012, a COP 21 em Paris no ano de 2015, a COP 24 na Polônia em 2018 e a recente COP 26 em Glasgow no ano de 2021. A realização dessas conferências pela ONU tem o objetivo de consolidar protocolos internacionais, a fim de rever metas estabelecidas e elaborar novos mecanismos para garantir um Desenvolvimento Sustentável (DS) (COSTA, 2019; KAVA, 2011).

Como observado, o termo Desenvolvimento Sustentável é muito utilizado dentro dos discursos ambientais e políticos, porém, a sua ambiguidade permite que seja utilizado por grupos com diferentes posicionamentos em relação à desenvolvimento. E essas divergências ocorrem devido às definições que o termo desenvolvimento e a palavra sustentabilidade apresentam. Além disso ambos são utilizados de formas variadas por figuras sociais que possuem interesses econômicos e políticos divergentes (BARBOSA; DRACH; CORBELLA, 2012).

De acordo com Bartelmus (2003), a definição que o Relatório de Brundtland traz de Desenvolvimento Sustentável “[...] não especifica as necessidades, nem o prazo para sua satisfação, nem um papel específico para o meio ambiente”. Ainda segundo o autor, para a indústria o DS é uma oportunidade de inovação e criação de novos mercados, para alguns grupos é considerado uma arma contra a globalização, e para os governos é uma maneira de amenizar as objeções verdes ao crescimento econômico.

Sartori, Latrônico e Campos (2014) trazem que o termo DS surgiu através da relação entre a preservação do meio ambiente e do entendimento das necessidades dos seres humanos, abrangendo aspectos diferentes da sociedade, buscando, através da proteção e da manutenção do capital natural, alcançar o crescimento econômico e a igualdade para todas as gerações. Assim, o termo também pode ser considerado um processo variável de mudança, que tem como finalidade a busca pela sustentabilidade.

Dentro desse cenário, quando se fala sobre sustentabilidade pode-se perceber que não existe um consenso sobre sua definição e origem (SOUSA e ABDALA, 2020; BARBOSA, DRACH e CORBELLA, 2012).

Entretanto, há autores que consideram ambos (sustentabilidade e desenvolvimento sustentável) como complementares e dependentes. De acordo com Sartori, Latrônico e Campos (2014, p. 4) “para alcançar a sustentabilidade requer-se o desenvolvimento sustentável”. Cappatto (2020, p. 3) traz que a “interpretação da sustentabilidade aderiu-se também à utilização do tema desenvolvimento sustentável”, assim como para Aires (2019, p. 22) “o conceito de sustentabilidade é derivado do debate sobre o desenvolvimento sustentável”.

Para Sousa *et al.* (2015, p. 2), a sustentabilidade “está relacionada ao desenvolvimento econômico e material sem agredir o meio ambiente, usando os recursos naturais de forma inteligente para que eles se mantenham no futuro, gerando assim o que conhecemos de desenvolvimento sustentável”.

Segundo Aires (2019, p. 22), “uma comunidade é sustentável quando satisfaz plenamente suas necessidades de forma a preservar as condições para que as gerações futuras também o façam”. A descrição colocada pelo autor é apresentada como uma definição de Desenvolvimento Sustentável pelo Relatório de Brundtland.

Dessa forma, para Costa (2019, p. 22), “o conceito de Sustentabilidade foi, aos poucos, sendo consolidado, contribuindo para uma melhor compreensão do tema, sua importância e suas respectivas inferências na sociedade”. A autora considera ainda que a busca pela sustentabilidade é uma prioridade universal.

O ‘*Triple Bottom Line*’ (TBL), ou o tripé da sustentabilidade, desenvolvido por John Elkington na década de 90, é considerado um conceito chave para o desenvolvimento sustentável, de acordo com esse ponto de vista, a sustentabilidade é produto da interação entre as dimensões econômica, social e ambiental. Essa interação não depende de esfera seja ela governamental, social, ou empresarial, nem de aspectos culturais políticos e tecnológicos. Sendo assim, o desenvolvimento sustentável pode ser alcançado quando tem-se um trabalho harmonioso, integrado e simultâneo dos três pilares (COSTA, 2019; DESCHAMPS, 2017).

A dimensão econômica pode ser definida, segundo os autores Sartori, Latrônico e Campos (2014), como a manutenção de capital natural, uma condição necessária para que não ocorra um retrocesso econômico. Para Costa (2012), esta

dimensão está associada, dentro do mundo da sustentabilidade, com a eficiência energética, prática de negócios ambientais e sustentáveis, e a garantia de bem estar material através do crescimento econômico. Dentro da sociedade, a economia desempenha um papel fundamental, apesar de receber a influência de diversos fatores como crises econômicas, investimentos e taxas de desemprego, ela também é responsável pela geração e movimentação de capitais, bens e serviços no mundo todo. Assim, é necessário que uma economia sustentável e harmoniosa seja estabelecida, que ela contribua com a justiça, possibilidade de crescimento e estabilidade as pessoas, sem prejudicar o meio ambiente (COSTA, 2019).

A dimensão social, de acordo com Lehtonen (2004), é considerado como o item mais fraco do desenvolvimento sustentável, principalmente quando se trata de sua análise e fundamentos teóricos. Ainda segundo o autor, a dimensão social não possui uma definição usualmente aceita por não existir um consenso sobre o que deve ser entendido como 'social'. Para Sartori, Latrônico e Campos (2014), esta dimensão se refere ao rendimento justo e a homogeneidade social, além de acesso à empregos, bens e serviços, promovendo a igualdade social. Assim, é necessário, segundo Costa (2019), um rearranjo nas políticas públicas com o objetivo de estimular o desenvolvimento sustentável e uma participação mais efetiva de grandes empresas e líderes mundiais na elaboração de ações sustentáveis.

Por fim, segundo Costa (2019, p. 27), “[...] a preservação do meio ambiente é o terceiro pilar para o desenvolvimento sustentável, podendo ser considerado como o primeiro no quesito importância para o futuro da humanidade”. Para Sartori, Latrônico e Campos (2014, p.4), a dimensão ambiental pode ser entendida como “[...] a desmaterialização da atividade econômica, pois uma diminuição do processamento de material pode reduzir a pressão sobre os sistemas naturais e ampliar a prestação de serviços ambientais para a economia”. E, de acordo com Costa (2012), é necessário que os danos ambientais sejam minimizados, pois a questão ambiental está ligada de maneira profunda com a economia e com a sociedade. Ainda segundo a autora, a relação existente entre a comunidade e o ambiente é complexa, tratando-se da extração e do consumo de recursos naturais que acabam afetando aspectos tanto locais como globais.

São necessárias que medidas com o objetivo de preservação dos recursos naturais, ainda existentes, sejam tomadas de forma urgente. Sendo assim, o

desenvolvimento de soluções e ações sustentáveis é uma alternativa para a preservação do planeta, pois sem essa preservação tanto dos recursos como dos ecossistemas existentes, a vida na Terra se torna impossível (COSTA, 2019).

Neste contexto, destaca-se a realização da ECO-92, que buscou incorporar o conceito de desenvolvimento sustentável nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, através do uso consciente dos recursos naturais, preservando assim o meio ambiente. A partir da realização dessa convenção foram publicados diversos documentos, e dentre eles, destaca-se a Agenda 21, documento composto em 40 capítulos, firmado e assinado por 179 países (COSTA, 2019).

Para Carvalho (2019, p. 5), a Agenda 21 “[...] busca abordar temas como a agricultura sustentável, cidades sustentáveis, infraestrutura e integração regional, gestão dos recursos naturais, redução das desigualdades sociais e a ciência e tecnologia para o desenvolvimento sustentável.” Ainda segundo a autora o conceito de DS consolidado na Agenda 21 foi incorporado em outras agendas ao redor do mundo que tratavam de desenvolvimento e direitos humanos.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, a Agenda 21 foi uma das tentativas mais abrangentes com a finalidade de promover de maneira global o DS, buscando conciliar os métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica (RODRIGUES, 2017). Segundo Corrêa (2009, p. 15), o termo *Agenda* foi utilizado no sentido de “[...] intenções, desígnio, desejo de mudanças para um modelo de civilização em que predominasse o equilíbrio ambiental e a justiça social entre as nações”, o autor destaca ainda que ela não é uma simples agenda ambiental, mas sim uma Agenda para o DS, onde a preservação do meio ambiente é o foco principal.

Entretanto, somente em 1997 os países industrializados se comprometeram, através do Protocolo de Kyoto, a diminuir o lançamento de gases poluentes. Com a realização da Conferência Rio+10, fez-se o levantamento dos resultados alcançados e reforçaram-se as metas propostas pela Agenda 21, de forma que a população também pudesse aproveitá-las. Porém, a cúpula foi pouco elogiada, pois os avanços alcançados ficaram abaixo do esperado durante os 10 anos. O Plano de Implementação do Desenvolvimento Sustentável aprovado foi considerado pouco eficiente diante dos desafios a serem enfrentados, e as discussões foram mais concentradas nas questões sociais em detrimento das ambientais (COSTA, 2019; TRIPOLI, 2013).

Com objetivos distintos da ECO-92, a Conferência Rio+20 visava renovar o compromisso político dos líderes mundiais com o DS, fazer uma análise do progresso que fora obtido até aquele momento, e abordar os temas: a economia verde dentro do cenário de DS e da erradicação da pobreza, e o alicerce institucional para o DS (TRIPOLI, 2013).

Porém, segundo Costa (2019), o Acordo de Paris, adotado durante a Conferência das Partes – COP 21, foi mais prático quando determinou que temperatura da terra para os anos posteriores não poderia exceder 2°C. Segundo a autora, essa medida foi mais que necessária e pode ser considerada como improrrogável quando se leva em consideração o derretimento das calotas polares. Além disso, Costa (2019) afirma que a COP 21 representou um desfecho das propostas realizadas pela Cúpula de Paris, onde os principais temas discutidos foram: tecnologia, homem e natureza, isso criou incentivos para o desenvolvimento de soluções ecoeficientes, como os veículos movidos a eletricidade, para o suporte da natureza, e para a solidariedade com o indivíduo. Além disso, apresentou o alcance do equilíbrio entre as atividades humanas e a preservação dos recursos naturais como objetivo.

Ainda durante o ano de 2015, dois meses antes da realização da COP 21, entre os dias 25 e 27 de setembro, 193 Estados-membros da ONU se reuniram em Nova Iorque, na sede da instituição, e concordaram na tomada de medidas inovadoras para colocar o mundo em um caminho sustentável. A partir dessa reunião a defesa do DS ganhou um novo impulso por meio da resolução A/RES/70/1 – Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, que inseriu de forma integrada as dimensões da sustentabilidade representadas na forma dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Essa ação expandiu a ideia/definição trazida desde o Relatório de Brundtland sobre o conceito de Desenvolvimento Sustentável, onde outras ideias, conceitos, correlações, e urgências, também passaram a acompanhar o conceito (ARAÚJO, 2020).

Segundo Castro Filho (2018), os ODS apresentados pela agenda de ações, que está prevista até 2030, é baseada nos aprendizados trazidos pela aplicação entre os anos de 2000 e 2015 dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), é fruto de um trabalho conduzido de maneira conjunta entre governos e cidadãos do mundo todo “[...] para criar um novo modelo global que possa acabar com a pobreza,

promover a prosperidade e o bem-estar de todos, proteger o ambiente e combater as alterações climáticas”.

De acordo com Roma (2019, p. 33), os ODM envolviam ações específicas de combate à fome e a pobreza. Essas ações estavam associadas “[...] à implementação de políticas de saúde, saneamento, educação, habitação, promoção da igualdade de gênero, e meio ambiente, além de medidas para o estabelecimento de uma parceria global para o desenvolvimento sustentável”. Além disso, para cada um dos objetivos foram colocadas metas globais. Ainda, segundo o autor, o documento intitulado *O Futuro que Queremos* resultante da conferência RIO+20, serviu como base para que os países membros da ONU construíssem um conjunto de novos objetivos e metas voltadas para o DS, levando em consideração as experiências obtidas com a aplicação dos ODM.

Os oito ODM são:

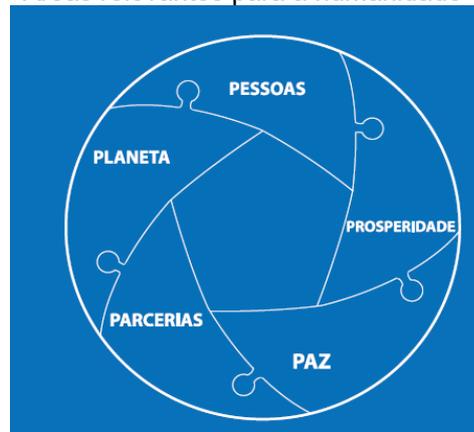
- Erradicar a extrema pobreza e a fome;
- Universalizar a educação primária;
- Promover a igualdade de gênero e a autonomia das mulheres;
- Reduzir a mortalidade infantil;
- Melhorar a saúde materna;
- Combater o HIV/AIDS, a malária e outras doenças;
- Assegurar a sustentabilidade ambiental;
- Estabelecer uma parceria mundial para o desenvolvimento.

Assim, os 17 ODS originados a partir desses 8 ODM apresentados, são, de acordo com Castro Filho (2018, p. 7), “[...] um programa de ação para a humanidade e o planeta, que busca a prosperidade, a justiça social, a paz, e a liberdade, nas dimensões econômica, social, e ambiental”. Os ODS apresentaram para a humanidade um novo desafio, eles convidam a sociedade a se mobilizar e buscar alcançá-los até 2030. A Figura 1 apresenta quais são os objetivos trazidos pela Agenda 2030, os símbolos e cores que representa cada um deles.

Figura 1 - Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

Fonte: Agenda 2030 (2016)

Segundo a A/RES/70/1, a Agenda não é só um plano de ação para o planeta, pessoas, e a prosperidade, mas também uma busca pelo fortalecimento da paz mundial com mais liberdade, que o maior desafio do mundo, a erradicação da pobreza, é indispensável para se alcançar o Desenvolvimento Sustentável. Por isso, um dos compromissos assumidos é o de “não deixar ninguém para trás” em referência aos mais pobres. Além dos ODS, a agenda também apresenta 169 metas, demonstrando assim sua ambição, esses objetivos e metas têm como objetivo estimular a ação em áreas consideradas importantes para a humanidade e o planeta, até o ano de 2030 (AGENDA 2030, 2016). A Figura 2 abaixo apresenta quais são essas áreas.

Figura 2 - Áreas relevantes para a humanidade e o planeta

Fonte: Agenda 2030 (2016)

Além da erradicação da pobreza, ainda se tem outros grandes desafios que precisaram ser enfrentados para que se possa alcançar o Desenvolvimento Sustentável. Dentro dessa lista, que não só aumentam, como também agravam esses

desafios, tem-se os efeitos da mudança do clima, o aumento da temperatura global, o esgotamento dos recursos naturais, os impactos negativos como a desertificação, secas, perda de biodiversidade, causados pela degradação ambiental,

[...] as crescentes desigualdades dentro dos países e entre os países. Há enormes disparidades de oportunidades, riqueza e poder. A desigualdade de gênero continua a ser um desafio chave. O desemprego, particularmente entre os jovens, é uma grande preocupação. Ameaças globais à saúde, desastres naturais mais frequentes e intensos, conflitos em ascensão, o extremismo violento, o terrorismo e as crises humanitárias relacionadas e o deslocamento forçado de pessoas ameaçam reverter grande parte do progresso alcançado na área de desenvolvimento nas últimas décadas (AGENDA 2030, 2016, p. 6).

E isso acaba colocando em risco, não só a sobrevivência de sistemas biológicos, como, também, de muitas sociedades (AGENDA 2030, 2016).

Mesmo que os avanços da apresentação de uma agenda internacional focada no alcance do Desenvolvimento Sustentável sejam reconhecidos, uma parcela da literatura sustentada pelo viés crítico aponta que, diante do que a Agenda 2030 propõe para se alcançar o DS, ela é insuficiente. Contudo, representa um grande desafio, uma vez que delega para os Estados o papel fundamental de promover a implantação e o monitoramento das metas e objetivos realizando antes um trabalho de aproximação entre os ODS e os objetivos de desenvolvimento nacionais (ARAÚJO, 2020).

2.1.1 Sustentabilidade na Construção Civil

Desde a antiguidade o homem vem transformando a natureza de acordo com suas necessidades e desejos. Isso faz com que a questão do Desenvolvimento Sustentável se torne cada vez mais importante e presente dentro da construção civil, pois além de ser um dos setores que mais causa danos ao meio ambiente, é considerado importante para o desenvolvimento social e econômico. Assim, o aprimoramento do seu processo produtivo é buscado com o objetivo de torná-lo mais eficiente e equilibrado, pois ao levar em conta as modificações ocasionadas pela construção civil e a sua interferência na sociedade através de novas obras, têm-se impactos não só no campo ambiental, mas também no social e econômico (FREITAS; LIBRELOTTO, 2016; AIRES, 2019).

Dessa forma, o setor de construção civil tem uma importância significativa no atendimento das metas de DS, pois as mudanças climáticas e a diminuição das reservas de recursos naturais exigem novas formas de conduta. Segundo Aires (2019), o setor busca um novo modelo baseado no desenvolvimento humano, na inovação da tecnologia, e no uso e reuso consciente dos recursos naturais ainda disponíveis. Sendo essa inclusão de práticas sustentáveis da construção “uma tendência crescente no mercado” (CORRÊA, 2009, p. 22).

Após a apresentação da Agenda 21 diversos setores da sociedade iniciaram um processo de reinterpretação da agenda para dentro de seus contextos. No setor da construção civil de acordo com Skrzek e Possan (2012), as interpretações consideradas mais relevantes são:

- *Agenda Habitat II*;
- *Agenda 21 on Sustainable Construction* – Agenda 21 sobre Construções sustentáveis;
- *Agenda 21 for sustainable construction in developing countries* – Agenda 21 para construções sustentáveis nos países em desenvolvimento.

Desenvolvida no ano de 1996, a Agenda Habitat II trata do DS referente aos assentamentos humanos. Ela também busca prever a promoção de materiais de construção que sejam sustentáveis, e que juntamente com técnicas de projeto eficientes, produziram as chamadas *Construções Sustentáveis*. esse conceito foi apresentado em 1999 pelo *International Council for Research and Innovation in Building and Construction* (CBI) - Conselho Internacional de Pesquisa e Inovação na Construção Civil, no documento Agenda 21 sobre Construções Sustentáveis. Esse documento apresenta medidas para reduzir os impactos causados pelas construções através de alterações da forma como elas são projetadas, construídas e gerenciadas ao longo do tempo (TAVARES,2006; SILVA,2003).

Entretanto, devido às dificuldades para aplicar a Agenda 21 sobre construções sustentáveis, por conta dos problemas sociais distintos existentes nos países em desenvolvimento, que possuem um crescimento dos assentamentos humanos sem infraestrutura adequada, gerando impactos ambientais locais maiores que em países desenvolvidos, se fez necessária ser criada a Agenda 21 para construções sustentáveis nos países em desenvolvimento, no ano de 2002. Esse documento buscou estabelecer planos e estratégias para os países em desenvolvimento em

parceria com países desenvolvidos vinculando o conceito de construção sustentável com as demandas sociais existentes nesses países (TAVARES, 2006). A Figura 3 traz as reinterpretações da Agenda 21 dentro do setor da construção.

Figura 3 - Agenda 21 e suas reinterpretações no setor da construção civil



Fonte: Plessis *et al.* (2002)

Segundo Plessis *et al.* (2002), Construção Sustentável pode ser definida como sendo um processo holístico que possui o objetivo de restaurar e manter a harmonia entre os ambientes construído e natural, e de desenvolver assentamentos que assegurem a dignidade humana e incentivem a igualdade econômica. Para Silva (2003, p. 23)

[...] buscar uma indústria da construção mais sustentável é fornecer mais valor, poluir menos, ajudar no uso sustentado de recursos, responder mais efetivamente às partes interessadas, e melhorar a qualidade de vida presente sem comprometer o futuro.

Assim como a Agenda 21 teve suas reinterpretações dentro do setor da construção civil, o mesmo ocorreu com a Agenda 2030 quando adotada a Nova Agenda Urbana (NAU) na Conferência da Nações Unidas sobre Habitação e Desenvolvimento Urbano Sustentável (Habitat III), realizada na cidade de Quito (Equador) em 2016.

A adoção da NAU auxilia na implementação e localização da Agenda 2030 e no alcance dos ODS e suas metas. Ela busca a reafirmação de um compromisso global através da promoção do desenvolvimento urbano sustentável como algo decisivo para que o Desenvolvimento Sustentável se concretize de maneira integrada e coordenada e todos os níveis – global, regional, nacional, subnacional e local – com a presença de todos os agentes importantes (ONU-BR, 2017).

Dessa forma a NAU apresenta uma alteração do modelo de ciência das cidades e estabelece princípios e padrões com base nos pilares de implementação para “o planejamento, construção, desenvolvimento, administração e melhora das áreas urbanas”, esses pilares são (ONU-BR, 2017, p. 8):

- Políticas nacionais urbanas;
- Legislação e regulação urbanas;
- Planejamento e desenho urbano;
- Economia local e finança municipal;
- Implantação local.

Além disso, ela também incorpora uma nova forma de reconhecimento da conexão existente entre a boa urbanização e o desenvolvimento, salientando que essa conexão deve ser incorporada não somente nas políticas públicas, mas também nas estratégias tomadas para a renovação urbana. Com isso pode-se destacar ainda mais a ligação especial existente entre a NAU e o Objetivo 11 contido na Agenda 2030 (ONU-BR, 2017).

A partir dos projetos de inclusão dos planos da Agenda 21 nos diversos setores da sociedade, surgiram também, durante a década de 1990, as certificações ambientais de edificações, em alguns países da Europa, no Canadá e Estados Unidos. Essas certificações foram criadas devido à necessidade de criar um sistema que fosse capaz de avaliar o desempenho ambiental das edificações e de combater os falsos edifícios ecológicos, usados por empresas como uma estratégia de marketing. A partir da evolução dessas certificações, elas passaram a ser adotadas e também criadas nos mais diversos países a fim de melhorar o desempenho ambiental das edificações com base nas questões locais, dando ênfase aos critérios sustentáveis que cada uma julgasse mais importante (NUNES, 2018). No Brasil existem hoje, segundo Custódio, David e Barata, (2021), três selos de certificação que são mais conhecidos e utilizados: o LEED, o AQUA-HQE, o Selo Casa Azul. Há também o Selo GCB Brasil Casa.

O selo LEED, formulado na década de 1990, foi pensado inicialmente para avaliar a fase operacional de uma edificação, a partir de um *checklist* onde são conferidas pontuações, principalmente de edifícios comerciais. Hoje ele é dividido em quatro tipologias: *Building Design + Construction*; *Interior Design + Construction*; *Operation & Maintenance*; *Neighborhood*, onde dentro de cada categoria são

avaliadas oito áreas como localização e transporte, uso eficiente de água e energia, etc. Essa avaliação incentiva a transformação de projetos, obras e operação das edificações pois reconhece as melhores práticas e estratégias (RODRIGUES, 2020; CUSTÚDIO, DAVID e BARATA, 2021).

A certificação AQUA-HQE aplicada pela Fundação Vanzolini foi lançada no ano de 2018 e desenvolvida a partir da certificação francesa HQE (*Haute Qualité Environnementale*). É um processo que, além do estabelecimento de um Sistema de Gestão de Empreendimento (SGE), o empreendedor deve realizar análises para cada uma das 14 categorias de preocupação ambiental definidas na certificação, como a relação do edifício com o seu entorno, a escolha dos produtos, a gestão da água e da energia, conforto acústico e visual, etc. Além de realizar a avaliação da qualidade ambiental do edifício em pelos menos três fases: Pré-projeto, Projeto e Execução; na fase pré-projeto da Operação e Uso e fases Operação e Uso periódicos (CUSTÚDIO, DAVID e BARATA, 2021).

O selo Casa Azul, elaborado em 2010 através de uma parceria da Caixa Econômica Federal com uma equipe de especialistas da UFSC, USP e Unicamp, é o primeiro sistema para qualificação da sustentabilidade de projetos habitacionais que foi desenvolvido para a construção habitacional do Brasil. Ele possui 49 critérios de avaliação e quatro níveis de gradação: Bronze, Prata, Ouro e Diamante. Os critérios de avaliação estão divididos nas categorias: qualidade humana e bem-estar; eficiência energética e conforto ambiental; gestão eficiente da água; produção sustentável; desenvolvimento social e inovação (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2021).

E a GCB Brasil Casa, criada em 2012 pela GCB Brasil (*Green Building Council Brasil*), é baseada na certificação americana e orientada para a realidade do setor residencial unifamiliar brasileiro da classe média alta. As certificações seguem os mesmos critério, pré-requisitos e níveis de certificação do LEED. Abordam a construção como um todo e os projetos são avaliados através das categorias de implantação; uso eficiente da água, energia e atmosfera; materiais e recursos; qualidade ambiental interna; requisitos sociais; inovação e projeto, e créditos regionais.

Portanto, as certificações ambientais são ferramentas importantes para transformar o setor da construção civil, são responsáveis pela mudança na forma de ver a construção, incentivam a busca por estratégia que gerem a redução dos

impactos ambientais. Através delas também é possível mensurar e avaliar os impactos ambientais de uma edificação, construindo uma ponte para o desenvolvimento sustentável e para o cumprimento dos objetivos e metas almejados na Agenda 2030 (NUNES, 2018).

Assim, ao considerar o projeto como ponto de partida do ciclo de vida de qualquer edificação, é esperado que nesta etapa sejam apresentadas soluções que minimizem os impactos ambientais causados, sendo os profissionais encarregados por ela os principais agentes responsáveis por fazer a inclusão e a difusão da construção sustentável (SKRZEK; POSSAN, 2012).

De acordo com Motta e Aguilár (2009, p. 105), apesar de os maiores impactos nas questões abordadas pela sustentabilidade serem causados nas etapas de uso e de manutenção do edifício, “a maior possibilidade de intervenção no desempenho durante essas fases ocorre nas etapas de idealização, concepção e projeto”, onde deve ser priorizado a implementação de estratégias de sustentabilidade. Dessa forma, “[...] o edifício deve ser idealizado de modo coerente com os conceitos de sustentabilidade. A partir de sua idealização, a concepção do edifício deve ser uma busca criativa e inventiva de práticas de sustentabilidade” (MOTTA e AGUILAR, 2009, p. 107).

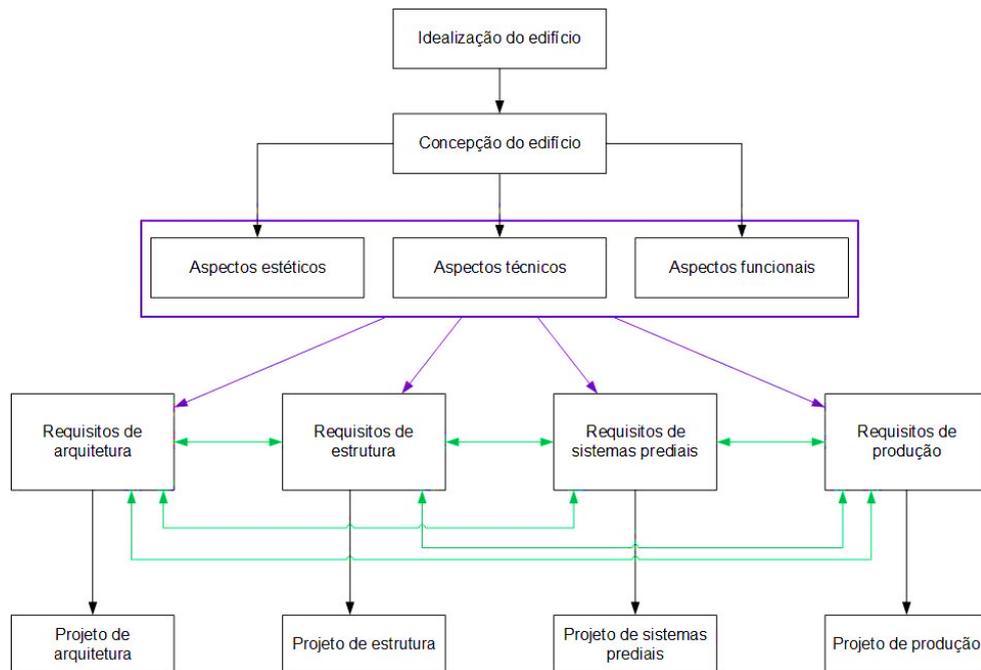
Aires (2019) também cita a importância que cada projeto tem de encontrar soluções economicamente viáveis e de levar a sistemas construtivos que se integrem ao meio ambiente, que promovam o bem-estar e justiça social, e que tenham comprometimento com os pilares da sustentabilidade. Ainda segundo Aires (2019, p. 24), “[...] métodos sustentáveis devem ser planejados e aplicados em todas as fases do ciclo de vida do edifício” a fim de alcançar a sustentabilidade na construção.

Para Valente (2009), ao abranger todas as etapas do ciclo de vida de um edifício, as construções sustentáveis geram menos impactos ambientais, porém a compreensão deste ciclo é de grande importância para que consiga tomar decisões de forma antecipada, diminuindo futuros efeitos, pois em cada fase do ciclo de vida de um edifício são desenvolvidas atividades que interagem com o meio ambiente. Ainda segundo o autor:

É importante garantir uma metodologia de projeto que possua uma visão integrada entre arquitetura, conforto ambiental e iluminação, que as construções sejam conscientes e que haja uma continuação do processo de maneira que ao longo do tempo o consumo vá reduzindo (VALENTE, 2009, p. 10).

A Figura 4 mostra a relação existente entre os processos de produção de um edifício, onde as relações entre idealização, concepção e realização do projeto ocorrem de forma vertical, e a relação entre os diversos projetos ocorrem de forma horizontal (MOTTA; AGUILAR, 2009).

Figura 4 - Relações no processo de produção de um edifício



Fonte: Adaptado pela autora com base em Motta e Aguilar (2009)

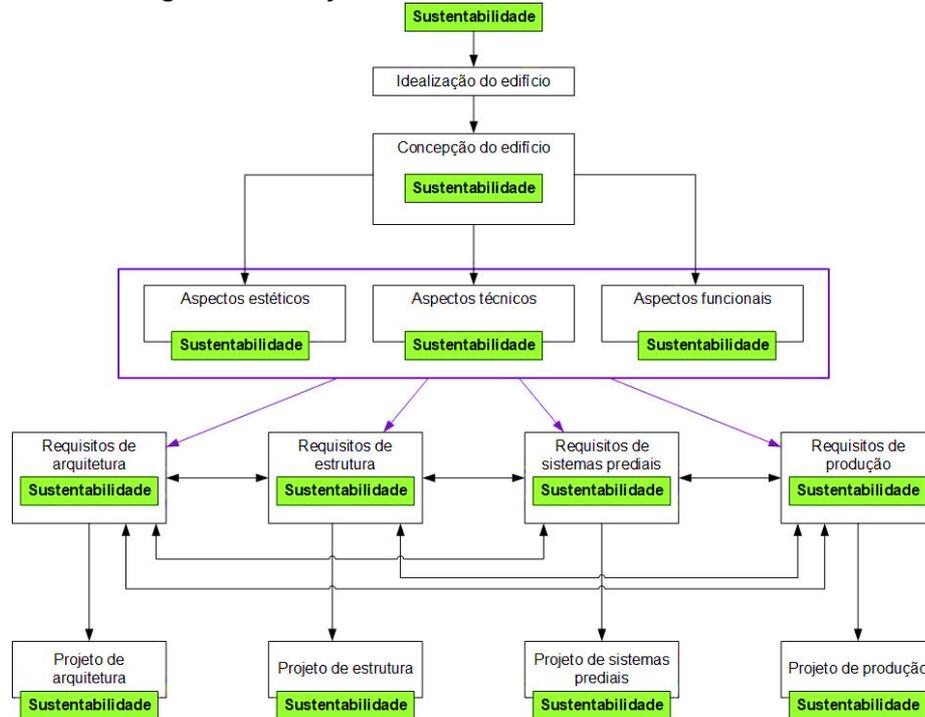
Como visto anteriormente, a sustentabilidade dentro da construção civil vem sendo percebida através do uso de certificações, entretanto de acordo com Motta e Aguilar (2009), os requisitos exigidos por essas certificações são inseridos de forma simultânea e interagem com os demais requisitos de projeto. Ou seja, a sustentabilidade vista como certificação é colocada de maneira horizontal no processo ficando assim relacionada a aspectos de planejamento do processo. Além disso, a certificação é ligada

[...] ao processo de definição e elaboração dos projetos, se resumindo a uma discussão entre os agentes atuantes nos mesmos. Nessa concepção a certificação tem fraca contribuição e atuação para uma mudança cultural da estrutura organizacional do empreendimento como um todo (MOTTA; AGUILAR, 2009).

Assim, para que ocorra uma melhor interação entre os requisitos das certificações e os demais requisitos, é importante que ocorra uma otimização entre os processos de projeto, onde a sustentabilidade faça parte da estratégia, sendo anterior

à idealização e concepção do edifício. A sustentabilidade assim concebida estraria indo além apenas da inserção horizontal no processo, sendo inserida verticalmente de forma que seus conceitos se façam presentes em todas as fases do processo como mostra a Figura 5 (MOTTA; AGUILAR, 2009).

Figura 5 - Inserção da sustentabilidade de forma vertical



Fonte: Adaptado pela autora com base em Motta e Aguilar (2009)

Segundo Garrido (2011), o uso de estratégias arquitetônicas deve ser feito a fim de otimizar recursos e materiais, diminuindo assim o consumo de água, o desperdício de matérias, a manutenção e custo do edifício, estimulando a utilização de fontes de energia renováveis e melhorando a qualidade de vida das pessoas que ali moram. Entretanto, soluções e estratégias precisam ser formuladas na visão do sistema, pois a cadeia da construção atinge indiretamente diferentes indústrias e milhares de emprego. Vale ressaltar que soluções construtivas mais sustentáveis são dependentes de fatores locais, ou seja, devem ser pensadas e analisadas localmente (AIRES, 2019).

Portanto, a busca por construções cada vez mais sustentáveis dentro do setor da construção civil deve ser constante. Para Deschamps (2017), as construções devem sempre buscar alcançar a autossuficiência e a autossustentabilidade, ou seja, devem ser capazes de se manter e atender suas necessidades, de gerar e reciclar os

próprios recursos. Além disso, as construções sustentáveis devem, em conjunto com a tecnologia avançada, proporcionar soluções para problemas ambientais e construir edifícios que sejam capazes de suprir as necessidades do ser humano.

2.2 Sistemas de Cobertura

O Sistema de Cobertura (SC) exerce muitas funções em edifícios habitacionais, de acordo com a NBR 15575-5:2021 Edificações habitacionais – desempenho - parte 5: requisitos para sistemas de coberturas, o SC é um conjunto de elementos colocados no topo das edificações com a função de assegurar a estanqueidade e a salubridade da estrutura, e de auxiliar na proteção de elementos ou componentes da deterioração por agentes naturais (ABNT, 2021).

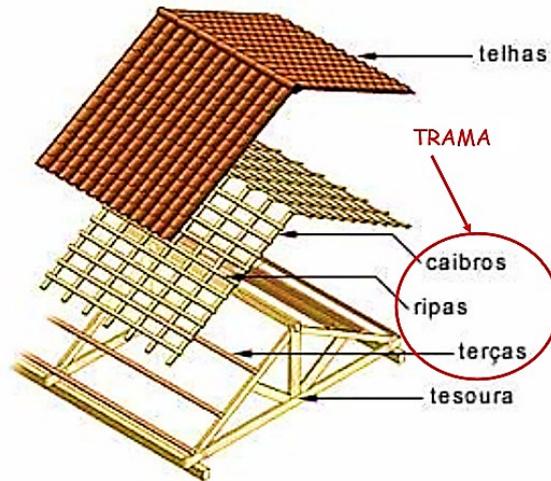
De acordo com Moliterno (2010), a cobertura pode ser de diversos materiais, desde que protejam a edificação da chuva, das ações do vento e de intempéries. Para Calil Jr. e Molina (2010), além destas funções, o SC deve manter sua estabilidade estrutural no decorrer de toda a sua vida útil.

A armação, composta por, terças, tesouras e contraventamento e em alguns casos caibros e ripas, corresponde ao conjunto de elementos estruturais que dão sustentação à cobertura. Essa estrutura que faz parte da armação da cobertura pode ser executada totalmente ou parcialmente em madeira, aço, alumínio ou concreto armado. Ainda conjunto formado pelas ripas, caibros e terças é denominado ‘trama’ e serve de lastro ao material da cobertura (MOLITERNO, 2010).

De acordo com Calil Jr. e Molina (2010), a telha é que define a constituição da trama. No caso, se telhas forem pequenas, é necessário a execução do ripamento, composto por pequenas peças denominadas de ripas, de pequena seção que são apoiadas sobre os caibros para sustentar as telhas. Os caibros por sua vez, também são peças de pequena seção apoiadas sobre as terças para dar sustentação as ripas, e as terças são vigas apoiadas sobre as tesouras ou sobre as paredes para dar sustentação aos caibros. Nas coberturas executadas com chapas onduladas de fibrocimento, alumínio ou PVC o uso de ripas e caibros não é necessário, pois elas apoiam-se diretamente sobre as terças (MOLITERNO, 2010).

Portanto, tem-se que o sistema de cobertura é composto, pela armação, que garante a estabilidade estrutural formada pelas tesouras, terças e quando necessário, caibros e ripas, conforme a Figura 6.

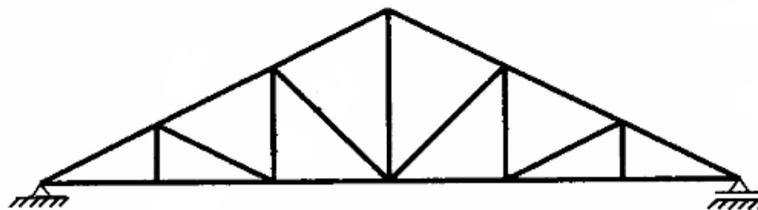
Figura 6 - Sistema de cobertura



Fonte: Ballarin (2006)

A tesoura é a estrutura principal do telhado e, segundo Moliterno (2010, p. 3), pode ser definida como uma “[...] viga em treliça plana vertical, formada por barras dispostas de maneira a compor uma rede de triângulos, tornando o sistema estrutural indeslocável”. Ela tem a função de realizar a transferência de todos os carregamentos a que a cobertura é submetida para as paredes e pilares da construção. Ainda de acordo com o autor, a tesoura mais empregada no Brasil é a tesoura tipo Howe, Figura 7.

Figura 7 - Tesoura do tipo Howe



Fonte: Alterado de Ballarin (2006)

No caso da armação em madeira, segundo Pfeil (2013), as madeiras mais utilizadas nas construções se diferenciam em duas categorias principais, as madeiras duras que são provenientes de árvores que possuem o crescimento lento como a Peroba e o Ipê, e as madeiras macias provenientes de árvores de crescimento rápido como o Pinheiro-do-Paraná, pinheiros europeus, e pinheiros norte-americanos. Além

dessas categorias também podem ser divididas em madeiras maciças compostas por madeira bruta, fraqueada e serrada, e as madeiras industrializadas compostas pela madeira compensada, laminada e colada, e a madeira recomposta. Nos Estados do Paraná e Santa Catarina, as coberturas têm sido executadas com muita frequência utilizando-se da Peroba ou Pinheiro do Paraná, entretanto, devido ao custo elevado, são substituídas por madeiras de reflorestamento como, por exemplo, o *Eucalypto citriodora* em substituição da Peroba (MOLITERNO, 2010).

A *Araucaria angustifolia*, conhecida também como Pinheiro do Paraná, é nativa do Sul do Brasil e foi explorada de maneira desordenada, o que a levou a ser inserida na lista de oficial de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), em 1992.

A NBR 7190:1997 Projeto de estruturas de madeira (ABNT, 1997), traz em seu Anexo E os valores médios das propriedades de rigidez e resistência de algumas madeiras nativas e de reflorestamento para um índice de umidade $U = 12\%$. A utilização desta norma torna possível o dimensionamento de qualquer estrutura de madeira com as coberturas tanto para fins residências como para fins comerciais, geralmente fazendo a utilização da madeira serrada (CALIL JR.; MOLINA, 2010).

2.2.1 Telhas Cerâmica

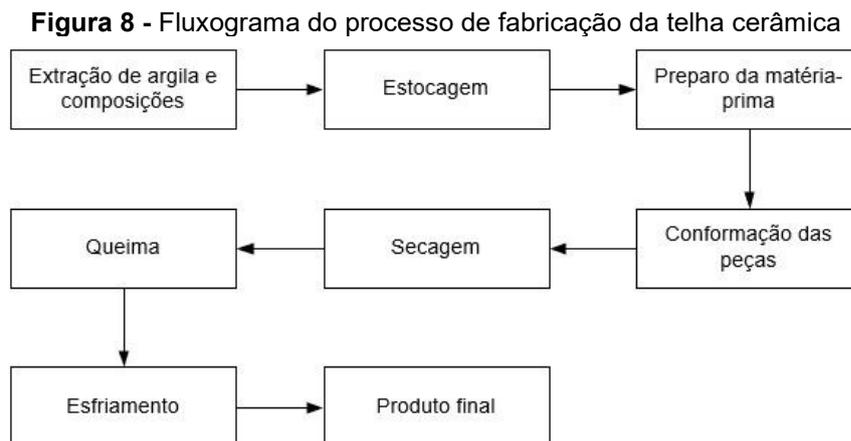
A indústria da cerâmica é a mais antiga do mundo por conta da facilidade de fabricação e pela abundância da matéria-prima utilizada. O setor no Brasil apresenta números que dão a dimensão de sua importância para a economia do país (BAUER, 2019). Segundo Crivelaro e Pinheiro (2020), a palavra cerâmica deriva do grego *kéramos*, que significa “argila queimada”, ela participou da evolução humana, sendo o material artificial mais antigo produzido pelo homem.

Para Abitante e Lisboa (2017), a cerâmica é uma pedra artificial, obtida através da moldagem, secagem e cozedura de argilas, ou misturas de argila, seu uso surgiu da necessidade de um material análogo às rochas em lugares onde existia escassez. Ainda segundo os autores, a argila é abundante na natureza, sendo encontrada nas margens de rios e manguezais, é reciclável e se conserva ao longo dos anos com um pouco de cuidado e umidade. Ela é originada a partir da

desagregação de rochas, pelo processo de intemperismo, ou seja, por ações químicas e físicas que transformam e fragmentam a rocha em partículas muito pequenas (inferiores a 2 micra), denominadas de argilominerais.

Segundo a NBR 15310:2009 Componentes cerâmicos – telhas –terminologia, requisitos e métodos de ensaio, referente a telhas cerâmicas, que tem o objetivo de estabelecer requisitos e critérios dimensionais, físicos e mecânicos exigíveis para este material, para a execução de telhados de edificações e para métodos de ensaio, a telha cerâmica é um “[...] componente destinado à montagem de cobertura estanque à água, de aplicação descontínua”. Ainda segundo a norma, elas devem ser fabricadas com argila conformada, através da prensagem ou extrusão e queimadas (ABNT, 2009, p. 5).

De maneira geral, com relação à fabricação de telhas cerâmicas, a mesma é realizada conforme o fluxograma apresentado na figura 8.



Fonte: Autora, com base em Abitante e Lisboa (2017)

Na primeira etapa, referente a extração das argilas, cada produto cerâmico requer um tipo próprio de matéria-prima. Segundo Abitante e Lisboa (2017), para a fabricação de tijolos, lajotas, ladrilhos e telhas é utilizada a argila vermelha, já para a fabricação de porcelanas e azulejos é utilizada a argila clara do tipo caulim. Portanto, antes de qualquer coisa, deve-se escolher a jazida, pois fatores como umidade, profundidade da barreira, composição granulométrica, entre outros, interferem na qualidade final do produto. No Brasil, a extração é realizada a céu aberto e normalmente as empresas possuem suas próprias jazidas. Nesse processo são utilizadas retroescavadeiras e escavadeiras e para o transporte até a fábrica são utilizados caminhões basculantes. Primeiro é realizado a remoção de materiais

maléficos para o processo, como a vegetação. Após isso, a argila é separada em montes de acordo com as diferentes camadas encontradas no solo (BASTOS, 2003).

Depois de retirada e encaminhada até a fábrica, a argila é estocada a céu aberto, por um longo período de tempo, a fim de obter as características adequadas para o processamento. Esse tempo pode ser de poucos meses ou até mesmo de muitos anos. Após esse processo de sazonalidade, a argila deve ser colocada em um pátio coberto para evitar o excesso de umidade ou o ressecamento. A partir disso, o material é transportado para iniciar o processo de preparação da matéria-prima, essa fase tem o objetivo de preparação da argila e da massa a fim de obter uma mistura homogênea. A mistura dosada é conduzida para o desintegrador, onde as pedras, quando existentes, são retiradas através de processo de centrifugação. Então, o material desagregado é transportado para o misturador, onde se dá o início do processo de homogeneização e em seguida, essa mistura vai para o laminador, que tem objetivo de diminuir a granulometria da massa, assim completar o processo de homogeneização e de cortar as massas em lâminas (BASTOS, 2003). De acordo com Abitante e Lisboa (2017), essa etapa é constituída da realização das misturas e da maceração das argilas, a fim de eliminar aglomerados de materiais que possam vir a comprometer a qualidade final do produto. Em olarias pequenas, onde o trabalho é realizado de forma manual, a maceração é feita de forma rudimentar com auxílio de um moinho de tração animal.

Na quarta fase, a argila toma a forma requerida, são extrudados bastões ou placas, que em seguida são prensados em moldes com o formato apropriado, alguns tipos de telha são produzidas somente pelo processo de extrusão sem passar pela prensagem em moldes (BASTOS, 2003).

Se a cerâmica for para o forno ainda úmida, ocorre o fendilhamento das peças, por conta do surgimento de tensões internas. Assim, as telhas passam pelo processo de secagem. Em olarias de grande porte esse processo pode ser realizado por ar quente-úmido e por radiação infravermelha, o que garante um controle mais rigoroso desta fase, porém encarece o produto final. Nas olarias pequenas, esse processo é feito ao ar livre, demorando entre 3 e 6 semanas (ABITANTE; LISBOA, 2017). Para Bastos (2003), esse processo realiza a remoção do líquido do material através dos poros e da evaporação para o meio ambiente.

De todas as fases de produção, a etapa de queima é a mais importante, pois é nela que a cerâmica sofre as reações e transformações químicas e físicas necessárias. Em olarias pequenas, os fornos de queima são a lenha, e os materiais crus, são colocados empilhados. Como o fogo é colocado na parte inferior, geralmente, obtém-se materiais super cozidos nas primeiras camadas, nas camadas intermediária, bons materiais, e nas camadas superiores, materiais quase crus. Em fornos contínuos, o produto final é de qualidade melhor, pois recebem calor de forma uniforme (ABITANTE; LISBOA, 2017).

Na etapa de esfriamento, o cuidado que deve ser tomado é evitar um choque térmico, ou seja, evitar que a peça sofra um resfriamento brusco, o que pode fendilhar a peça por conta da ocorrência de uma rápida retração. No forno contínuo, do tipo túnel, existe uma subdivisão em três zona, a de pré-aquecimento, a de queima e a de resfriamento, onde as peças são resfriadas lentamente (BASTOS, 2003; ABITANTE; LISBOA, 2017).

De acordo com Calil Jr. e Molina (2010), as telhas cerâmicas possuem vantagens como o bom desempenho termoacústico, a boa durabilidade e resistência mecânica, entretanto, são mais pesadas e mais permeáveis que as demais telhas. Ainda segundo os autores, as telhas cerâmicas podem ser dos seguintes modelos: Paulista; Colonial; Portuguesa; Plan; Romana, e Francesa. Com relação a telha cerâmica do tipo Portuguesa, a mesma é caracterizada por apresentar capa e bica unidas, corpo com formato arredondado e quadrado.

Em locais, que possuem uma ação do vento relativamente alta, ou com uma inclinação do telhado grande, é recomendado realizar a amarração das telhas com um arrame galvanizado, pois as telhas são apenas colocadas sobre o madeiramento, sendo assim suscetíveis às ações do vento (CALIL JR.; MOLINA). Dessa forma, para que se garanta a estanqueidade, o escoamento e para que não seja ocasionado acúmulo de material, é recomendada a utilização de uma inclinação mínima de 30% para vãos de até três metros, e ao passar este valor, devem ser acrescentados 2% na inclinação para cada metro avançado. Quando a inclinação ultrapassar os 45% há a necessidade da amarração das telhas, com o objetivo de diminuir o risco de destelhamento em dias com vento forte (TOPTTELHA, 2021).

2.2.2 Telha de Concreto

A primeira patente da telha de concreto foi registrada na Alemanha em 1844 por Adolf Kroher. No Brasil, a produção desse tipo de telha iniciou em 1976 com a implantação de uma fábrica em São Paulo (BARROS, 2020).

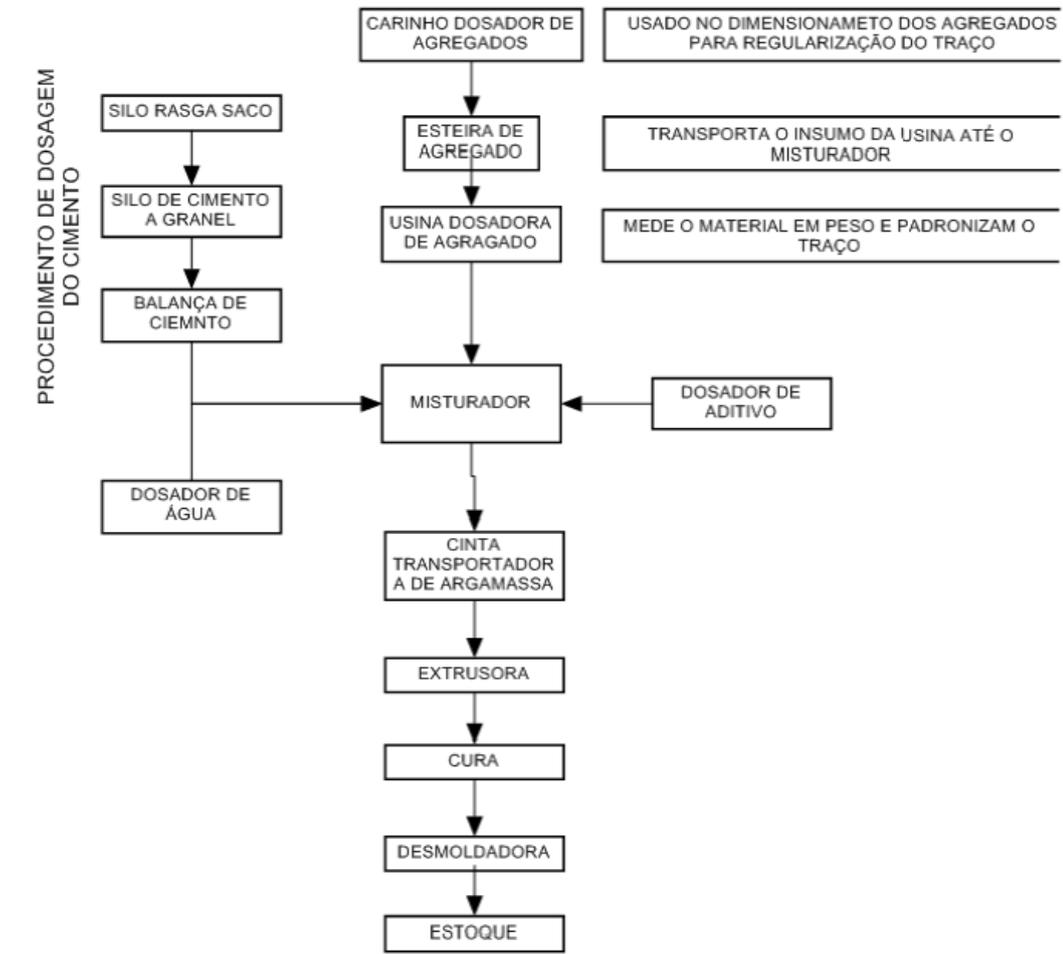
De acordo com Fernandes (2017), algumas características que as telhas de concreto apresentam são, em comparação com as telhas cerâmicas, um consumo menor de material e um menor peso úmido por metro quadrado. Segundo Calil Jr. e Molina (2010), as telhas de concreto também apresentam boa resistência mecânica e durabilidade, ainda segundo os autores, são comercializadas em cores e formatos variados.

A NBR 13858-2:2009 Telhas de concreto - parte 2: requisitos e métodos de ensaio (ABNT, 2009), define a telha de concreto como sendo um componente utilizado em coberturas, com forma essencialmente retangular e perfil geralmente ondulado, composto de cimento, agregado e água, aditivos ou adições, que podem ser fornecidas na cor natural ou coloridas com a adição de pigmentos.

Segundo Barros (2020), a produção da telhas se inicia pelo armazenamento da areia, que passa pelo processo de peneiramento a fim de garantir uma maior qualidade com relação a classificação granulométrica. A mistura, composta por areia, cimento, água e eventualmente pigmento, é levada ao misturador até que uma massa homogênea se forme, em seguida é encaminhada à extrusora, nesta etapa, a mistura passa por um sistema de prensagem e extrusão. Em seguida, cada telha é moldada em uma forma que passa em uma esteira abaixo da extrusora, e, após o processo de extrusão, as telhas são cortadas exatamente na dimensão da forma e encaminhadas para receberem uma aplicação de verniz. Após isso, elas são encaminhadas para a câmara de cura, onde permanecem por cerca de 24 horas, por fim, elas são desformadas, recebem uma aplicação de hidrofugante e em seguida são peletizadas e encaminhadas para o estoque, estando prontas para a entrega (FERNANDES, 2017; BARROS, 2020).

A Figura 9 representa um fluxograma referente ao processo de fabricação da telha de concreto.

Figura 9 - Processo de fabricação da telha de concreto



Fonte: Fernandes (2017)

2.2.3 Telha de Fibrocimento

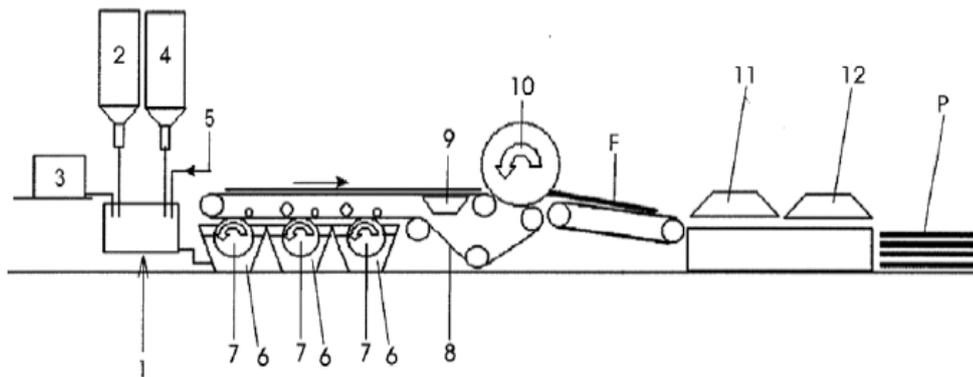
O fibrocimento foi inventado e patenteado no ano de 1900 por Ludwig Hatschek. O produto era uma junção de cimento comum com fibras de amianto, essa tecnologia teve como resultado uma rápida aceleração no mercado da construção civil, promovendo a produção de telhas, tubos, caixas d'água e divisórias, multiplicando a sua utilização em obras em todo o mundo.

As telhas de fibrocimento são elementos construtivos que possuem um baixo custo, e por isso, possuem importante papel na construção de habitações de interesse social no Brasil (COELHO; GOMES; DORNELLES, 2017). São compósitos que utilizam, segundo a NBR 15210-1:2019 Telhas onduladas e peças complementares de fibrocimento sem amianto - parte 1: classificação e requisitos (ABNT, 2019), como ligante o cimento Portland, agregados, adições ou aditivos, reforçados por fibras, fios

ou filamentos. As fibras sintéticas substituem as fibras de amianto, que tem seu uso proibido no Brasil em quaisquer componentes construtivos. Algumas entidades consideram a aplicação de fibras sintéticas algo sustentável, devido à possibilidade de reciclagem de produtos derivados do plástico (COELHO; GOMES; DORNELLES, 2017).

O processo mais utilizado na fabricação das telhas de fibrocimento é o processo úmido mecânico, um dos mais conhecidos é o processo *Hatschek*, mostrado na Figura 10. Neste processo a fabricação de placas de fibrocimento é realizada pela superposição de lâminas finas feitas através da suspensão de cimento, fibras celulósicas e/ou sintéticas, e aditivos minerais como o calcário e água.

Figura 10 – Processo Hatschek



Fonte: Pizzol (2013 *apud* Dias, Savastano Júnior e John (2010))

A primeira etapa do processo de fabricação consiste em preparar a suspensão, formada pela mistura de materiais sólidos entre 10 e 15% da massa total, com a água. Na segunda etapa, a suspensão é transportada para tanques ou cubas (6) com cilindros rotativos (7), onde é realizada a retenção do material sólido. Em seguida, a esteira de feltro (8) realiza a remoção do material do cilindro formando uma lâmina. Essa lâmina, passa então pelo vácuo (9), que tem o objetivo de realizar a retirada da água, ela então é transferida para a prensa cilíndrica (10) onde ocorre a sobreposição das lâminas até a espessura desejada, após esse processo, a placa de fibrocimento é fresca (F) e cortada (11), conformada em moldes (12) e submetida à cura para então, obter-se o produto final (P) (PIZZOL, 2013).

A cura ocorre em câmaras de temperatura e umidade ligeiramente elevadas. Após esse processo, as folhas de fibrocimento são empilhadas em armazéns com

condições ambientais normais por um período de 28 dias. Elas também podem ser pintadas com tinta acrílica à base de água (SVK, 2021).

2.2.4 Dimensionamento de Estruturas de Cobertura

O dimensionamento de estruturas de cobertura em madeira, deve levar em conta a NBR 7190:1997 Projeto de estruturas de madeira (ABNT, 1997), que tem como objetivo fixar as condições gerais que devem ser seguidas no projeto, na execução, e no controle das estruturas fabricadas em madeira, a NBR 6120:2019 Ações para o cálculo de estruturas de edificações (ABNT, 2019), que tem como objetivo estabelecer as ações mínimas que devem ser consideradas no projeto de estrutura de edificações, e a NBR 6123:1988 Forças devidas ao vento em edificações (ABNT, 1988), que tem como objetivo fixar as condições das forças devido às ações do vento em edificações.

Segundo a NBR 7190:1997 (ABNT, 1997), a estrutura deve ser projetada e construída de forma que satisfaça os requisitos básicos de segurança, como permanecer adequada ao uso previsto, levando em consideração o custo de construção admitido e o tempo de vida útil, suportar todas as ações e influências externas que podem surgir durante a construção e utilização, e também, possuir um custo baixo de manutenção.

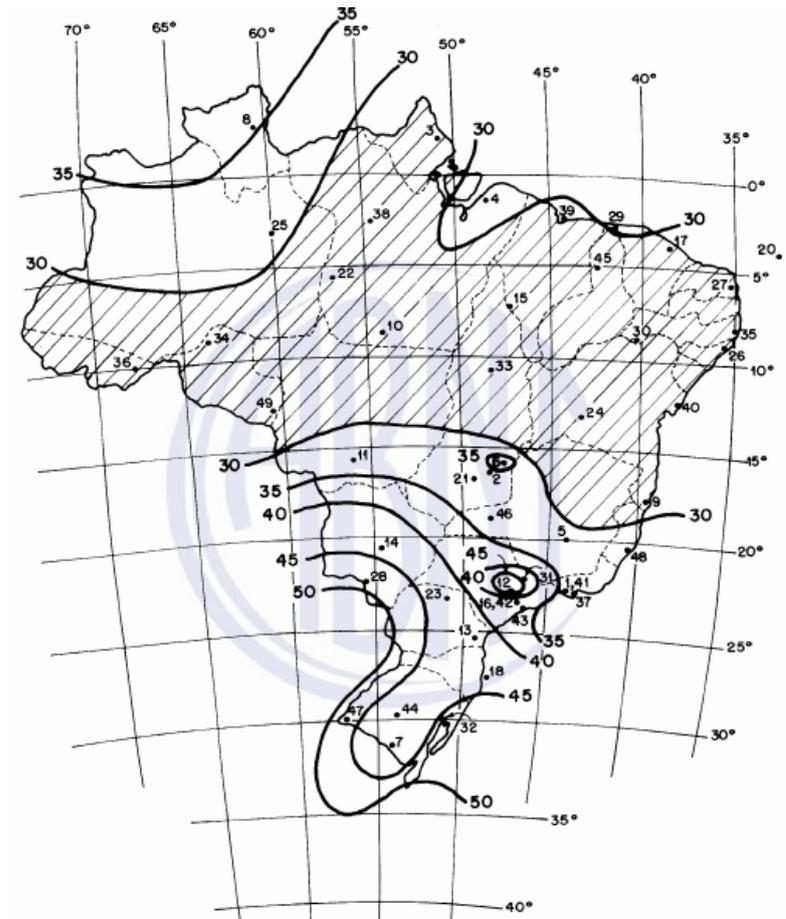
Essas condições de segurança são qualitativas, e para que se faça uma verificação quantitativa desses requisitos deve-se adotar processos analíticos, numéricos, gráficos ou experimentais que determinem os esforços e as deformações por eles causadas, para que se consiga realizar comparações com valores de resistência dos materiais utilizados, considerando os Estados Limites Últimos e de Utilização preconizados nas NBRs (SZUCS, *et al.*, 2015).

2.2.4.1 Definição da carga de vento

A ação do vento agindo com seu valor característico, de acordo com a NBR 7190:1997 (ABNT, 1997), é considerada uma carga de curta duração, onde a pressão dinâmica do vento está relacionada com os seguintes fatores: velocidade básica do vento (V_0); fator topográfico do terreno (S_1); fator de rigurosidade (S_2); fator estatístico (S_3); velocidade característica do vento (V_k); pressão dinâmica do vento (q).

Segundo Logsdon (2002), a velocidade do vento é registrada ao longo do tempo pelas estações meteorológicas, e ao fixar um intervalo de tempo pequeno padrão, obtém-se a velocidade média do tempo para o intervalo, que é a velocidade média básica ou de referência. A NBR 6123:1988 (ABNT 1988), dota para V_0 os valores apresentados na Figura 11 pelo gráfico das isopletas da velocidade básica do Brasil.

Figura 11 - Gráfico das Isopletas velocidade básica



Fonte: ABNT (1988)

O fator S_1 (item 5.2 da NBR 6123:1988) leva em conta as diferenças de relevo existentes no terreno, onde tem-se (ABNT, 1988):

- $S_1 = 1,0$ para terrenos planos ou pouco acidentados;
- $S_1 = 0,9$ para vales profundos;

No caso de taludes e morros.

Para taludes e morros alongados onde é possível admitir um fluxo de ar bidimensional soprando no sentido indicado pela figura 9, tem-se $S_1 = 1,0$ no ponto A (morros) e nos pontos A e C (taludes).

Já para o ponto B, o fator S_1 deve ser considerado uma função de $S_1(z)$, onde (z) é a altura medida a partir da superfície do terreno no ponto considerado, ' d ' é a diferença de nível existente entre a base e o topo do talude ou morro e ' θ ' é a inclinação média do talude ou encosta do morro. Assim, quando:

$$\theta \leq 3^\circ \text{ tem-se } S_1(z) = 1,00$$

Para $6^\circ \leq \theta \leq 17^\circ \rightarrow S_1$ tem-se a equação 1.

$$S_1(z) = 1,00 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) \times \text{tg}(\theta - 3^\circ) \geq 1,00 \quad (1)$$

Para $\theta \geq 45^\circ$ tem-se a equação 2.

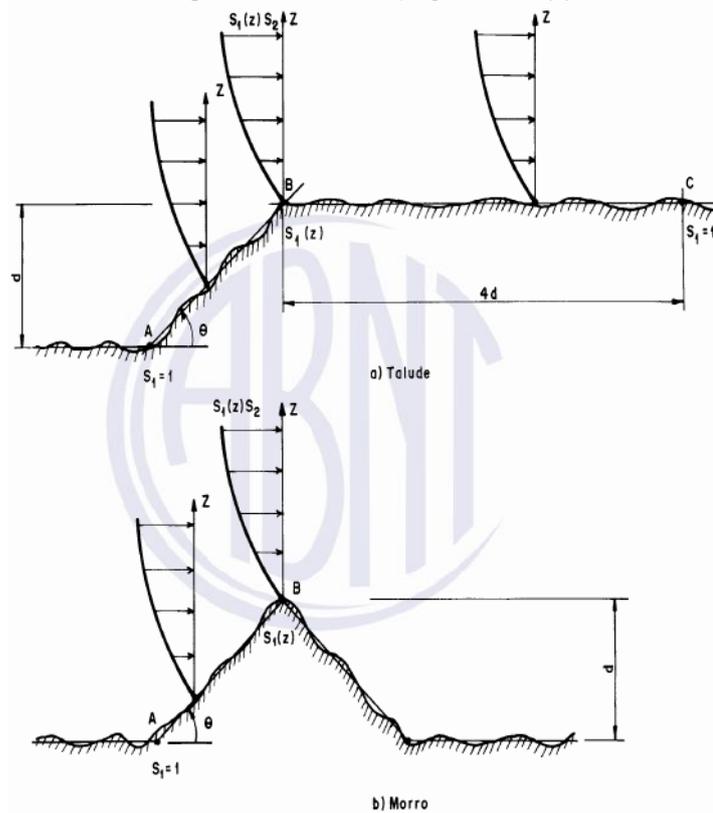
$$S_1(z) = 1,00 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) \times 0,31 \geq 1,00 \quad (2)$$

Já, para $3^\circ < \theta < 6^\circ$ e $17^\circ < \theta < 45^\circ \rightarrow$ *Interpolar linearmente*, e entre os pontos A e B e B e C como mostra a Figura 12, o fator também deve ser obtido por interpolação linear.

Já, o fator S_2 (item 5.3 da NBR6123:1988) (ABNT 1988), considera a influência da rugosidade do terreno, das dimensões das edificações ou parte da edificação estudada, e da variação do vento com a altura acima do terreno. Segundo Moliterno (2010, p.26), esse fator leva em consideração "o perfil de velocidade do vento na atmosfera conforme a altura da construção e do tipo de terreno".

Assim, o fator S_2 é utilizado em função da categoria do terreno e da classe da edificação, a NBR 6123:1988 (ABNT 1988), admite cinco categorias de terreno, a categoria I é referente a superfícies lisas de grandes dimensões; a categoria II é referente a terrenos abertos, em nível ou aproximadamente em nível que contenham poucos obstáculos isolados como arvores ou edificações baixas; a categoria III é referente a terrenos planos ou ondulados com obstáculos como, muros e edificações baixas; a categoria IV é referente aos terrenos que contenham obstáculos numerosos e pouco espaçados, como uma zona industrial ou urbanizada ou uma floresta e a categoria V é referente a terrenos que contenham obstáculos grande e numerosos, altos e com pouco espaçamento como o centro de grandes cidades.

Figura 12 - Fator topográfico $S_1(z)$



Fonte: ABNT (1988)

Com relação às edificações, considerando sua forma e tamanho, a NBR 6123:1988 (ABNT, 1988), define as seguinte classes: a Classe A refere-se a toda edificação onde a maior dimensão horizontal e vertical não exceda 20 m; a Classe B refere-se a edificações, onde a maior dimensão horizontal e vertical da superfície frontal esteja entre 20 m e 50 m e; a Classe C é referente a edificações onde a maior dimensão horizontal ou verticais da superfície frontal exceda os 50 m.

Para a altura sobre o terreno, o fator considerado no cálculo da velocidade do vento em uma altura z acima do nível geral do terreno é obtida pela equação 3, sendo que a mesma é aplicável até a altura z_g , que define o contorno superior da camada atmosférica.

$$S_2 = bF_r(z/10)^p \quad (3)$$

Onde o fator de rajada (F_r) é sempre correspondente à categoria II e " b " e " p " são parâmetros meteorológicos. Portanto, os parâmetros que permitem determinar o fator S_2 para as cinco categorias de terreno são apresentados na Figura 13, e para as categorias de rugosidade de terreno e classes de dimensão das edificações são dados pela tabela da Figura 14.

Figura 13 - Parâmetros para determinar S_2 em função das cinco categorias de terreno

Categoria	z_g (m)	Parâmetro	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
		F_r	1,00	0,98	0,95
		p	0,085	0,09	0,10
		b	0,94	0,94	0,93
III	350	p	0,10	0,105	0,115
		b	0,86	0,85	0,84
IV	420	p	0,12	0,125	0,135
		b	0,74	0,73	0,71
V	500	p	0,15	0,16	0,175

Fonte: ABNT (1988)

Figura 14 - Valores de S_2 para as categorias e classes do terreno

z (m)	Categoria														
	I			II			III			IV			V		
	Classe			Classe			Classe			Classe			Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85
40	1,20	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,89	0,86
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,95	0,92
80	1,25	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,06	1,01	1,00	0,97
100	1,26	1,26	1,25	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01
120	1,28	1,28	1,27	1,24	1,23	1,22	1,20	1,20	1,18	1,16	1,14	1,12	1,07	1,06	1,04
140	1,29	1,29	1,28	1,25	1,24	1,24	1,22	1,22	1,20	1,18	1,16	1,14	1,10	1,09	1,07
160	1,30	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,18	1,16	1,12	1,11	1,10
180	1,31	1,31	1,31	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,23	1,22	1,20	1,18	1,14	1,14	1,12
200	1,32	1,32	1,32	1,29	1,28	1,28	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,20	1,16	1,16	1,14
250	1,34	1,34	1,33	1,31	1,31	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,20	1,20	1,18
300	-	-	-	1,34	1,33	1,33	1,32	1,32	1,31	1,29	1,27	1,26	1,23	1,23	1,22
350	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,33	1,32	1,30	1,29	1,26	1,26	1,26
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,32	1,32	1,29	1,29	1,29
420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	1,35	1,33	1,30	1,30	1,30
450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,32	1,32	1,32
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,34

Fonte: ABNT (1988)

O fator S_3 (item 5.4 da NBR 6123:1988) (ABNT, 1988), é fundamentado em conceitos estatísticos, além disso, ele considera também o grau de segurança que é necessário e a vida útil da edificação. A Figura 15 indica os valores mínimos de S_3 para as edificações.

Figura 15 - Valore mínimos de S_3

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 e de forças de segurança, 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

Fonte: ABNT (1988)

Como a NBR 6123:1988 (ABNT, 1988), considera que a força do vento depende da diferença de pressão nas faces externas e internas da edificação, é adotado para a velocidade característica do vento (V_k) e para a pressão dinâmica do vento (q), as respectivas equações 4 e 5 (LOGSDON, 2002).

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3 \quad (4)$$

$$q = 0,613 \times V_k^2 \quad (5)$$

As pressões externas e internas são determinadas através de coeficiente de pressão e de forma externos e internos (c_{pe} e c_{pi}), eles são valores adimensionais que levam em consideração as dimensões e as formas da estrutura. Os coeficientes c_{pe} e c_{pi} apresentam as seguintes regras de sinais :

- Valores positivos c_{pe} e c_{pi} correspondem a sobrepessões e valores negativos correspondem a sucções;
- A diferença entre c_{pe} e c_{pi} é referente ao coeficiente de pressão efetiva (c) que atua sobre uma superfície, isto é $c = c_{pe} - c_{pi}$;
- “Um valor positivo para o coeficiente de pressão efetiva total indica uma pressão efetiva com o sentido de uma sobrepessão externa e um valor negativo indica uma pressão efetiva com sentido de uma sucção externa” (MOLITERNO, 2010, p. 30).

Através dos coeficientes de pressão externos e internos é possível determinar a força que o vento exerce em um elemento plano da edificação, atuando de forma perpendicular a ela, com regras de sinais idênticas (ABNT, 1988).

Os coeficientes externos (c_e) dependem da relação da altura da cobertura em relação ao solo (h) e o vão b . Os ventos são considerados agindo a 0° e 90° com relação ao eixo longitudinal do edifício (ABNT, 1988). Os valores podem ser obtidos através das tabelas 4 a 17 e nos anexos D, E e F da NBR 6123: 1988 (ABNT, 1988). Para projetos de coberturas usuais com duas águas são úteis as tabelas apresentadas nos Anexos A e B, onde o Anexo A apresenta a tabela 4 referente aos “coeficientes de pressão e de forma externos para paredes de edificações de planta retangular” (ABNT, 1988, p. 14), e o Anexo B apresenta a tabela 5 referente aos “coeficientes de pressão e forma externos, para telhados com duas águas, simétricos, de edificações de planta retangular” (ABNT, 1988, p. 15).

Com relação a edifícios com paredes internas permeáveis, a pressão pode ser considerada uniforme. Entretanto, para este caso devem ser adotados os seguintes valores para o coeficiente de pressão interna (c_{pi}) de acordo com a NBR 6123:1988 (ABNT, 1988):

- Para duas faces opostas igualmente permeáveis; as outras faces impermeáveis:
 - Vento perpendicular a uma face permeável: $c_{pi} = +0,2$
 - Vento perpendicular a uma face impermeável: $c_{pi} = - 0,3$
- Quatro faces igualmente permeáveis: $c_{pi} = - 0,3$ ou 0 (neste caso considerar o valor mais nocivo).

2.2.4.2 Carga de manutenção

De acordo com a NBR 6120:2019 (ABNT, 2019), a carga de manutenção deve ser considerada atuando em projeção sobre o plano horizontal para todos os elementos da cobertura. Ainda segundo a norma, as estruturas de cobertura devem ser dimensionadas para suportar uma carga de manutenção de 1,0 kN de maneira concentrada, além do carregamento permanente, na posição mais desfavorável. Além disso, esta carga deve ser considerada atuando de maneira isolada das demais forças variáveis.

2.2.4.3 Definição das cargas permanentes

Seguindo as definições da NBR 7190:1997 (ABNT, 1997), carga permanente é formada pelo peso próprio da estrutura e pelo peso das partes fixas não estruturais.

Para cálculo de peso próprio é admitido pela norma que a madeira esteja em classe 1 de umidade. Porém, quando há falta de determinação experimental, é aceita a determinação da densidade aparente de acordo com tabelas disponíveis em norma, variando com a resistência da madeira. Após o dimensionamento final da estrutura, há a avaliação do peso próprio real, este, não podendo divergir mais de 10 (unidade) do peso próprio inicial admitido em cálculo. Quando a estrutura for pregada ou parafusada, pode-se estimar o peso próprio das peças metálicas de união como 3% do peso próprio da madeira (ABNT, 1997).

De acordo com a NBR 8800:2008 Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios (ABNT, 2008), em coberturas comuns, onde não existe uma especificação mais rigorosa, deve ser prevista uma sobrecarga característica mínima de $0,25 \text{ kN/m}^2$ em projeção horizontal especificado em seu item B.5.1. Essa carga é referente ao peso das partes fixas não estruturais, ou seja, ela engloba as cargas decorrentes de instalações elétricas, hidráulicas, sanitárias, de isolamento térmico e acústicos, etc. Ainda segundo a norma, em casos especiais pode-se determinar a sobrecarga da estrutura de acordo com a sua finalidade, entretanto, com um valor mínimo igual ao especificado em seu item B.5.1.

A consideração das cargas permanentes atuando em projeção horizontal ou plana tem o objetivo de simplificar o cálculo estático. Para essas condições é necessário dividir a carga unitária da cobertura pelo cosseno do ângulo de inclinação. Com relação ao peso próprio da estrutura, as seções são adotadas inicialmente por intuição, onde podem ou não ter suas dimensões alteradas no cálculo de verificação da estabilidade (MOLITERNO, 2010).

Com relação ao levantamento das cargas resultantes da atuação do peso próprio da estrutura, para o peso próprio da tesoura, pode ser considerada a densidade da madeira e a seção transversal das peças.

Segundo Moliterno (2010), para as terças deve ser considerado um vão máximo (V_m) entre elas, que depende do tipo de telha utilizada, para telhas do tipo Marselha o $V_m = 3,0 \text{ m}$, para telhas do tipo colonial, o $V_m = 2,5 \text{ m}$ e para telhas de fibrocimento $V_m = 4,0 \text{ m}$.

2.2.4.4 Ações de segurança

As ações são as causas de esforços ou de deformações na estrutura. Segundo Moliterno (2010), essas forças e deformações impostas pelas ações, são consideradas como as próprias ações, sendo que as deformações são por vezes impostas por ações indiretas e as forças por ações diretas.

Além das ações permanentes que podem ser subdivididas em diretas e indiretas, onde as permanentes diretas derivam do peso próprio da estrutura, dos elementos fixos não estruturais e as permanentes indiretas derivam de recalques de apoio e da retração de materiais. A NBR 7190:1997 (ABNT, 1997), considera também as:

- Ações variáveis: são ações que ocorrem com valores que apresentam significativas variações em torno de sua média durante toda a vida da construção
- Ações excepcionais: são as resultantes de ações que possuem uma curta duração e uma baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, mas que em alguns casos devem ser consideradas.

Já, as ações variáveis que atuam na estrutura em função do seu uso são decorrentes de cargas acidentais como pessoas, mobília, veículos, ventos, etc. (ABNT, 1997).

Com relação aos valores representativos das ações, a NBR 7190:1997 (ABNT 1997), estabelece: os valores característicos das ações variáveis, os valores característicos dos pesos próprios, os valores característicos de outras ações permanentes, os valores reduzidos de combinações, os valores reduzidos de utilização.

Onde os valores característicos F_k das ações variáveis são definidos em função da viabilidade de suas intensidades, considerando a probabilidade de serem ultrapassados em um dado tempo, os valores característicos das ações permanentes, com base em estruturas análogas corresponde à quantia de 95% quando desfavoráveis e a quantia de 5% quando favoráveis (MOLITERNO, 2010).

Com relação os valores característicos G_k dos pesos próprios da estrutura, eles são calculados com as dimensões nominais da estrutura e com o valor do peso específico médios no material utilizado (ANBT, 1997).

Para outras ações permanentes, o peso próprio da estrutura, são definidos dois valores, o valor característico superior e inferior ($G_{k,sup}$ e $G_{k,inf}$) ambos com relação a um valor médio (G_m). Entretanto, a NBR 7190:1997 (ABNT, 1997), considera geralmente nos projetos, apenas o $G_{k,sup}$, sendo considerado o $G_{k,inf}$ em situações que a segurança diminui com a redução das cargas permanentes aplicadas.

A determinação dos valores reduzidos de combinação a partir dos valores característicos é realizada através da expressão $\psi_0 F_k$ e são considerados nas condições de segurança relativas aos estados limites últimos na existência de ações variáveis de naturezas diferentes. Os valores de $\psi_0 F_k$ consideram que a probabilidade da ocorrência de forma simultânea de duas ações com características de natureza diferentes é muito baixa (ABNT, 1997).

Com relação a verificação de segurança relacionada ao estados limites de utilização, as ações variáveis são consideradas com valores equivalentes às condições de serviço, sendo empregado valores frequentes ou de média duração, que são calculados pela expressão $\psi_1 F_k$, e os valores referente a ações quase permanentes, ou de longa duração são calculados através da expressão $\psi_2 F_k$ (ABNT, 1997). Para fatores de combinação e fatores de utilização, a Figura 16, apresentada os valores usuais.

Figura 16 - Valores referentes aos fatores de combinação e utilização

Ações em estruturas correntes	ψ_0	ψ_1	ψ_2
- Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
- Pressão dinâmica do vento	0,5	0,2	0
Cargas acidentais dos edifícios	ψ_0	ψ_1	ψ_2
- Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos fixos, nem de elevadas concentrações de pessoas	0,4	0,3	0,2
- Locais onde há predominância de pesos de equipamentos fixos, ou de elevadas concentrações de pessoas	0,7	0,6	0,4
- Bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	ψ_0	ψ_1	ψ_2
- Pontes de pedestres	0,4	0,3	0,2 ¹⁾
- Pontes rodoviárias	0,6	0,4	0,2 ¹⁾
- Pontes ferroviárias (ferrovias não especializadas)	0,8	0,6	0,4 ¹⁾

¹⁾ Admite-se $\psi_2 = 0$ quando a ação variável principal corresponde a um efeito sísmico.

Fonte: ABNT (1997)

Com relação estados limites citados anteriormente, eles são referentes a estados ao qual a estrutura apresenta um desempenho inadequado em função da finalidade para qual foi construída, os estados limites últimos são os estados que pela sua simples ocorrência determinam a paralisação no todo ou em parte do uso da

construção. Nos projetos, eles devem sempre ser caracterizados pela perda de equilíbrio, global ou parcial, quando admitida a estrutura como um corpo rígido, pela ruptura ou deformação plástica excessiva dos materiais e pela transformação da estrutura, no todo ou em parte em sistema hipoestático. Os estados limites de utilização são os estados que pela sua ocorrência, repetição ou duração, causam efeitos estruturais que não respeitam as condições especificadas ou que representam sinais de comprometimento da resistência da estrutura (ABNT, 1997). Segundo Moliterno (2010), esses estados derivam de ações onde as combinações podem ser compostas por três diferentes ordens de grandeza de permanência na estrutura.

Com relação as condições de segurança para os estados limites, a NBR 7190:1997, estabelece além das condições construtivas a seguinte condição analítica de segurança é dada pela expressão 6.

$$S_d < R_d \quad (6)$$

Onde R_d é referente aos valores de cálculo dos esforços resistentes e S_d é referente aos valores de cálculo dos correspondentes esforços atuantes, geralmente devido ao carregamento normal. Quando calculado em regime elástico linear, o coeficiente de ponderação γ_f , segundo Moliterno (2010), pode ser aplicado nas ações características e no esforço característico.

Além disso, para elaborar um projeto estrutural, as ações existentes devem ser combinadas com a aplicação de coeficientes que levem em consideração a probabilidade das solicitações ocorrerem de forma simultânea (SZÜCS et al., 2015). Assim, as combinações são correspondentes às ações combinadas conforme a sua natureza. Para os estados limites últimos têm-se as seguintes combinações de ação apresentadas na NBR 7190:1997 (1997):

- Combinações últimas normais tem-se a equação 7.

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} F_{Gi,k} + \gamma_Q \left[F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,k} \right] \quad (7)$$

“No caso de o vento ser uma ação variável principal a sua solicitação deve ser multiplicada por 0,75” (MOLITERNO, 2010, p. 68)

- Combinações últimas especiais e de construção são obtidas pela equação 8.

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} F_{Gi,k} + \gamma_Q \left[F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j,ef} F_{Qj,k} \right] \quad (8)$$

- Combinação últimas excepcionais são dadas pela equação 9.

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} F_{Gi,k} + F_{Q,exc} + \gamma_Q \sum_{j=1}^n \psi_{0j,ef} F_{Qj,k} \quad (9)$$

Segundo a NBR 7190:1997 (ABNT, 1997), para uma determinada ação permanente, todas as parcelas que a compõe são ponderadas pelo mesmo coeficiente de ponderação γ_g , a norma não admite para este caso que algumas partes sejam majoradas e outras minoradas. Os γ_g referentes às ações permanentes devem ser tomados com os valores indicados pelos quadros abaixo. Para as ações permanentes de grande variabilidade, quando o peso próprio da estrutura não supera os 75% do total de pesos considerados para este caso, são considerados os coeficientes do Quadro 1.

Quadro 1 - γ_g para ações permanentes de grande variabilidade.

Combinações	Para efeitos	
	Desfavoráveis	Favoráveis
Normais	$\gamma_g = 1,4$	$\gamma_g = 0,9$
Especiais ou de construção	$\gamma_g = 1,3$	$\gamma_g = 0,9$
Excepcionais	$\gamma_g = 1,2$	$\gamma_g = 0,9$

Fonte: Adaptado pela Autora, com base em ABNT (1997)

Para as ações permanentes de pequena variabilidade, quando o peso da estrutura supera os 75% do total das cargas permanentes, tem-se o Quadro 2 como referência para os valores de γ_g .

Quadro 2 - γ_g para ações permanentes de pequena variabilidade

Combinações	Para efeitos	
	Desfavoráveis	Favoráveis
Normais	$\gamma_g = 1,3$	$\gamma_g = 1,0$
Especiais ou de construção	$\gamma_g = 1,2$	$\gamma_g = 1,0$
Excepcionais	$\gamma_g = 1,1$	$\gamma_g = 1,0$

Fonte: Adaptado pela Autora, com base em ABNT (1997)

Para efeitos de cargas permanentes indiretas, como recalque de apoio e de retração dos materiais, são adotados os valores de γ_g do Quadro 3.

Quadro 3 - γ_g para ações permanentes indiretas

Combinações	Para efeitos	
	Desfavoráveis	Favoráveis
Normais	$\gamma_g = 1,2$	$\gamma_g = 0$
Especiais ou de construção	$\gamma_g = 1,2$	$\gamma_g = 0$
Excepcionais	$\gamma_g = 0$	$\gamma_g = 0$

Fonte: Adaptado pela Autora, com base em ABNT (1997).

De acordo com Moliterno (2010), as ações variáveis só são consideradas se provocarem efeitos desfavoráveis, para este caso os valores de γ_g são indicados no Quadro 4.

Quadro 4 - γ_g para ações variáveis

Combinações	Ações variáveis em geral incluídas as cargas acidentais móveis	Efeitos de temperatura
Normais	$\gamma_g = 1,4$	$\gamma_g = 1,2$
Especiais ou de construção	$\gamma_g = 1,2$	$\gamma_g = 1,0$
Excepcionais	$\gamma_g = 1,0$	$\gamma_g = 0$

Fonte: Adaptado pela Autora, com base em ABNT (1997)

Já as combinações de ações apresentada na NBR7190 para os estados limites de utilização são:

- Combinações de longa duração são obtidas através da equação 10.

$$F_{d,util} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2,j} F_{Qj,k} \quad (10)$$

- Combinações de média duração são obtidas através da equação 11.

$$F_{d,util} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2,j} F_{Qj,k} \quad (11)$$

- Combinações de curta duração são obtidas através da equação 12.

$$F_{d,util} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2,j} F_{Qj,k} \quad (12)$$

- Combinação de duração instantânea é obtida através da equação 13.

$$F_{d,util} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q,especial} + \sum_{j=2}^n \psi_{2,j} F_{Qj,k} \quad (13)$$

2.2.4.5 Resistência da madeira

Para o projeto de estruturas de madeira, a caracterização das propriedades da madeira deve ser feita seguindo os métodos de ensaio especificados no anexo B na NBR 7190:1997 (ABNT, 1997). A norma admite que para a tração e compressão seja utilizado um coeficiente de variação de 18%, e para o cisalhamento, de 28%. Tem-se assim as equações 14, 15 e 16.

$$f_{c0,k} = 0,70 \times f_{c0,m} \quad (14)$$

$$f_{t0,k} = 0,70 \times f_{t0,m} \quad (15)$$

$$f_{v0,k} = 0,54 \times f_{v0,m} \quad (16)$$

Onde $f_{c,0}$ é referente à compressão paralela às fibras, $f_{t,0}$ é referente a resistência à tração paralela às fibras, e $f_{v,0}$ é referente ao cisalhamento paralelo às fibras. Para obter os valores de resistência de cálculo, a norma utiliza-se da equação 17.

$$f_d = k_{mod} \times \frac{f_k}{\gamma_w} \quad (17)$$

Onde γ_w é o coeficiente de ponderação da resistência da madeira. Os valores são especificados no Quadro 5

Quadro 5 - γ_w correspondentes à resistência da madeira para os estados limites últimos

Compressão paralela às fibras	$\gamma_{wc} = 1,4$
Tração paralela às fibras	$\gamma_{wt} = 1,8$
Cisalhamento paralelo às fibras	$\gamma_{wv} = 1,8$
Estados limites de utilização	$\gamma_w = 1,0$

Fonte: Autora com base em ABNT (1997)

Com relação ao coeficiente modificador (k_{mod}), ele é obtido através do produto de três coeficientes, como mostra a equação 18.

$$k_{mod} = k_{mod,1} \times k_{mod,2} \times k_{mod,3} \quad (18)$$

O coeficiente $k_{mod,1}$ leva em conta a duração do carregamento e o tipo de material empregado, os valores podem ser obtidos através do quadro 6. Já o coeficiente $k_{mod,2}$ leva em consideração a classe de umidade do ambiente, e o tipo de material que é empregado, os valores são dados pelo Quadro 7. Entretanto, em casos particulares, quando a madeira serrada encontra-se submersa admite-se $k_{mod,2} = 0,65$ (ABNT, 1997).

Quadro 6 - Valores referentes ao $k_{mod,1}$

Classes de carregamento	Tipo de madeira	
	Madeira serrada, colada e compensada	Madeira recomposta
Permanente	0,6	0,3
Longa duração	0,7	0,45
Média duração	0,8	0,65
Curta duração	0,9	0,90
Instantânea	1,0	1,10

Fonte: ABNT (1997)

Quadro 7 - Valores referentes ao $k_{mod,2}$

Classes de carregamento	Tipo de madeira	
	Madeira serrada, colada e compensada	Madeira recomposta
1 e 2	1,0	1,0
3 e 4	0,8	0,9

Fonte: Adaptado pela Autora, com base em ABNT (1997)

Por fim, o coeficiente $k_{mod,3}$ leva em conta se a madeira é de primeira ou segunda categoria, no caso de madeira de primeira categoria tem-se que $k_{mod,3} = 1,0$ e no caso da madeira ser de segunda categoria tem-se que $k_{mod,3} = 0,8$. Onde, segundo a ABNT (1997), a madeira pode ser classificada como de primeira categoria se as peças estruturais forem isentas de defeitos. No caso de madeira coníferas, na forma de peças estruturais maciças de madeira serrada, o coeficiente deve ser sempre igual a $k_{mod,3} = 0,8$ (ABNT, 1997).

Nas verificações de segurança que dependem da rigidez da madeira, o módulo de elasticidade paralelo às fibras ($E_{c,0}$) deve ser tomado com o valor efetivo através da equação 19, onde, $E_{c0,m}$ é o valor médio da elasticidade na compressão paralela às fibras.

$$E_{c0,ef} = k_{mod,1} \times k_{mod,2} \times k_{mod,3} \times E_{c0,m} \quad (19)$$

2.2.4.6 Condição de segurança para as solicitações normais

a) Tração

Nas barras sujeitas a tração axial, a NBR 7190 expressa condição de segurança, dada pela expressão 20, onde σ_{td} é a tensão de tração solicitante de projeto e f_{td} é a resistência a tração.

$$\sigma_{td} \leq f_{td} \quad (20)$$

Onde, tem-se $f_{td} = f_{t0,d}$, porém para inclinações das fibras da madeira com relação ao eixo longitudinal maiores que $\alpha = 6^\circ$ é necessário considerar a redução de resistência fazendo $f_{td} = f_{t\alpha,d}$ dada pela formula de Hankinson (ABNT, 1997).

b) Compressão

Com relação as barras sujeitas a compressão axial, a condição de segurança é dada pela expressão 21.

$$\sigma_{cd} \leq f_{cd} \quad (21)$$

Onde σ_{cd} é a tensão de compressão solicitante de projeto e f_{cd} a resistência à compressão.

Da mesma forma que para a tração axial, a norma permite que seja ignorada a influência de uma eventual inclinação das fibras da madeira com relação ao eixo longitudinal da peça comprimida até um ângulo $\alpha = 6^\circ$, considerando $f_{cd} = f_{c0,d}$, já para inclinações maiores $f_{cd} = f_{c\alpha,d}$ dada pela formula de Hankinson (ABNT, 1997).

Para as peças submetidas à compressão normal às fibras, a condição de segurança é dada pela expressão 22.

$$\sigma_{c90,d} \leq f_{c90,d} \quad (22)$$

Onde $\sigma_{c90,d}$ é tensão de compressão normal às fibras e $f_{c90,d}$ é a resistência à compressão normal às fibras, ela é determinada pela equação 23.

$$f_{c90,d} = 0,25f_{c0,d} \times \alpha_n \quad (23)$$

Onde o valor do coeficiente α_n é igual a 1 em caso de ser a extensão da carga, medida na direção das fibras, maior ou igual a 15 cm, porém se a extensão for menor que 15 cm, e a carga estiver afastada pelo menos 7,5 cm, esse coeficiente é dado pelo Quadro 8.

Quadro 8 - Valores de α_n

Extensão da carga normal às fibras, medida paralelamente a estas em cm	α_n
1	2,00
2	1,7
3	1,55
4	1,40
5	1,30
7,5	1,15
10	1,10
15	1,00

Fonte: Adaptado pela Autora, com base em ABNT (1997)

c) Flexão simples reta

Na flexão simples reta, é considerado o vão teórico para as peças fletidas como o menor valor entre a distância entre eixos de apoio e o vão livre da altura da seção transversal da peça no meio do vão, não sendo considerados acréscimos maiores que 10 m.

Quando o plano de ação do momento fletor possui um dos eixos centrais de inércia, a segurança é dada pela verificação simultânea das expressões 24 e 25. (ABNT, 1997).

$$\sigma_{c1,d} \leq f_{cd} \quad (24)$$

$$\sigma_{t2,d} \leq f_{td} \quad (25)$$

Onde $\sigma_{c1,d}$ e $\sigma_{t2,d}$ são respectivamente, as tensões atuantes de cálculo nas bordas mais comprimidas e mais tracionadas da seção transversal considerada (ABNT, 1997).

Tem-se para $\sigma_{c1,d}$ e $\sigma_{t2,d}$ as seguintes equações 26 e 27.

$$\sigma_{c1,d} = \frac{M_d}{W_c} \quad (26)$$

$$\sigma_{t2,d} = \frac{M_d}{W_t} \quad (27)$$

E para W_c e W_t as equações 28 e 29.

$$W_c = \frac{I}{y_{c1}} \quad (28)$$

$$W_t = \frac{I}{y_{t2}} \quad (29)$$

Onde M_d é o valor de cálculo do momento, W_c e W_t são os respectivos módulos de resistência para compressão e tração, I é referente ao momento de inércia da seção transversal resistente, y_{c1} é a distância da borda mais comprimida até a linha neutra, e y_{t2} é a distância da borda mais tracionada até a linha neutra.

d) Flexão simples oblíqua

Quando o plano de ação do momento fletor não possui nenhum dos eixos centrais de inércia a condição de segurança é expressa pela mais rigorosa dentre as equações 30 e 31.

$$\frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{wd}} + k_M \times \frac{\sigma_{My,d}}{f_{wd}} \leq 1 \quad (30)$$

$$k_M \times \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{wd}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{wd}} \leq 1 \quad (31)$$

Onde $\sigma_{Mx,d}$ e $\sigma_{My,d}$ são as máximas tensões devidas as componentes de flexão que atuam nas direções principais e f_{wd} é a resistência de cálculo, de tração ou de compressão, de acordo com a borda verificada

Para o coeficiente k_M de correção tem-se:

$$k_M = 0,5 \text{ para seções retangulares}$$

$$k_M = 1 \text{ para outras seções}$$

Segundo Moliterno (2010, p.79):

as tensões atuantes nos numeradores são as máximas devidas às componentes de flexão atuantes segundo as direções principais, e as resistências de cálculo nos denominadores são de tração e de compressão conforme o caso.

e) Flexotração

Nas barras submetidas a esta condição a segurança é expressa pela mais rigorosa das duas expressões, 32 e 33, aplicadas no ponto mais solicitado da borda mais tracionada.

$$\frac{\sigma_{Nt,d}}{f_{t0,d}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{t0,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{t0,d}} \leq 1 \quad (32)$$

$$\frac{\sigma_{Nt,d}}{f_{t0,d}} + k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{t0,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{t0,d}} \leq 1 \quad (33)$$

Neste caso $\sigma_{Nt,d}$ é o valor de cálculo referente a parcela de tensão normal que atua na peça em virtude da força normal de tração, $f_{t0,d}$ e a resistência de cálculo à tração paralela às fibras.

f) Flexocompressão

Além da verificação da estabilidade, para este caso, vale também a mais rigorosa das expressões, 34 e 35, no ponto mais solicitado à compressão da seção.

$$\left[\frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{c0,d}} \right]^2 + k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (34)$$

$$\left[\frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{c0,d}} \right]^2 + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{c0,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (35)$$

Onde $\sigma_{Nc,d}$ é o valor de cálculo referente a parcela de tensão normal atuante em decorrência apenas da força normal de compressão e $f_{c0,d}$ é a resistência de cálculo à compressão paralela às fibras.

2.2.4.7 Solicitações tangenciais

Com relação ao cisalhamento longitudinal, as vigas submetidas à flexão com força cortante, a condição de segurança dada pela NBR 7190 com relação às tensões tangenciais é expressa pela condição 36.

$$\tau_d \leq f_{v0,d} \quad (36)$$

Onde τ_d é a máxima tensão de cisalhamento que atua no ponto mais solicitado da peça. No caso de vigas que possuam uma seção transversal retangular de largura (b) e altura (h), tem-se a equação 37, onde V_d é a força cortante.

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{V_d}{b \times h} \quad (37)$$

Para cargas concentradas junto aos apoios, nas vigas de altura h , segundo Moliterno (2010), se possuem cargas concentradas a uma distância $a \leq 2h$ do eixo de apoio, pode ser utilizada uma força cortante reduzida (V_{red}) expressa pela equação 38, onde V é referente à força cortante.

$$V_{red} = V \times \frac{a}{2h} \quad (38)$$

De acordo com ABNT (1997), a torção de equilíbrio em peças de madeira deve ser evitada, por conta do risco de ruptura por tração normal às fibras que é decorrente do estado de tensão múltiplo atuante

2.2.4.8 Estabilidade

De acordo com a NBR 7190:1997 (ABNT, 1997), nas peças solicitadas apenas pela compressão simples, devem ser dimensionadas admitindo-se uma excentricidade acidental derivada do esforço de compressão, por conta das imperfeições geométricas das peças e das inevitáveis excentricidades causadas pelos carregamentos, levando em conta ainda os acréscimos gerados por estas excentricidades em decorrência dos efeitos de segunda ordem e nas peças esbeltas, da fluência da madeira.

As exigências que a NBR 7190 impõe ao dimensionamento são dependentes o índice de esbeltez (λ) da peça determinado pela equação 39.

$$\lambda = \frac{L_0}{i_{\min.}} \quad (39)$$

Onde o L_0 é um comprimento teórico de referência e o $i_{\min.}$ é o raio de giração mínimo da seção transversal da peça.

A excentricidade acidental devida às imperfeições geométrica das peças, é adotada de acordo com a equação 40.

$$e_a = \frac{L_0}{300} \quad (40)$$

Nas peças comprimidas com $\lambda \leq 40$, ou seja, em peças curtas, que na situação de projeto estão admitidas como solicitadas apenas à compressão simples, as considerações referentes a eventuais efeitos de flexão podem ser desconsideradas. Entretanto se na situação de projeto são admitidas solicitações referente à flexocompressão, elas devem ser dimensionadas seguindo as condições de segurança expressas para a condição de flexocompressão.

Para as peças medianamente esbeltas, ou seja $40 < \lambda \leq 80$, segundo a NBR 7190:1997 (ABNT, 1997), que na situação de projeto foram submetidas a flexocompressão com os esforços de cálculo N_d e M_{1d} , além das condições definidas pela condição de flexocompressão, também devem ser verificadas a segurança em relação ao estado limite último de estabilidade. Onde a verificação do estado limite último de instabilidade é feita pela equação 41.

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (41)$$

Onde σ_{Nd} e σ_{Md} são referentes ao valor de cálculo da tensão de compressão decorrente do esforço normal (N_d) de compressão e ao valor de cálculo da tensão de compressão devido ao momento fletor (M_d).

Assim, para M_d tem-se a equação 42.

$$M_d = N_d \times e_d \quad (42)$$

Sendo e_d a excentricidade de cálculo, dada pela equação 43.

$$e_d = e_1 \left(\frac{F_E}{F_E - N_d} \right) \quad (43)$$

Onde e_1 é a excentricidade de primeira ordem, e_i é a excentricidade de primeira ordem decorrente da situação do projeto e e_a é a excentricidade acidental mínima. e_1 pode ser obtida através da equação 44.

$$e_1 = e_i + e_a \quad (44)$$

E para a carga de Euler (F_E) tem-se a equação 45.

$$F_E = \frac{\pi^2 \times E_{c0,ef} \times I}{L_0^2} \quad (45)$$

E finalmente, com relação as peças esbeltas, ou seja, aquela em que $\lambda > 80$, a verificação do estado limite último relacionado a estabilidade é feita pela equação 46.

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (46)$$

aplicada para os planos de rigidez mínima e máxima da peça, onde M_d é obtido pela equação 47.

$$M_d = N_d \times e_{1,ef} \times \left(\frac{F_E}{F_E - N_d} \right) \quad (47)$$

Para excentricidade efetiva de primeira ($e_{1,ef}$) ordem tem-se a equação 48.

$$e_{1,ef} = e_1 + e_c = e_i + e_a + e_c \quad (48)$$

Com relação a e_i , tem-se a equação 49, onde M_{1gd} e M_{1qd} são os valores de cálculo na situação de projeto, referentes aos momentos causados pelas cargas permanentes e pelas cargas variáveis.

$$e_i = \frac{M_{1gd} + M_{1qd}}{N_d} \quad (49)$$

E a excentricidade acidental mínima (e_a) e dada pela equação 50 e a excentricidade suplementar de primeira ordem (e_c) que representa a fluência da madeira é dada pela equação 51.

$$e_a = \frac{L_0}{300} \quad (50)$$

$$e_c = (e_{ig} + e_a) \left\{ \exp \left[\frac{\phi [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2) \times N_{qk}]}{F_E - [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2) \times N_{qk}]} \right] \right\} \quad \text{com } \psi_1 + \psi_2 \leq 1 \quad (51)$$

Onde N_{gk} e N_{qk} são valores característicos da força normal relacionada às cargas permanentes, com ψ_1 e ψ_2 dados pela figura 13 apresentada anteriormente, e a excentricidade de primeira ordem referente às cargas permanentes (e_{ig}) é dada pela equação 52.

$$e_{ig} = \frac{M_{1g,d}}{N_{g,d}} \quad (52)$$

Onde $M_{1g,d}$ é referente ao valor de cálculo do momento fletor devido apenas às ações permanentes, e N_{gd} é referente ao esforço normal de cálculo devido apenas às ações permanentes.

Com relação ao coeficiente de fluência (ϕ), ele é dado em função da classe de carregamento e da classe de umidade da madeira, como mostra o Quadro 9.

Quadro 9 - Valores referentes ao coeficiente de fluência (ϕ)

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

Fonte: Adaptado pela Autora, com base em ABNT (1997)

2.3 Pensamento do Ciclo de Vida

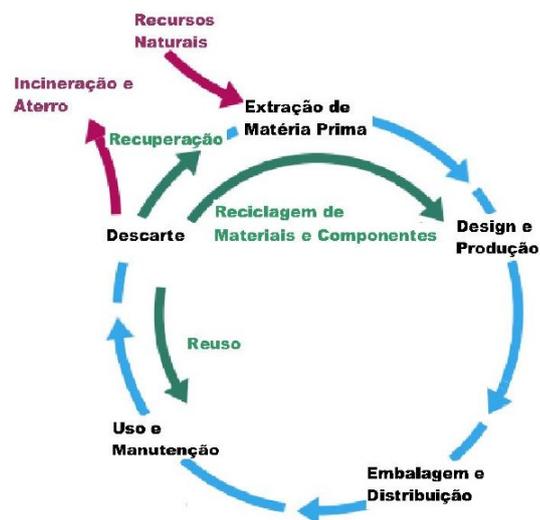
Os primeiros passos para a concretização do desenvolvimento sustentável na década de 1960 possibilitaram o surgimento, na década seguinte, do conceito do Pensamento do Ciclo de Vida – *Life Cycle Thinking* (LCT) (MILANI, 2020). Segundo o IBICT (2017), esse conceito é uma abordagem sistêmica que torna possível entender como as nossas escolhas influenciam o que acontece em cada etapa do ciclo de vida de um produto, desde a aquisição da matéria prima necessária até a disposição final.

Para Vitorio Junior (2020, p. 30), o “Pensamento do Ciclo de Vida (PCV) expande o conceito estabelecido de produção mais limpa para incluir o ciclo de vida completo do produto e sua sustentabilidade”. Ainda de acordo com o autor, cada etapa do ciclo de vida exposto na Figura 17 possui potencial para reduzir os recursos utilizados, consumos, e melhorar o desempenho do produto.

Dessa forma, o PCV é algo bastante amplo, sendo um processo de conscientização “[...] da condição sistêmica dos processos produtivos, que se inter-relacionam com os ambientes naturais e causam impactos ambientais” (IBICT, 2017, p. 12). Seus principais objetivos são reduzir o uso dos recursos naturais e as emissões para o meio ambiente, e melhorar o desempenho socioeconômico ao longo do ciclo de vida (VITORIO JUNIOR, 2020; MILANI, 2020). Segundo Vitorio Junior (2020, p. 29), esses objetivos podem “[...] facilitar os vínculos entre as dimensões econômica,

social e ambiental dentro de uma organização e em toda a sua cadeia de valor”, onde as ferramentas de PCV estimulam as mudanças necessárias para se alcançar o desenvolvimento sustentável através da avaliação dos impactos econômicos, ambientais e sociais.

Figura 17 - Fases do ciclo de vida do produto



Fonte: Costa (2012, p. 50)

2.3.1 Avaliação do Ciclo de Vida

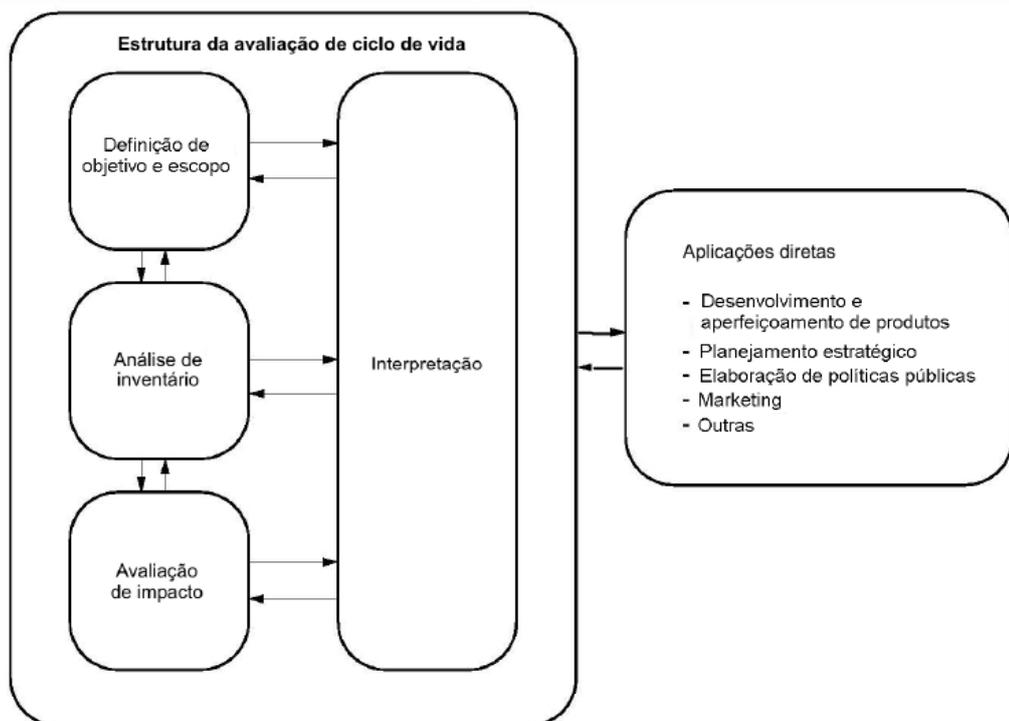
A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) se destaca dentro da Avaliação objetiva da sustentabilidade por meio do PCV (VITORIO JUNIOR, 2020). Ela pode ser aplicada com o objetivo de melhorar a sustentabilidade na indústria da construção civil através da tomada de decisões (COSTA, 2012).

Segundo Lattmann (2019, p. 13), “[...] a ACV é um método científico normatizado que mensura o impacto ambiental de um produto ou serviço em todas as suas fases de vida.” Alguns indicadores, tais como consumo de água, acidificação terrestre, emissão de gases nocivos como o dióxido de carbono, escassez de recursos, entre outros, demonstram o impacto ambiental, permitindo a comparação entre diferentes produtos quanto aos impactos causados em diferentes abordagens. Dessa forma, a ACV proporciona uma visão ampla dos impactos ambientais que são gerados por um determinado processo, consistindo na associação de dados, obtidos através do inventário do ciclo de vida, com categorias de impactos específicas através de métodos diferentes de avaliação (FLORINDO *et al.* 2015).

A normatização da Avaliação do Ciclo Vida é feita pela Organização Internacional de Normatização (ISO – *International Organization for Standardization*) através da série 14040 (ISO, 2006a). No Brasil, os cálculos e metodologia que deve ser utilizada em uma ACV são padronizadas através das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR ISO 14040:2009 Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida - princípios e estrutura (ABNT, 2009a), que apresenta a estrutura de uma ACV, delimitando-a em quatro fases. O relacionamento entre as fases é apresentado na Figura 18, e a NBR ISO 14044:2009 Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida - requisitos e orientações (ABNT, 2009b), que fornece todas as orientações e requisitos para que a avaliação seja realizada de maneira adequada.

De acordo com a NBR 14040:2009, os resultados obtidos através da ACV podem ser muito úteis em uma grande variedade de processos decisórios. Para Costa (2012, p. 51), além de ser uma ferramenta pertinente na tomada de decisões, a ACV pode ser utilizada para selecionar indicadores ambientais que sejam relevantes dentro da avaliação de projetos, e também “[...] ajuda as empresas a tornarem-se mais familiarizadas com as propriedades ambientais e melhorar o seu sistema de gestão ambiental para buscar a sustentabilidade em suas diretrizes organizacionais”.

Figura 18 - Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida



Fonte: ABNT (2009a)

2.3.1.1 Definição de objetivo e escopo

Esta é uma das etapas mais importantes dentro da ACV, e tem como objetivo especificar as unidades de processo que serão avaliadas e qual será a unidade funcional (MACEDO, 2011). De acordo com a NBR ISO 14044:2009, a unidade funcional de um sistema deve ser clara e mensurável, pois ela tem como objetivo principal fornecer uma referência para a normalização no sentido matemático dos dados de entrada e saída.

O objetivo deve definir de maneira clara qual a aplicação pretendida, as razões existentes para a realização do estudo, e o público à que ele é destinado, além da existência, ou não, da utilização dos resultados em afirmações comparativas (ABNT, 2009b). Já o escopo, segundo Costa (2012, p. 58), “[...] deve delinear todos os meios para que o objetivo seja alcançado”. Ele deve determinar e detalhar qual será a abrangência do estudo, buscando que o mesmo seja compatível e suficiente para atender o objetivo proposto, e deve determinar de forma clara quais as funções do sistema em estudo (ABNT, 2009a; ABNT, 2009b).

Além disso, as fronteiras do sistema determinam quais os processos unitários que serão incluídos na ACV, elas devem ser consistentes com o objetivo do estudo. Ainda segundo Vitorio Junior (2020, p. 30), “[...] devem ser determinadas quais categorias de impacto, indicadores das categorias e modelos de caracterização serão incluídos no estudo de ACV”, pois de acordo com o autor, a ACV é uma técnica iterativa, onde “[...] vários aspectos do escopo podem exigir modificações visando a atender ao objetivo original do estudo” na medida que são coletados os dados e as informações necessárias.

2.3.1.2 Inventário do Ciclo de Vida

O plano inicial para a realização desta etapa da ACV é fornecido através da definição do objetivo e escopo do estudo (COSTA, 2012). A análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) “[...] é a compilação e a quantificação (procedimentos de cálculo) dos dados de entradas e saídas associadas ao sistema em estudo. Essa etapa envolve a coleta dos dados para o alcance dos objetivos de estudo em questão” (VITORIO JUNIOR, 2020, p. 30).

De acordo com a ANBT ISO 14040:2009 (ABNT, 2009a), o ICV envolve a coleta de dados, os cálculos com dados, e a alocação de fluxos. Para a realização do

ICV é necessário que dados confiáveis sejam obtidos, essa coleta deve ser realizada por partes, e uma análise de cada etapa construtiva deve ser feita, assim como o desmembramento do produto em componentes (MACEDO, 2011). A fase de construção do ICV é apontada, segundo Milani (2020, p. 60), como “[...] a fase de coleta de dados correspondentes às entradas e às saídas para todos os processos do sistema avaliado, sendo que esses dados fazem referência à unidade funcional definida na fase de definição do objetivo e escopo”.

Os dados quantitativos e qualitativos inseridos no ICV são utilizados na quantificação das entradas e saídas dos processos elementares incluídos na fronteira do sistema, para cada processo deve ser realizada a coleta dos dados. Os dados primários são aqueles coletados pelo responsável pela ACV, são obtidos por meio de coletas e medições; os dados secundários são obtidos através de fontes disponíveis ao público, com relação a tais dados é provável que adaptações e ajustes sejam necessários para trazê-los para dentro do estudo realizado, sempre que esses dados forem utilizados as fontes devem ser referenciadas (ABNT, 2009b; VITORIO JUNIOR, 2020).

Além disso, uma validação dos dados deve ser realizada durante o processo de coleta para atestar a qualidade com relação a aplicação destinada (VITORIO JUNIOR, 2020). Segundo a NBR ISO 14044:2009 (ABNT, 2009b), dentro do ICV todos os procedimentos de cálculos que forem realizados devem ser documentados de maneira clara, e as estimativas utilizadas devem ser justificadas. Os resultados obtidos através do ICV são apresentados em forma de emissões que estão relacionadas à categoria de impactos ambientais, ou seja, cada emissão está relacionada a um impacto ambiental (MACEDO, 2011).

2.3.1.3 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

Nesta fase é realizada a análise dos resultados que foram obtidos através do inventário. De acordo com Medeiros, Durante e Callejas, (2018, p. 370), “[...] os dados coletados são convertidos em indicadores de impactos relacionados às categorias de impacto ambiental descritas na concepção do escopo”. As informações adicionais que auxiliam na análise dos resultados fornecidos pelo ICV são obtidas através da Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV), que “[...] visa o entendimento e a

investigação da magnitude e significância dos impactos potenciais de um sistema” (VITORIO JUNIOR, 2020, p. 31).

A AICV é composta por elementos obrigatórios e opcionais, segundo a NBR ISO 14044:2009, os elementos obrigatórios que devem ser incluídos nesta fase são: “[...] seleção das categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização”; “correlação dos resultados do ICV às categorias de impacto selecionadas” e o “cálculo dos resultados dos indicadores de categoria” (ABNT, 2009b, p. 17).

Para Costa (2012), em uma AICV podem ser aplicados dois tipos de abordagem: problema-orientado ou ponto médio (*Midpoint*) e dano-orientado ou ponto final (*Endpoint*). O ponto médio (*Midpoint*) não considera os danos reais, nessa abordagem os fluxos são classificados em temas ambientais de impactos potenciais. No ponto final (*Endpoint*) são consideradas as consequências ambientais, essa abordagem classifica os fluxos ambientais em vários temas, considerando em cada um, os danos causados ao ser humano, ao meio ambiente e aos recursos (COSTA, 2012; VITORIO JUNIOR, 2020).

Segundo Vitorio Junior (2020), os métodos mais utilizados para a AICV no Brasil são: o CML 2002 (*midpoint*) e o Eco-indicador 99 (*endpoint*). Para Costa (2012), a utilização destes dois métodos se justifica pela abrangência das categorias de impacto que ambos possuem e pela atribuição de pesos e notas no cálculo dos métodos que é baseado em índices mundiais. Como continuação dos métodos CML 2002 e Eco-indicador 99, o método ReCiPe integra e harmoniza as abordagens de *Midpoint* e *Endpoint* em uma estrutura consistente, onde as categorias de impacto que o compõe têm sido atualmente remodeladas e atualizadas (VITORIO JUNIOR, 2020). Para Milani (2020), o método ReCiPe 2016 fornece dados de última geração para converter os ICV em um número limitado de categorias de impacto do ciclo de vida no nível do *Midpoint* e *Endpoint*.

Os quadros 10 e 11, apresentam, respectivamente, as dezoito categorias de impacto de ponto médio (*Midpoint*) e as três categorias de impacto de ponto final (*endpoint*), que compõe o método ReCipe.

Quadro 10 - Categorias de Impacto: *Midpoint ReCiPe 2016*

Categoria de Impacto	Unidade
Aquecimento global	GWP (kg CO ₂ eq)
Destruição do ozônio estratosférico	ODP (kg CFC-11 eq)
Radiação ionizante	IRP (kBq Co-60 eq)
Formação de ozônio – saúde humana	HOFP (kg NO _x eq)
Formação de material particulado	PMFP (kg PM _{2.5} eq)
Formação de ozônio – ecossistemas terrestres	EOFP (kg NO _x eq)
Acidificação terrestre	TAP (kg SO ₂ eq)
Eutrofização em água doce	FEP (kg P eq)
Eutrofização marinha	MEP (kg N eq)
Ecotoxicidade terrestre	TETP (kg 1,4-DCB)
Ecotoxicidade em água doce	FETP (kg 1,4-DCB)
Ecotoxicidade marinha	METP (kg 1,4-DCB)
Toxicidade humana – cancerígena	HTPc (kg 1,4-DCB)
Toxicidade humana – não cancerígena	HTPnc (kg 1,4-DCB)
Ocupação do solo	LOP (m ² a crop eq)
Escassez de recursos minerais	SOP (kg Cu eq)
Escassez de combustíveis fósseis	FFP (kg oil eq)
Consumo de água	WCP (m ³)

Fonte: Autora, com base em Vitorio Junior (2020) e *Software SimaPro*.

Quadro 11 - Categorias de danos: *Endpoint ReCiPe 2016*

Categoria de Danos	Unidade
Danos à Saúde Humana	HH (DALY)
Danos à disponibilidade dos Ecossistemas	ED (species.yr)
Danos à disponibilidade de Recursos	RA (USD2013)

Fonte: Autora, com base em Vitorio Junior (2020) e *Software SimaPro*

Segundo Passuello *et al.* (2014), existem muitos estudos sobre quais são as categorias de impacto mais relevantes para a aplicação na construção civil. De acordo, O Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) indica cinco aspectos ambientais que podem ser considerados mais relevantes dentro dos processos industriais e que são prioritários para uma ACV simplificada que seja viável

à construção brasileira: aquecimento global, consumo de água e de energia, uso de recursos naturais, e geração de resíduos (PASSUELO et al., 2014; CBCS, 2014).

2.3.1.4 Interpretação

Essa fase tem como objetivo sintetizar e discutir os resultados do estudo com a intenção de obter possíveis causas, para que se consiga formar conclusões e recomendações que sejam pertinentes aos objetivos e questionamento que foram inicialmente propostos (COSTA, 2012). Segundo Vitorio Junior (2020, p. 33)

os resultados das fases de ICV ou AICV devem ser interpretados de acordo com o objetivo e escopo do estudo e a interpretação deverá incluir uma avaliação e uma verificação de sensibilidade em relação às entradas, saídas e escolhas metodológicas significativas, visando ao entendimento da incerteza dos resultados.

Esses elementos incluídos na interpretação devem servir de base para a tomada de decisão com relação ao elemento avaliado. Além disso, para o caso de uma ACV comparativa, esta fase deverá apresentar uma comparação dos resultados de cada elemento avaliado, exibindo as possíveis diferenças que podem existir com relação aos impactos ambientais potenciais (PASSUELLO et al., 2014).

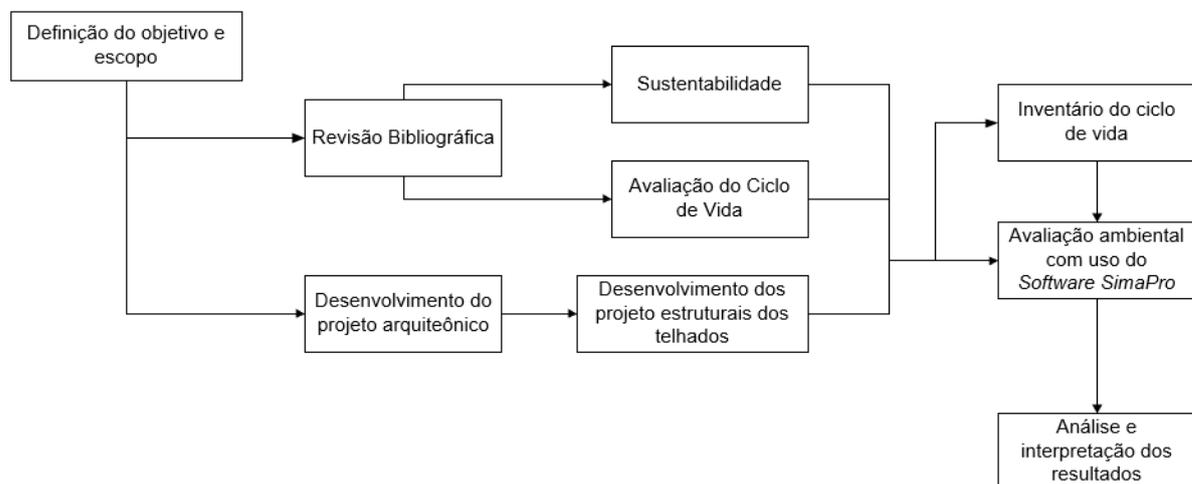
3 METODOLOGIA

Neste capítulo são descritos os procedimentos metodológicos seguidos para a elaboração deste trabalho, que possui como propósito a avaliação ambiental de sistemas de cobertura.

A fim de apresentar sua metodologia, a abordagem do problema pode ser classificada como quantitativa, pois é referente ao levantamento do inventário de materiais utilizados nos sistemas de cobertura relacionados a cada tipo de telha: cerâmica, concreto e fibrocimento; e como qualitativa, pela comparação realizada através dos resultados obtidos entre os três tipos de coberturas analisados.

Além disso, de acordo com Gil (1999), quanto à classificação dos objetivos dessa pesquisa, a mesma pode ser denominada como comparativa, pois apresenta como objetivos principais a análise de resultados através da comparação. Com isso para facilitar o desenvolvimento, o trabalho foi dividido em cinco fases, o fluxograma da figura 19 apresenta a ordem das etapas realizadas.

Figura 19 - Fluxograma das etapas realizadas



Fonte: Autora

3.1 Fase 1 – Escolha dos materiais

Nesta primeira fase foi realizada a escolha dos materiais que são utilizados para o desenvolvimento do trabalho. Para a escolha das telhas foi considerado as que são mais utilizadas em habitações unifamiliares, assim, foi-se optado pelas telhas

cerâmicas, telha de concreto e telha de fibrocimento. Além disso, foi considerado uma margem de 5% a mais no valor referente à quantidade de telhas, onde 2% são referentes à possíveis quebras de transporte e 3% com relação a perdas na instalação e manuseio. Também foram consideradas no cálculo as peças complementares, como a cumeeira.

Para telha cerâmica foi optado pela telha do tipo portuguesa tradicional, como mostra a figura 20.

Figura 20 - Telha cerâmica



Fonte: Alterado de Cemisil

Com relação a telha de concreto foi escolhida a telha convencional Doble S indicada na figura 21.

Figura 21 - Telha de concreto



Fonte: Tégula

Para a telha de fibrocimento foi optado pela telha ondulada com espessura de 6 mm exibida na figura 22.

Figura 22 - Telha de fibrocimento



Fonte: Brasilit (2014)

O quadro 12 indica as dimensões e pesos das telhas escolhidas para o desenvolvimento do dimensionamento.

Quadro 12 - Dimensões das telhas

	Telha Cerâmica	Telha de Concreto	Telha de Fibrocimento
Comprimento	40,5	42	1,53m
Largura	24	33	1,10m
Peso	60 Kg/m ²	52 kg/m ²	18 Kg/m ²
Inclinação	30%	30%	18%

Fonte: Autor com base nos dados dos fabricantes

Com relação à madeira, foi optado pelo Pinheiro do Paraná, uma conífera tipicamente brasileira, que, segundo Moliterno (2010), é utilizada com muita frequência na construção de estruturas de cobertura. Essa madeira, de acordo com Melo *et al.* (2010), apresenta boas características físico-mecânicas para o uso de construções em geral, móveis, ripas, tábuas para forro, etc. Além disso, o *software* SimaPro dispõem de um inventário brasileiro para a madeira Pinheiro do Paraná

Entretanto, vale ressaltar que esta é uma madeira de lei, ou seja, é protegida pelo Artigo 45 da Lei 9.605/98 que criminaliza a conduta referente ao corte de madeiras protegidas para fins industriais, energéticos ou para qualquer outra exploração, econômica ou não.

Com auxílio das tabelas de composições da Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (Sinapi) referentes ao mês de março de 2022, foram obtidas as quantidades de aço que seriam utilizadas na fixação da estrutura.

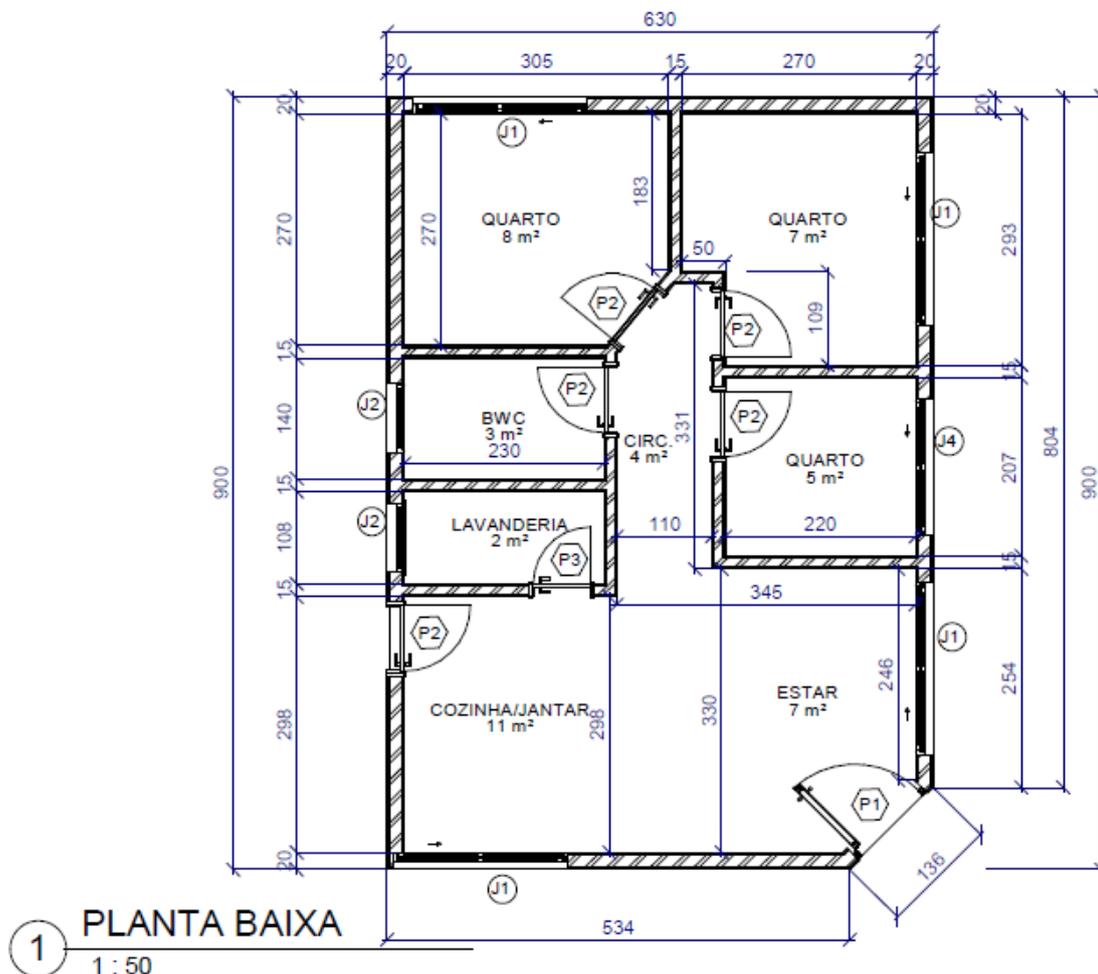
3.2 Fase 2 – Revisão bibliográfica

A segunda fase deste trabalho foi referente a realização da revisão bibliográfica acerca de sustentabilidade, sustentabilidade na construção civil, sistemas de cobertura, dimensionamento das estruturas e pensamento do ciclo de vida, com o objetivo de compreender as definições e características relacionadas a cada tópico e principalmente as relacionadas à Avaliação do Ciclo de Vida em todas as suas dimensões.

3.3 Fase 3 – Desenvolvimento do projeto

Esta etapa constituiu-se da elaboração do projeto arquitetônico de uma residência unifamiliar. O projeto foi desenvolvido com o auxílio do *software* Revit 2021, e a residência possui um total de 47 m². A planta baixa da residência é apresentada na figura 23.

Figura 23 - Planta baixa: Projeto de residência unifamiliar



Fonte: Autora

3.4 Fase 4 – Dimensionamento das estruturas

Através do projeto arquitetônico foi então realizado o dimensionamento das estruturas de cobertura para cada tipo de telha definido. Para facilitar o entendimento, os dimensionamentos para telha cerâmica, de concreto e de fibrocimento foram

denominados respectivamente de DCA, DCB e DCC. Os Apêndices A, B e C apresentam de forma detalhada os cálculos realizados.

Para tal dimensionamento, as seguintes considerações foram admitidas:

- Estrutura de apoio do telhado: treliça do tipo Howe;
- Projeção horizontal do beiral: 70 cm;
- Cobertura: duas águas;
- Inclinação do banzo superior da tesoura:
 - DCA: 16,7 graus;
 - DCB: 16,7 graus;
 - DCC: 10 graus;
- Dimensão da seção transversal das peças que compõe as tesouras:
 - DCA: 10 x 15 cm;
 - DCB: 10 x 15 cm;
 - DCC: 10 x 15 cm;
- Dimensão da seção transversal das terças:
 - DCA: 12 x 12 cm;
 - DCB: 12 x 12 cm;
 - DCC: 12 x 12 cm;
- Dimensão da seção transversal dos caibros:
 - DCA: 5 x 6 cm;
 - DCB: 5 x 6 cm;
- Dimensão da seção transversal das ripas:
 - DCA: 2,5 x 5 cm;
 - DCB: 2,5 x 5 cm;
- Espaçamento entre tesouras 2,20 m
- Espaçamento entre terças:
 - DCA: 1,06 m;
 - DCB: 1.06 m;
 - DCC: 1,30 m;
- Espaçamento entre caibros:
 - DCA: 50 cm;
 - DCB: 50 cm;
- Espaçamento entre ripas:

- DCA: 34 cm;
- DCB: 32 cm.

Através das definições iniciais foi possível realizar o levantamento das cargas permanentes de grande variabilidade (o peso próprio da tesouras terças, caibros e ripas) e o levantamento das cargas permanentes de pequena variabilidade (peso das telhas, instalações elétricas, hidráulicas).

O estudo do vento sobre a edificação segue o estabelecido pela NBR 6123:1988 (ABNT, 1988), o valor referente a V_0 foi obtido através do gráfico das isopletas, sendo igual a 46 m/s para cidade de Pato Branco – PR, para os fatores S_1 , S_2 e S_3 , os cálculos estão nos Apêndices A,B e C. Onde o fator S_2 , foi obtido através de interpolação linear.

A partir do estudo realizado sobre a atuação do vento e das considerações de coeficiente de pressão externa e interna, pôde-se realizar o levantamento das cargas variáveis, onde, além das cargas do vento sobre a edificação, também deve ser considerada a sobrecarga de manutenção.

Com auxílio do *software Ftool* foram obtidas as tensões atuantes na estrutura, causadas pelos esforços gerados pela sobrecarga de manutenção, pelo vento, e pelos esforços das cargas permanentes de grande e pequena variabilidade. Com os valores das tensões atuantes e com o auxílio do *software Excel*, foi realizado a combinação das ações conforme a NBR 7190:1997 (ABNT, 1997). A partir das combinações foi então definida qual barra estava sofrendo um esforço crítico de compressão.

Com os valores de resistência médios disponibilizados para compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras, cisalhamento paralelo às fibras, e com o valor do módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras, referente a madeira escolhida, foram determinados os valores característicos e de cálculo conforme o estabelecido pela NBR 7190:1997 (ABNT, 1997).

Com os valores de resistência, pode-se então realizar a conferência das condições de segurança, conforme estabelecido na NBR 7190:1997 (ABNT, 1997), para os esforços críticos de compressão e de tração com relação à tesoura e às terças.

3.5 Fase 5 – Análise ambiental dos sistemas de cobertura

3.5.1 Definição do objetivo e escopo

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é realizada nos três sistemas de coberturas dimensionadas (DCA, DCB e DCC), com o objetivo de avaliar o desempenho ambiental das coberturas que tem como função proteger a edificação de 47 m².

A fronteira do sistema “[...] define quais etapas do ciclo de vida e quais os processos pertencem ao sistema analisado” (VITORIO JUNIOR, 2020, p. 62). Para este trabalho a avaliação é realizada do berço ao portão. Como fronteira considera-se os processos relacionados a extração da matéria prima, fabricação dos materiais utilizados, estudo e desenvolvimento do projeto e construção da estrutura, isto é, da extração da matéria prima até a construção do sistema de cobertura.

3.5.2 Levantamento do Inventário do Ciclo de Vida

O Inventário do Ciclo de Vida (ICV) foi desenvolvido a partir dos projetos dos sistemas de cobertura DCA, DCB e DCC. O quadro 13 apresenta os materiais analisados neste trabalho.

Quadro 13 - Materiais considerados para análise

Materiais
Aço (kg)
Madeira (m ³)
Telha cerâmica (kg)
Telha de concreto (kg)
Telha de fibrocimento (kg)

Fonte: Autora com base nos dimensionamentos

Para a obtenção dos dados referentes à avaliação ambiental, foi utilizado o *software System for Integrated Environmental Assessment of Products* (SimaPro) versão 9.3.0.3 *Faculty*, foi desenvolvido pela *Pré Consultants*, uma empresa holandesa que segue a estrutura das normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006. O

software SimaPro auxilia na tomada de decisão, pois possibilita que se tenha *insights* relacionados ao desempenho ambiental de produtos e serviços, pois é possível avaliar os impactos ambientais e todos os estágios do ciclo de vida, identificar os pontos críticos em cada processo, desde a extração da matéria-prima até a fabricação, distribuição, uso e descarte (PRé Sustainability, 2022).

Com relação a licença *Faculty*, “[...] trata-se de uma versão gratuita para universidades de países não membros da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD –*Organization for Economic Cooperation and Development*)” (VITORIO JUNIOR, 2020, p. 65), no qual o Brasil se enquadrava até o início de 2022.

Os dados utilizados foram extraídos da base internacional *ecoinvent v3*, utilizada em mais de 80 países. Os processos empregados foram do tipo *Market*, que segundo a literatura, compreendem os insumos da produção de vários ou de um único país, além dos insumos dos processos de transporte (VITORIO JUNIOR, 2020). Esse tipo de processo realizado é recomendado quando os dados referentes a um fornecedor específico não são conhecidos, como o caso dos dimensionamentos estudados.

O quadro 14 apresenta os processos considerados no SimaPro para cada material citado no inventário.

Quadro 14 - Processos utilizados do SimaPro

Material	Processo SimaPro
Aço	Reinforcing steel {GLO} market for Cut-off, U
Madeira	Sawnwood, parana pine, dried (u=10%) {RoW} market for sawnwood, parana pine, dried (u=10%) Cut-off, U
Telha cerâmica	Ceramic tile {GLO} market for Cut-off, U
Telha de concreto	Concrete roof tile {GLO} market for Cut-off, U
Telha de fibrocimento	Fibre cement corrugated slab {GLO} market for Cut-off, U

Fonte: Autora com base nos projetos e no SimaPro

3.5.3 Avaliação do Impacto do Ciclo de vida

Para realização da Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) dos projetos DCA, DCB e DCC, utilizou-se o método de caracterização ReCiPe 2016 em suas abordagens *midpoint* e *endpoint*.

3.5.4 Interpretação

Nesta última etapa da ACV foram realizadas as interpretações com base nos resultados obtidos através do ICV e da AICV, onde foram identificados os pontos mais relevantes da ACV.

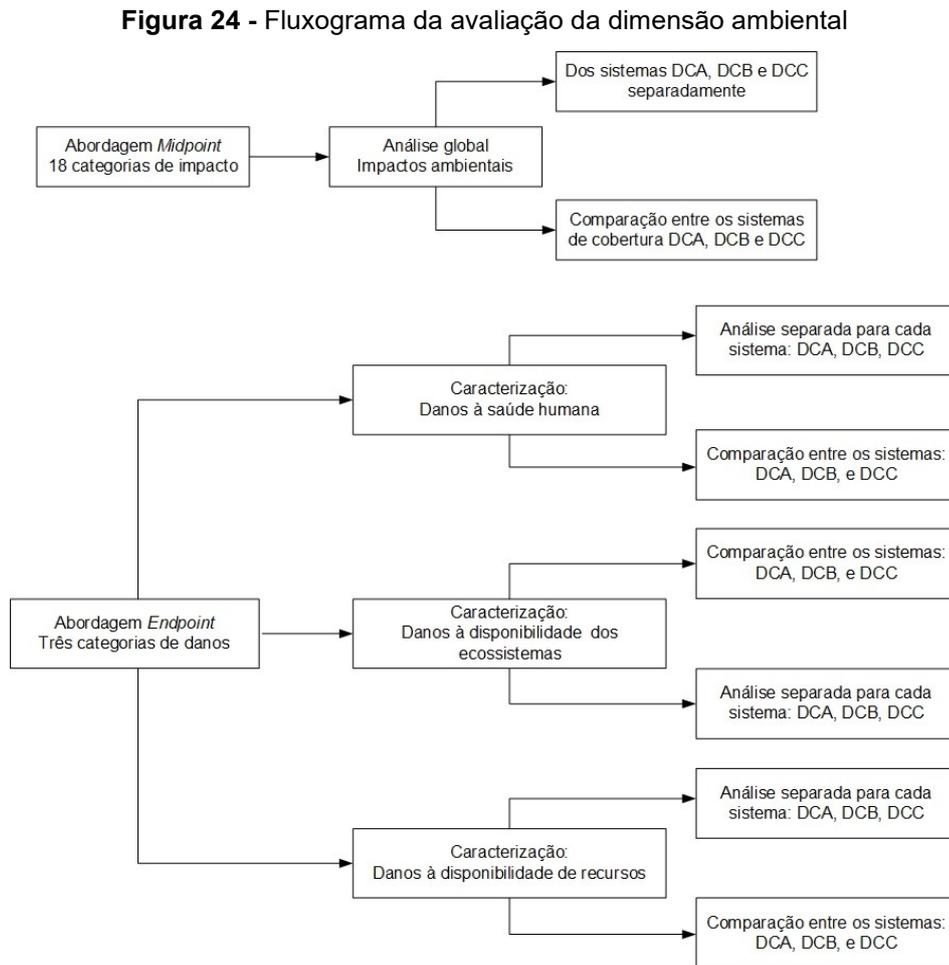
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos através da realização da análise, com auxílio do *software* SimaPro, das coberturas: DCA, DCB e DCC.

4.1 Pensamento do Ciclo de Vida

4.1.1 Resultados da Avaliação do Ciclo de Vida

A figura 24 apresenta, em forma de fluxograma, a avaliação da dimensão ambiental realizada no trabalho para os três tipos de cobertura.



Fonte: Autora

4.1.1.1 Resultados do Inventário do Ciclo de Vida

As tabelas 1, apresentam o ICV para o DCA, DCB e o DCC. Os valores foram obtidos através dos cálculos de dimensionamento de cada sistema de cobertura.

Tabela 1 - ICV para os sistemas de cobertura

Sistema	Material	Quantidade
DCA	Telha ceramica (kg)	3677
	Madeira (m ³)	3,543
	Aço (kg)	8,25
DCB	Telha de concreto (kg)	4447
	Madeira (m ³)	3,569
	Aço (kg)	8,25
DCC	Telha de fibrocimento (kg)	1374,3
	Madeira (m ³)	2,909
	Aço (kg)	18,13

Fonte: Autora com base no dimensionamento

4.1.1.2 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida e Interpretação

Nessa seção são avaliadas as 18 categorias de ponto médio (*Midpoint*) e as três categorias de ponto final (*Endpoint*).

4.1.1.2.1 *Abordagem de Ponto Médio (Midpoint)*

A tabela 4 apresenta a distribuição global, com valores normalizados, dos impactos ambientais relacionados à abordagem *Midpoint* para o sistema de cobertura com telha cerâmica (DCA).

Tabela 2 - Abordagem Midpoint: DCA

Categoria de Impactos	Unidade	Aço	Telha Cerâmica	Madeira
Aquecimento global	GWP (kg CO2 eq)	0,31%	50,79%	48,90%
Destruição do ozônio estratosférico	ODP (kg CFC-11 eq)	0,10%	30,04%	69,86%
Radiação ionizante	IRP (kBq Co-60 eq)	0,17%	48,52%	51,31%
Formação de ozônio – saúde humana	HOFP (kg NOx eq)	0,18%	28,00%	71,81%
Formação de material particulado	PMFP (kg PM2.5 eq)	0,05%	59,71%	40,24%
Formação de ozônio – ecossistemas terrestres	EOFP (kg NOx eq)	0,19%	27,98%	71,82%
Acidificação terrestre	TAP (kg SO2 eq)	0,20%	46,68%	53,12%
Eutrofização em água doce	FEP (kg P eq)	0,39%	68,78%	30,83%
Eutrofização marinha	MEP (kg N eq)	0,40%	53,06%	46,54%
Ecotoxicidade terrestre	TETP (kg 1,4-DCB)	0,19%	74,45%	25,35%
Ecotoxicidade em água doce	FETP (kg 1,4-DCB)	0,38%	86,44%	13,18%
Ecotoxicidade marinha	METP (kg 1,4-DCB)	0,40%	85,64%	13,96%
Toxicidade humana – cancerígena	HTPc (kg 1,4-DCB)	4,59%	60,63%	34,78%
Toxicidade humana – não cancerígena	HTPnc (kg 1,4-DCB)	0,19%	85,72%	14,10%
Ocupação do solo	LOP (m2a crop eq)	0,00%	1,61%	98,38%
Escassez de recursos minerais	SOP (kg Cu eq)	0,50%	96,71%	2,78%
Escassez de combustíveis fósseis	FFP (kg oil eq)	0,26%	53,99%	45,75%
Consumo de água	WCP (m3)	0,27%	37,72%	62,01%

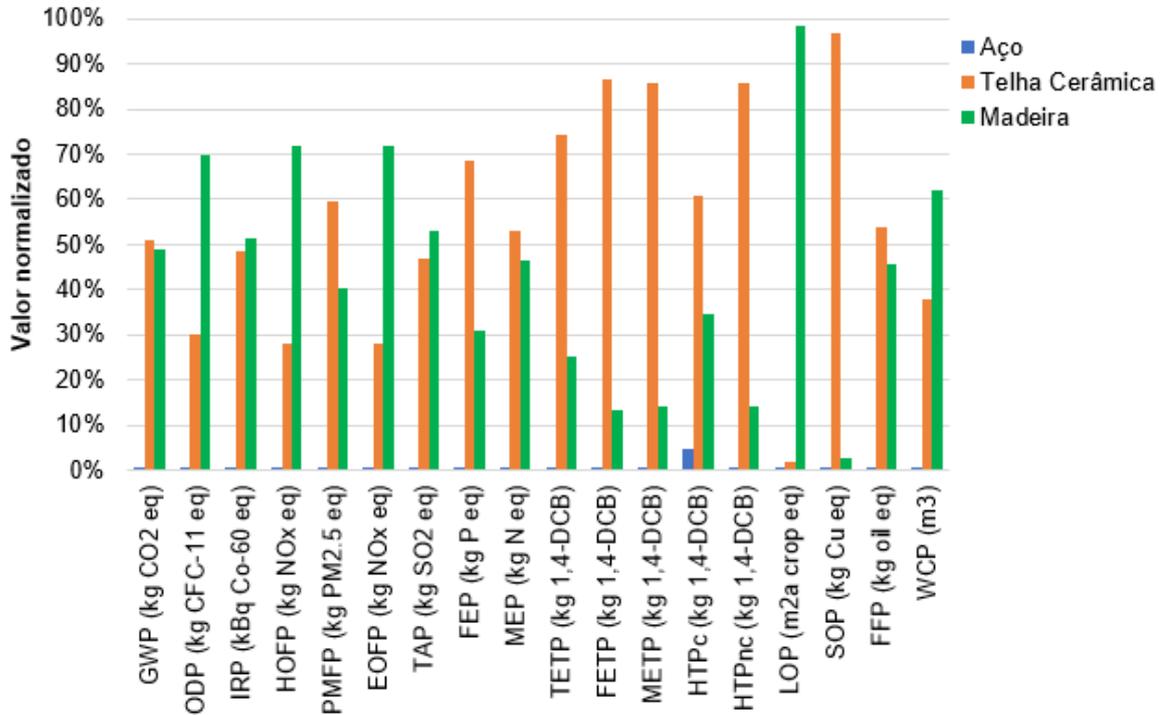
Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

Para a cobertura DCA os maiores valores são relacionados à telha cerâmica, com relação as categorias de impacto: “Formação de material particulado”, “Eutrofização em água doce”, “Eutrofização marinha”, Ecotoxicidade terrestre”, “Ecotoxicidade em água doce”, “Ecotoxicidade marinha” “Toxicidade humana – cancerígena e não cancerígena” e “Escassez de recursos minerais e de combustíveis fósseis”, onde ultrapassam 50%, e em alguns casos ultrapassam 80% principalmente com relação à categoria “Escassez de recursos minerais” onde o valor ultrapassa 95%.

Na categoria de impacto “Aquecimento global” os valores para telha cerâmica e para madeira são muito parecidos, sendo a diferença entre eles de apenas 1,89%.

Entretanto, a telha cerâmica para essa categoria apresenta uma quantidade de impacto ambiental maior. Esses resultados também podem ser observados através da figura 25.

Figura 25 - Abordagem Midpoint: DCA



Fonte: Autor com base nos dados do SimaPro

Na tabela 3 é possível verificar os resultados obtidos com valores normalizados com relação à distribuição global dos impactos ambientais na abordagem *Midpoint* para o sistema de cobertura com telha de concreto (DCB).

Tabela 3 - Abordagem Midpoint: DCB (continua)

Categoria de Impactos	Unidade	Aço	Telha de Concreto	Madeira
Aquecimento global	GWP (kg CO2 eq)	0,44%	28,61%	70,95%
Destruição do ozônio estratosférico	ODP (kg CFC-11 eq)	0,13%	7,75%	92,12%
Radiação ionizante	IRP (kBq Co-60 eq)	0,28%	13,05%	86,67%
Formação de ozônio – saúde humana	HOFP (kg NOx eq)	0,22%	13,68%	86,10%
Formação de material particulado	PMFP (kg PM2.5 eq)	0,12%	4,86%	95,02%
Formação de ozônio – ecossistemas terrestres	EOFP (kg NOx eq)	0,23%	13,62%	86,15%
Acidificação terrestre	TAP (kg SO2 eq)	0,30%	18,86%	80,83%

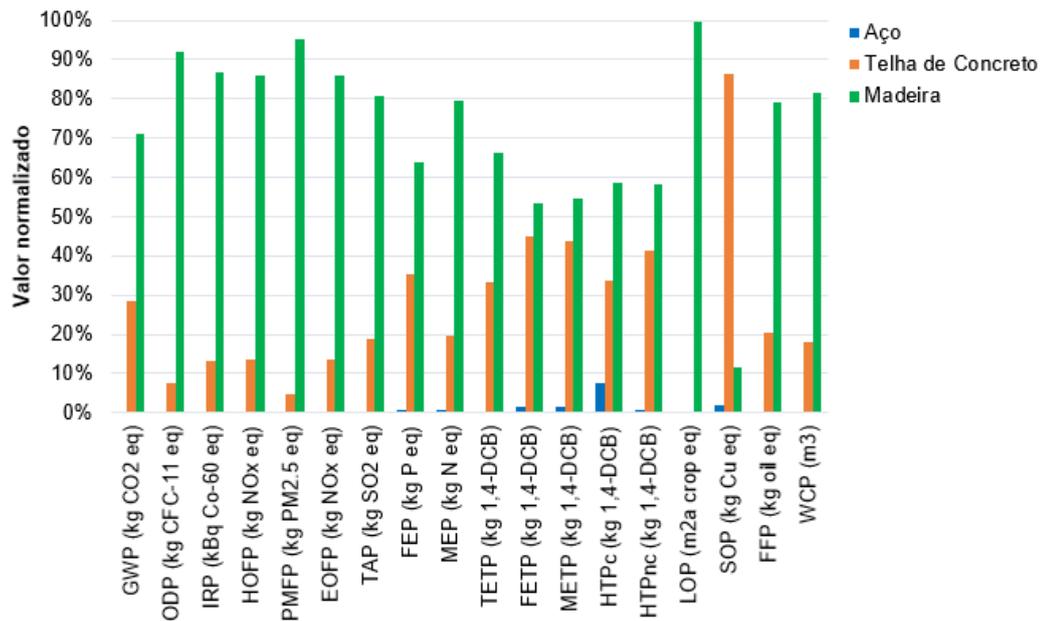
Tabela 3 - Abordagem Midpoint: DCB (conclusão)

Categoria de Impactos	Unidade	Aço	Telha de Concreto	Madeira
Eutrofização em água doce	FEP (kg P eq)	0,80%	35,42%	63,77%
Eutrofização marinha	MEP (kg N eq)	0,69%	19,61%	79,70%
Ecotoxicidade terrestre	TETP (kg 1,4-DCB)	0,50%	33,38%	66,11%
Ecotoxicidade em água doce	FETP (kg 1,4-DCB)	1,53%	45,02%	53,45%
Ecotoxicidade marinha	METP (kg 1,4-DCB)	1,55%	43,77%	54,69%
Toxicidade humana – cancerígena	HTPc (kg 1,4-DCB)	7,70%	33,53%	58,77%
Toxicidade humana – não cancerígena	HTPnc (kg 1,4-DCB)	0,77%	41,18%	58,05%
Ocupação do solo	LOP (m2a crop eq)	0,00%	0,48%	99,52%
Escassez de recursos minerais	SOP (kg Cu eq)	2,10%	86,22%	11,68%
Escassez de combustíveis fósseis	FFP (kg oil eq)	0,44%	20,34%	79,22%
Consumo de água	WCP (m3)	0,36%	18,05%	81,59%

Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

Para o projeto DCB, os maiores valores com relação aos impactos ambientais são os relacionados à madeira, onde, em praticamente todas as categorias de impacto, os valores ultrapassam os 50%, exceto para a categoria de impacto “Escassez de recursos minerais”, onde a telha de concreto ultrapassa o valor de 85%. Além disso, o aço, apesar de estar em pequena quantidade com relação aos outros materiais, apresenta valores consideráveis na categoria de impacto “Toxicidade humana – cancerígena”, apresentado um total de 7,70%. Esses resultados também podem ser observados na figura 26.

Figura 26 - Abordagem Midpoint: DCB



Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

Com relação à tabela 4, ela apresenta a distribuição global, com os valores normalizados, dos impactos ambientais para o sistema de cobertura com telha de fibrocimento (DCC).

Tabela 4 - Abordagem Midpoint: DCC (continua)

Categoria de Impactos	Unidade	Aço	Telha de Fibrocimento	Madeira
Aquecimento global	GWP (kg CO2 eq)	1,10%	33,65%	65,26%
Destruição do ozônio estratosférico	ODP (kg CFC-11 eq)	0,31%	20,01%	79,68%
Radiação ionizante	IRP (kBq Co-60 eq)	0,61%	28,62%	70,76%
Formação de ozônio – saúde humana	HOFPP (kg NOx eq)	0,57%	15,48%	83,96%
Formação de material particulado	PMFP (kg PM2.5 eq)	0,31%	7,09%	92,59%
Formação de ozônio – ecossistemas terrestres	EOFP (kg NOx eq)	0,60%	15,60%	83,80%
Acidificação terrestre	TAP (kg SO2 eq)	0,76%	23,75%	75,50%
Eutrofização em água doce	FEP (kg P eq)	1,78%	45,68%	52,53%
Eutrofização marinha	MEP (kg N eq)	1,52%	33,17%	65,31%
Ecotoxicidade terrestre	TETP (kg 1,4-DCB)	1,09%	45,94%	52,97%
Ecotoxicidade em água doce	FETP (kg 1,4-DCB)	2,70%	62,23%	35,07%
Ecotoxicidade marinha	METP (kg 1,4-DCB)	2,81%	60,34%	36,84%

Tabela 4 - Abordagem *Midpoint*: DCC (conclusão)

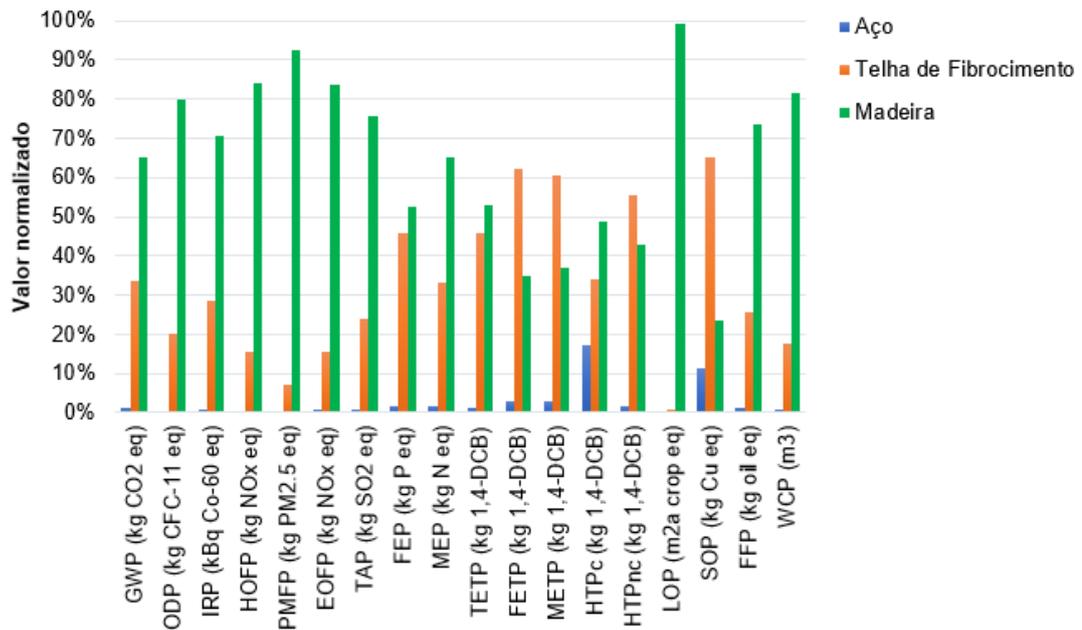
Categoria de Impactos	Unidade	Aço	Telha de Fibrocimento	Madeira
Toxicidade humana – cancerígena	HTPc (kg 1,4-DCB)	17,28%	33,82%	48,90%
Toxicidade humana – não cancerígena	HTPnc (kg 1,4-DCB)	1,55%	55,43%	43,02%
Ocupação do solo	LOP (m2a crop eq)	0,01%	0,97%	99,02%
Escassez de recursos minerais	SOP (kg Cu eq)	11,41%	65,02%	23,57%
Escassez de combustíveis fósseis	FFP (kg oil eq)	1,10%	25,41%	73,48%
Consumo de água	WCP (m3)	0,96%	17,54%	81,49%

Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

Para esse tipo de cobertura, os maiores valores relacionados à telha de fibrocimento são referentes às categorias de impacto: “Ecotoxicidade em água doce”, “Ecotoxicidade marinha”, “Toxicidade humana – não cancerígena” e “Escassez de recursos minerais”, onde os valores ultrapassam os 55%.

Com relação à madeira, os maiores valores estão relacionados às categorias de impacto: “Aquecimento global”, “Destruição do ozônio estratosférico”, “Radiação ionizante”, “Formação de ozônio – saúde humana”, “Formação de material particulado”, “Formação de ozônio – ecossistemas terrestres”, “Acidificação terrestre”, “Eutrofização em água doce”, “Eutrofização marinha”, “Ecotoxicidade terrestre”, “Ocupação do solo”, “Escassez de combustíveis fósseis” e “Consumo de água”, onde os valores também ultrapassam os 50%.

Ao considerar os três materiais, pode-se perceber que, apesar das quantidades de aço serem pequenas quando comparadas aos outros materiais, o mesmo apresenta valores consideráveis, principalmente, na categoria de impacto “Toxicidade humana – cancerígena”, onde chega a 17,28% na cobertura de fibrocimento. Esses resultados também podem ser observados na figura 27.

Figura 27 - Abordagem *Midpoint*: DCC

Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

A tabela 5 e a figura 28, apresentam a distribuição global, com valores normalizados, dos impactos ambientais referente à abordagem *Midpoint* com relação a comparação dos três sistemas de cobertura, DCA, DCB e DCC.

Tabela 5 - Análise global: comparação dos projetos (continua)

Categoria de Impactos	Unidade	DCA	DCB	DCC
Aquecimento global	GWP (kg CO2 eq)	43,30%	30,06%	26,64%
Destruição do ozônio estratosférico	ODP (kg CFC-11 eq)	40,26%	30,76%	28,98%
Radiação ionizante	IRP (kBq Co-60 eq)	45,62%	27,21%	27,16%
Formação de ozônio – saúde humana	HOFp (kg NOx eq)	39,33%	33,04%	27,62%
Formação de material particulado	PMFP (kg PM2.5 eq)	56,07%	23,92%	20,01%
Formação de ozônio – ecossistemas terrestres	EOFP (kg NOx eq)	39,32%	33,02%	27,67%
Acidificação terrestre	TAP (kg SO2 eq)	44,65%	29,56%	25,79%
Eutrofização em água doce	FEP (kg P eq)	50,79%	24,73%	24,47%
Eutrofização marinha	MEP (kg N eq)	46,01%	27,07%	26,92%
Ecotoxicidade terrestre	TETP (kg 1,4-DCB)	56,20%	21,71%	22,09%
Ecotoxicidade em água doce	FETP (kg 1,4-DCB)	64,23%	15,95%	19,82%

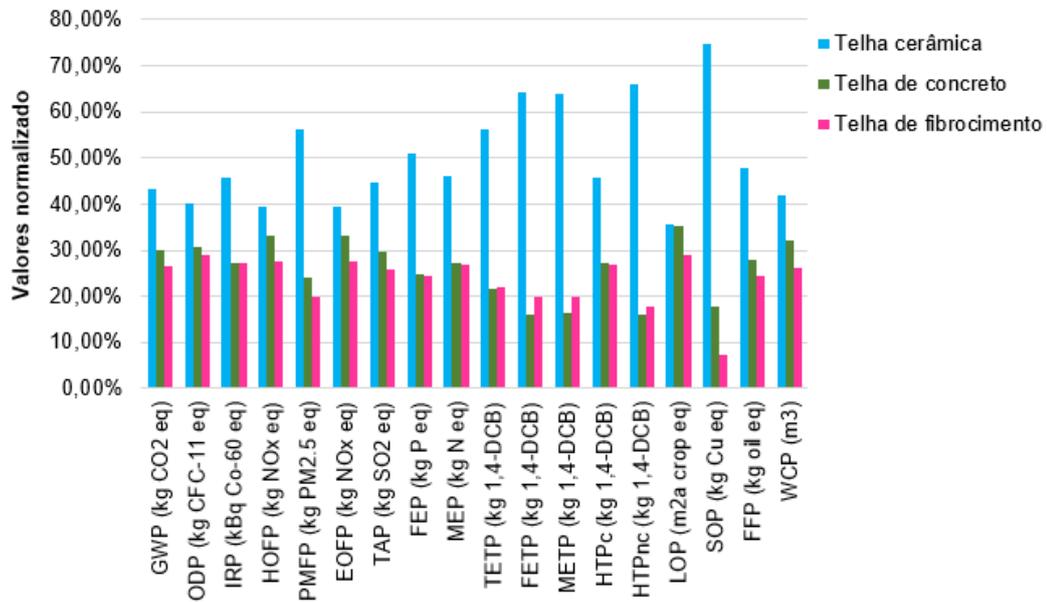
Tabela 5 - Análise global: comparação dos projetos (conclusão)

Categoria de Impactos	Unidade	DCA	DCB	DCC
Ecotoxicidade marinha	METP (kg 1,4-DCB)	63,76%	16,40%	19,84%
Toxicidade humana – cancerígena	HTPc (kg 1,4-DCB)	45,87%	27,34%	26,79%
Toxicidade humana – não cancerígena	HTPnc (kg 1,4-DCB)	66,07%	16,16%	17,77%
Ocupação do solo	LOP (m2a crop eq)	35,57%	35,42%	29,01%
Escassez de recursos minerais	SOP (kg Cu eq)	74,79%	17,95%	7,25%
Escassez de combustíveis fósseis	FFP (kg oil eq)	47,78%	27,80%	24,42%
Consumo de água	WCP (m3)	41,84%	32,03%	26,14%

Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

Pode-se verificar que a estrutura DCA apresenta os maiores valores em todas as 18 categorias de impacto consideradas na abordagem *Midpoint*, principalmente, na categoria “Escassez de recursos minerais”. As telhas de concreto e fibrocimento apresentam valores próximos em praticamente todas as categorias, a telha de concreto apresenta mais impactos que a telha de fibrocimento, exceto, nas categorias “Ecotoxicidade em água doce”, “Ecotoxicidade marinha” e “Toxicidade humana – não cancerígena”, onde a telha de fibrocimento se sobressai.

Com relação à categoria de impacto “Ocupação do solo” o impacto causado por ambos os sistemas de cobertura, apresentam resultados bem próximos, principalmente, com relação ao sistema de cobertura com telha cerâmica e a telha de concreto, pois a diferença entre ambos é de apenas 0,15%.

Figura 28 - Análise global: Comparação dos projetos

Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

Com base nos resultados apresentados, tem-se às seguintes análises com relação aos impactos causados, aos materiais utilizados, e os processos de fabricação relacionados aos três tipos de telha escolhidos. O quadro 15 representa um resumo dos dados analisados, onde 'X' representa as categorias em que os valores dos impactos foram superiores a 50%.

Quadro 15 - Resumo dos resultados obtido através da abordagem *Midpoint* (continua)

Impactos	Telha cerâmica	Telha de concreto	Telha de fibrocimento
Aquecimento global	X		
Destruição do ozônio estratosférico			
Radiação ionizante			
Formação de ozônio – saúde humana			
Formação de material particulado	X		
Formação de ozônio – ecossistemas terrestres			
Acidificação terrestre			
Eutrofização em água doce	X		
Eutrofização marinha	X		
Ecotoxicidade terrestre	X		
Ecotoxicidade em água doce	X		X
Ecotoxicidade marinha	X		X
Toxicidade humana – cancerígena	X		

Quadro 15 - Resumo dos resultados obtido através da abordagem *Midpoint* (conclusão)

Impactos	Telha cerâmica	Telha de concreto	Telha de fibrocimento
Toxicidade humana – não cancerígena	X		X
Ocupação do solo			
Escassez de recursos minerais	X	X	X
Escassez de combustíveis fósseis	X		
Consumo de água			

Fonte: Autora

Com relação a telha cerâmica, a mesma apresenta valores superiores a 50% em 10 das 18 categorias de impactos analisados através da abordagem *Midpoint*. Ao relacionar os impactos causados com a matéria prima e os processos de fabricação utilizados, tem-se que as categorias de impacto “Aquecimento global” e “Escassez de combustíveis fósseis”, estão relacionadas ao processo de fabricação da telha, principalmente com relação a etapa de queima do material, que necessita de temperaturas elevadas, e para isso é feita a utilização da madeira e de combustíveis fósseis, o que ocasiona a emissão de gases de efeito estufa, como CO_2 , N_2O , CH_4 . Esses gases são responsáveis pela retenção da radiação infravermelha na estratosfera provocando um potencial aumento da temperatura média da terra, e com relação aos combustíveis fósseis, são recursos não renováveis, que além de estarem presentes na etapa de queima, também estão presentes na etapa de transporte e retirada da matéria prima.

A categoria de impacto “Formação de material particulado” está relacionada com a matéria-prima utilizada para a fabricação da telha, pois, segundo Abitante e Lisboa (2017), a argila é gerada a partir da degradação das rochas, que a partir do intemperismo se transforma e se fragmenta em partículas inferiores a 2μ , assim como as categorias de impacto “Eutrofização em água doce”; “Eutrofização marinha”. Isso deve-se ao fato de que a extração da argila pode ser realizada em barrancas de rios, o que ocasiona uma adição de nutrientes na água levando a redução do oxigênio. Além disso, como ela corresponde a fração de menor diâmetro do solo, possui funções importantes relacionadas a retenção e distribuição de água (Paz et al., 2015). A categoria de impacto “Escassez de recursos minerais”, também está relacionada a matéria-prima utilizada, a argila é um recurso natural não renovável, sua formação demanda de uma ação conjunta de fatores, como o material de origem, o clima, os

organismos vivos, o relevo, e principalmente de um longo período de tempo (Paz et.al.,2015).

Por fim, com relação as categorias de impacto “Toxicidade humana – cancerígena”; “Toxicidade humana – não cancerígena”; “Ecotoxicidade terrestre”; “Ecotoxicidade em água doce” e “Ecotoxicidade marinha”, que são resultantes da disposição de rejeitos, podem ser relacionadas com a matéria-prima utilizada. Isso se deve ao fato de que para conseguir extrair a argila, é necessário remover vegetação, retirar camadas de solo que, ao serem depositados, podem gerar concentrações de agentes tóxicos; com o contato com a argila que pode também estar carregada por agentes tóxicos, com a queima da madeira e de combustíveis fosseis pois neta etapa de fabricação há a liberação de gases responsáveis pelo efeito estufa.

A telha de concreto apresenta o maior impacto com relação a categoria “Escassez de recursos minerais”, por conta da matéria-prima utilizada na sua fabricação, o cimento, que é resultante de uma mistura de materiais, destacando o calcário, sua principal matéria-prima, e argila que são recursos naturais não renováveis (VICTORIA, 2017; PAZ et al.,2018).

Com relação à telha de fibrocimento, a mesma apresenta valores superiores a 50% nas categorias de impacto “Ecotoxicidade em água doce”; “Ecotoxicidade marinha”; “Toxicidade humana – não cancerígena” e “Escassez de recursos minerais”. Estes impactos estão relacionados ao processo produtivo da telha, que necessita da utilização de uma grande quantidade de água, variando entre 90 e 95% da mistura, o que ocasiona uma disposição de rejeitos, resultando em um aumento de agentes tóxicos. A matéria-prima utilizada é composta, além das fibras, pelo cimento, que como já visto, é resultante da utilização de recursos naturais não renováveis.

A madeira se apresenta como o principal agente causador de impactos, principalmente com relação às estruturas com telha de concreto e de cerâmica, pois essas duas coberturas demandam uma quantidade maior deste material, para a confecção da sua estrutura. A madeira é considerada um recurso natural renovável, entretanto, a sua extração de forma indevida pode ocasionar a extinção de espécies e destruição do meio ambiente. Porém, a maior parte da madeira utilizada na construção civil é advinda de reflorestamento de áreas degradadas. Além disso, o seu descarte é quase sempre realizado de forma indevida, o que pode ocasionar um acúmulo de agentes tóxicos, dependendo de qual foi a sua utilidade.

Apesar da quantidade de aço utilizada ser pequena quando relacionado com os demais materiais, ele apresenta valores de impactos significativos, sendo estes superiores a 2% nas categorias de impacto “Ecotoxicidade em água doce”; “Ecotoxicidade marinha” e “Toxicidade humana – cancerígena”. Esses impactos podem ser relacionados com o processo de fabricação do aço, onde são emitidos efluentes líquidos que poluem os corpos d’água, pois estes contêm hidrocarbonetos, níquel, chumbo, amônia, cobre, e outros elementos químicos que são nocivos. Para diminuir este problema, os efluentes devem passar por um tratamento antes de serem descartados. Outro ponto relacionado ao processo de produção é referente à energia necessária, pois ela é produzida a partir da queima de carvão vegetal, que muitas vezes é obtido a partir da extração ilegal de mata nativa, além disso, também ocorre a emissão de gases como o CO₂ (Dióxido de carbono) e CH₄ (gás metano) na atmosfera, que são responsáveis pelo efeito estufa. Óxido de enxofre (SO_x) e Óxido de nitrogênio (NO_x) também são emitidos, estes por sua vez são responsáveis pela ocorrência de chuvas ácidas, pois reagem com a umidade presente no ar (JATOBA, 2013). Já, o impacto “Escassez de recursos minerais” está relacionado às matérias primas utilizadas para a produção – carvão mineral, minério e ferro e calcários – que são recursos naturais (CSP, 2022).

4.1.1.2.2 Abordagem do Ponto Final (*Endpoint*)

Segundo Milani (2020), a abordagem do *Endpoint* tem como objetivo realizar a combinação de uma série de indicadores de categorias de impacto em uma categoria de danos. O quadro 16 apresenta as categorias de impacto consideradas causadoras de danos nas três categorias abordadas no *Endpoint*: “Danos à saúde humana”; “Danos à disponibilidade dos ecossistemas” e “Danos à disponibilidade de recursos”.

Quadro 16 - Relação entre as categorias de danos e as categorias de impacto

Danos à Saúde Humana	<p>Aquecimento global - saúde humana</p> <p>Destruição do ozônio estratosférico</p> <p>Radiação ionizante</p> <p>Formação de ozônio – saúde humana</p> <p>Formação de material particulado</p> <p>Toxicidade humana – cancerígena</p> <p>Toxicidade humana – não cancerígena</p> <p>Consumo de água - saúde humana</p>
Danos à Disponibilidade dos ecossistemas	<p>Aquecimento global - ecossistemas terrestres</p> <p>Aquecimento global - ecossistemas de água doce</p> <p>Formação de ozônio - ecossistemas terrestres</p> <p>Acidificação terrestre</p> <p>Eutrofização de água doce</p> <p>Eutrofização marinha</p> <p>Ecotoxicidade terrestre</p> <p>Ecotoxicidade de água doce</p> <p>Ecotoxicidade marinha</p> <p>Uso da terra</p> <p>Consumo de água - ecossistema terrestre</p> <p>Consumo de água - ecossistemas aquáticos</p>
Danos à Disponibilidade de Recursos	<p>Escassez de recursos minerais</p> <p>Escassez de recursos fósseis</p>

Fonte: Autora com base em Vitorio Junior (2020) e SimaPro

A tabela 6 apresenta os valores referentes às categorias de danos para a sistema de cobertura com telha cerâmica (DCA), já as figuras 29, 30 e 31 trazem os

dados separados, referentes aos “Danos à saúde humana”, “Danos à disponibilidade dos ecossistemas” e os “Danos à disponibilidade de recursos”, respectivamente.

Tabela 6 - Caracterização: Abordagem *Endpoint* (DCA)

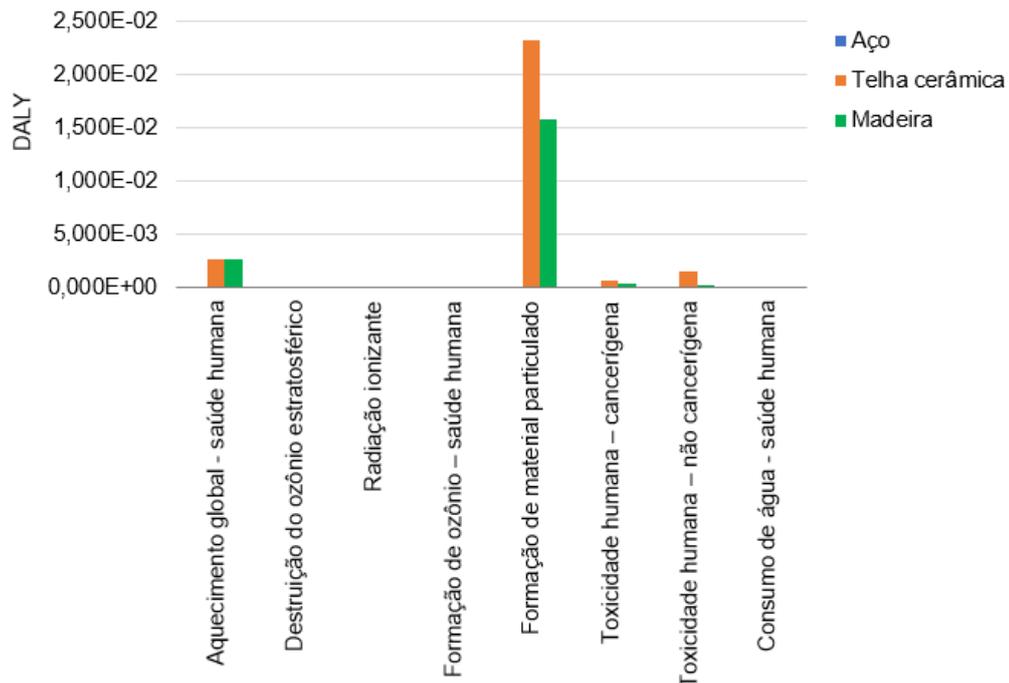
Categorias de impacto	Unidade	Aço	Telha cerâmica	Madeira
Aquecimento global - saúde humana	DALY	1,63E-05	2,68E-3	2,60E-3
Destruição do ozônio estratosférico	DALY	2,00E-09	5,92E-7	1,39E-6
Radiação ionizante	DALY	4,30E-09	1,25E-6	1,33E-6
Formação de ozônio – saúde humana	DALY	4,16E-08	6,37E-6	1,65E-5
Formação de material particulado	DALY	1,99E-05	0,0231	0,0157
Toxicidade humana – cancerígena	DALY	4,87E-05	6,38E-4	3,69E-4
Toxicidade humana – não cancerígena	DALY	3,48E-06	1,56E-3	2,59E-4
Consumo de água - saúde humana	DALY	2,40E-07	3,25E-05	7,36E-06
Aquecimento global - ecossistemas terrestres	Species.yr	4,93E-08	8,09E-06	7,85E-06
Aquecimento global - ecossistemas de água doce	Species.yr	1,35E-12	2,21E-10	2,15E-10
Formação de ozônio - ecossistemas terrestres	Species.yr	6,34E-09	9,21E-07	2,38E-06
Acidificação terrestre	Species.yr	1,03E-08	2,39E-06	2,74E-06
Eutrofização de água doce	Species.yr	6,25E-09	1,09E-06	4,92E-07
Eutrofização marinha	Species.yr	1,17E-12	1,52E-10	1,34E-10
Ecotoxicidade terrestre	Species.yr	6,90E-10	2,62E-07	8,97E-08
Ecotoxicidade de água doce	Species.yr	8,31E-10	1,87E-07	2,88E-08
Ecotoxicidade marinha	Species.yr	1,77E-10	3,78E-08	6,21E-09
Uso da terra	Species.yr	3,12E-09	1,67E-06	1,03E -04
Consumo de água - ecossistema terrestre	Species.yr	1,73E-09	2,38E-07	1,15E-07
Consumo de água - ecossistemas aquáticos	Species.yr	1,98E-13	2,57E-11	8,63E-11
Escassez de recursos minerais	USD2013	1,57E-01	29,88	0,867
Escassez de recursos fósseis	USD2013	7,68E-01	256,48	257,31

Fonte: Autora com base nos dados dos SimaPro

Conforme a figura 29, as categorias que mais geram danos à saúde humana são “Formação de material particulado” e “Aquecimento global - saúde humana”, juntas são responsáveis por cerca de 93,74% dos danos, tanto para telha cerâmica,

como para madeira e aço. Nas duas categorias, a telha cerâmica possui maior dano à saúde humana do que a madeira e o aço. O dano causado pela telha cerâmica é de 0,0258 DALY, pela madeira é de 0,0183 DALY e pelo aço é de $3,62 \times 10^{-5}$ DALY, onde, esses valores, segundo a literatura, representam os anos de vida que são perdidos pela incapacidade gerada pelas categorias de impacto (VITORIO JUNIOR, 2020).

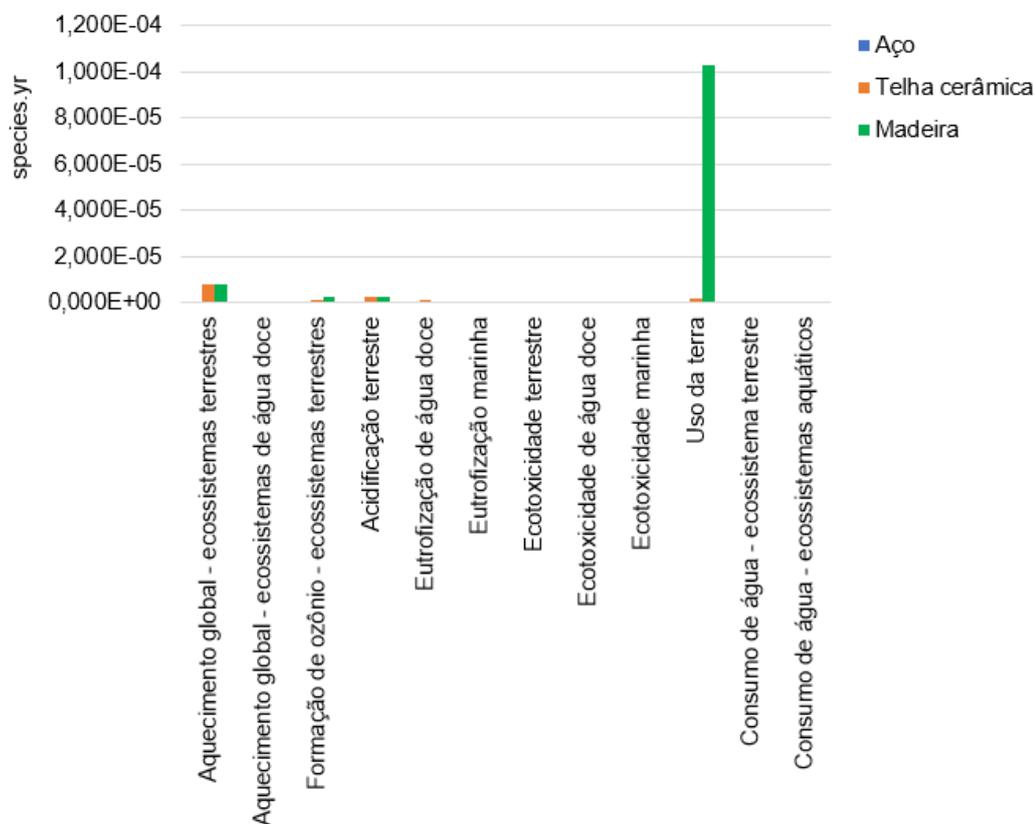
Figura 29 - Caracterização: Danos à saúde humana (DCA)



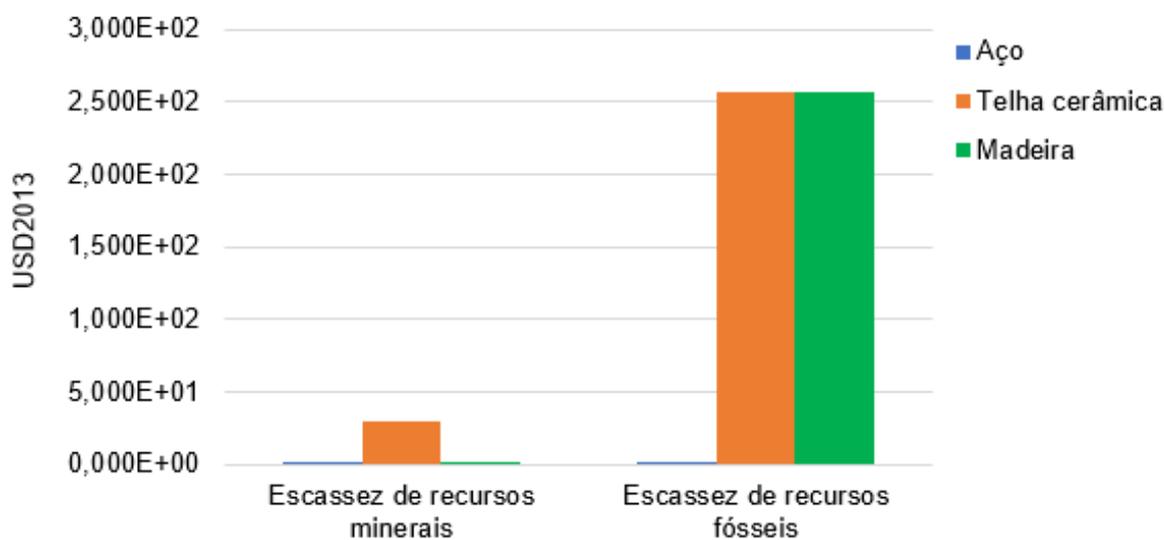
Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

Segundo a figura 30, a categoria que gera mais danos à disponibilidade dos ecossistemas é a “Uso da Terra”, responsável por 79,45% dos danos. Para este caso, a madeira apresentou um dano de $1,03 \times 10^{-4}$ *species.yr* (espécies desaparecendo durante um ano) valor bem superior que da telha cerâmica e do aço que foram de $1,67 \times 10^{-6}$ *species.yr* e $3,12 \times 10^{-9}$ *species.yr*, respectivamente.

E, conforme a figura 31, a categoria “Escassez de recursos fósseis” é predominante com relação a geração de impactos à disponibilidade de recursos, sendo responsável por mais de 90% deles. Neste caso, a telha cerâmica apresenta um total de 256,48 USD₂₀₁₃, a madeira um total de 257,31 USD₂₀₁₃ e o aço um total de 0,768 USD₂₀₁₃, onde a diferença entre a telha cerâmica e a madeira é bem pequena, sendo que a madeira apresenta um total de 0,829 USD₂₀₁₃ a mais que a telha cerâmica.

Figura 30 - Caracterização: Danos à disponibilidade dos ecossistemas (DCA)

Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

Figura 31 - Caracterização: Danos a disponibilidade de recursos (DCA)

Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

Ao realizar uma análise global dos danos, tem-se que, nas categorias de “Danos à saúde humana” e “Danos à disponibilidade de recursos”, a telha cerâmica

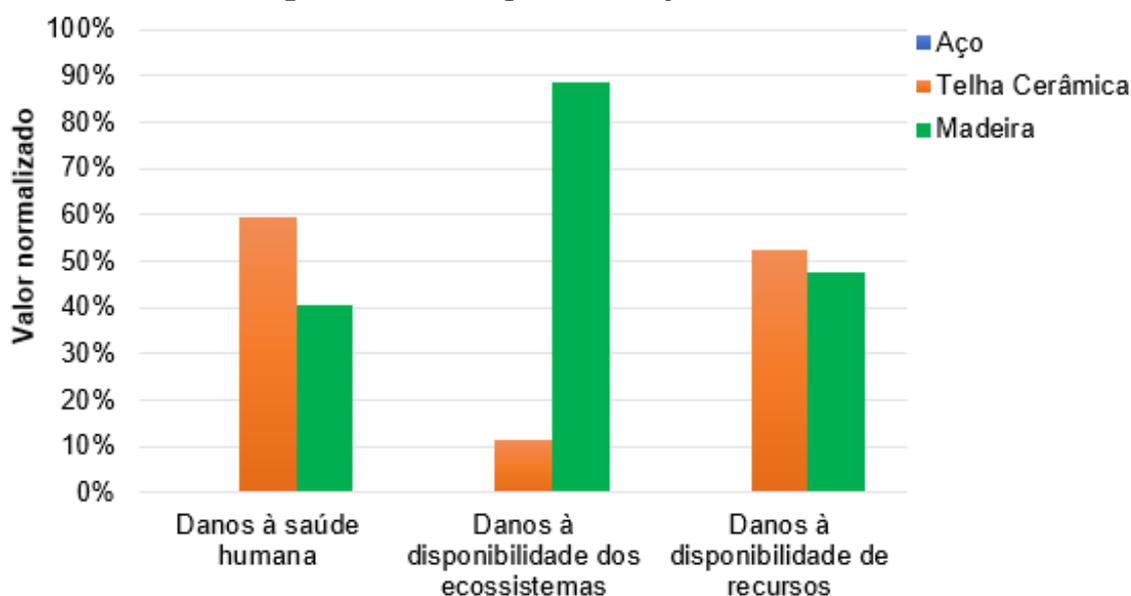
apresenta valores superiores a 50%, já na categoria “Danos à diversidade dos ecossistemas” a madeira apresenta o valor mais elevado, superando os 80%. Já o aço apresenta valores bem pequenos, não chegando a 1% nas categorias. Os resultados podem ser observados na tabela 7 e na figura 32.

Tabela 7 - Análise global: Avaliação de danos DCA

Categoria de danos	Unidade	Aço	Telha cerâmica	Madeira
Danos à saúde humana	DALY	8,87E-05	2,81E-02	1,90E-02
Danos à disponibilidade dos ecossistemas	species.yr	7,87E-08	1,49E-05	1,16E-04
Danos à disponibilidade de recursos	USD2013	0,925	286,36	258,17

Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

Figura 32 – Análise global: Avaliação de danos DCA



Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

A tabela 8 apresenta os valores referentes às categorias de danos para a estrutura de cobertura com telha de concreto (DCB) e as figuras 33, 34 e 35 mostram os dados separados, para cada categoria de dano considerada na abordagem *Endpoint*.

Tabela 8 – Caracterização: Abordagem *endpoint* (DCB)

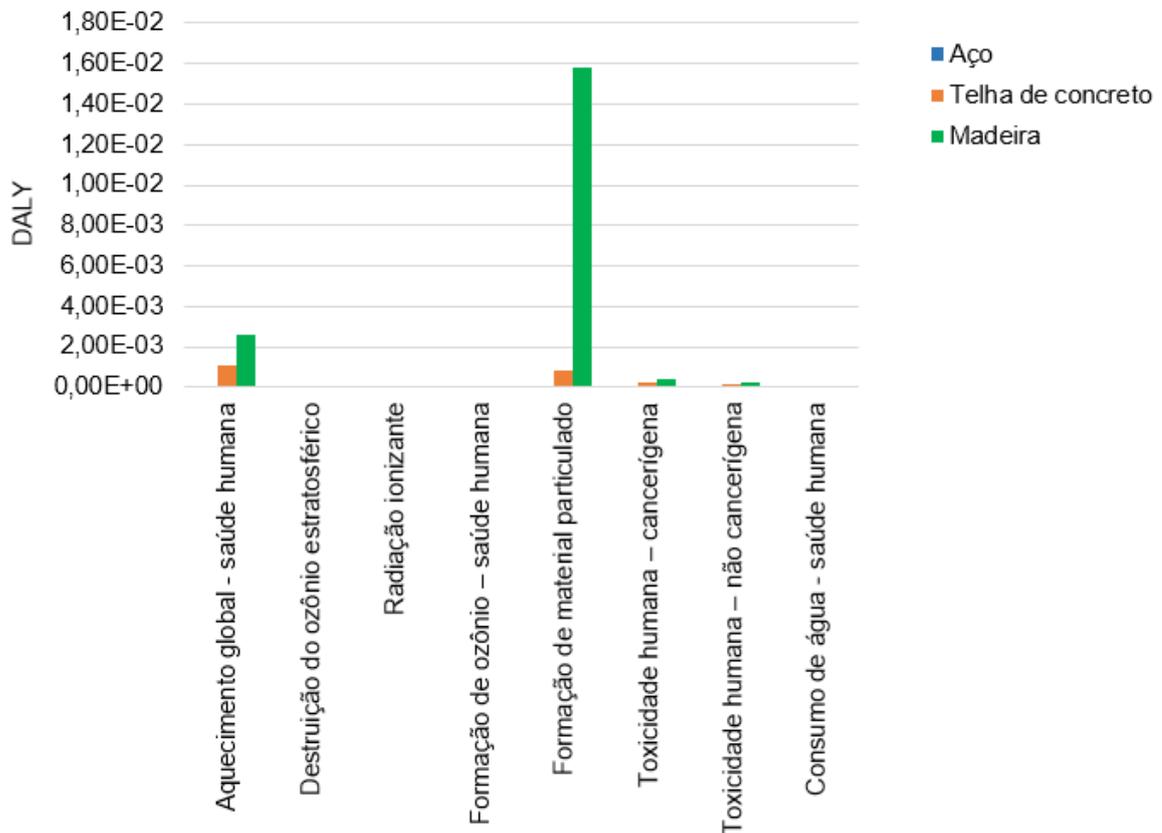
Categoria de impacto	Unidade	Aço	Telha de concreto	Madeira
Aquecimento global - saúde humana	DALY	1,63E-05	1,06E-03	2,62E-03
Destruição do ozônio estratosférico	DALY	2,00E-09	1,18E-07	1,40E-06
Radiação ionizante	DALY	4,30E-09	2,02E-07	1,34E-06
Formação de ozônio – saúde humana	DALY	4,16E-08	2,63E-06	1,66E-05
Formação de material particulado	DALY	1,99E-05	8,09E-04	0,0158
Toxicidade humana – cancerígena	DALY	4,87E-05	2,12E-04	3,71E-04
Toxicidade humana – não cancerígena	DALY	3,48E-06	1,85E-04	2,61E-04
Consumo de água - saúde humana	DALY	2,40E-07	1,58E-05	7,42E-06
Aquecimento global - ecossistemas terrestres	species.yr	4,93E-08	3,19E-06	7,91E-06
Aquecimento global - ecossistemas de água doce	species.yr	1,35E-12	8,71E-11	2,16E-10
Formação de ozônio - ecossistemas terrestres	species.yr	6,33E-09	3,79E-07	2,40E-06
Acidificação terrestre	species.yr	1,03E-08	6,43E-07	2,76E-06
Eutrofização de água doce	species.yr	6,25E-09	2,76E-07	4,96E-07
Eutrofização marinha	species.yr	1,16E-12	3,32E-11	1,35E-10
Ecotoxicidade terrestre	species.yr	6,89E-10	4,57E-08	9,04E-08
Ecotoxicidade de água doce	species.yr	8,31E-10	2,44E-08	2,90E-08
Ecotoxicidade marinha	species.yr	1,77E-10	5,00E-09	6,25E-09
Uso da terra	species.yr	3,11E-09	4,97E-07	1,03E-04
Consumo de água - ecossistema terrestre	species.yr	1,73E-09	1,06E-07	1,15E-07
Consumo de água - ecossistemas aquáticos	species.yr	1,98E-13	7,42E-12	8,69E-11
Escassez de recursos minerais	USD2013	0,157	6,44	0,873
Escassez de recursos fósseis	USD2013	0,768	57,97	259,19

Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

Segundo a figura 33, as categorias que mais geram danos à saúde humana é “Formação de material particulado” e “Aquecimento global- saúde humana” onde a madeira apresenta o maior resultado. As duas categorias juntas somam mais de 90% dos danos. Ao somar os danos causados por ambas as categorias tem-se um total de

0,0184 DALY para a madeira, um total de $1,869 \times 10^{-3}$ DALY para a telha de concreto e um total de $3,62 \times 10^{-5}$ DALY para o aço.

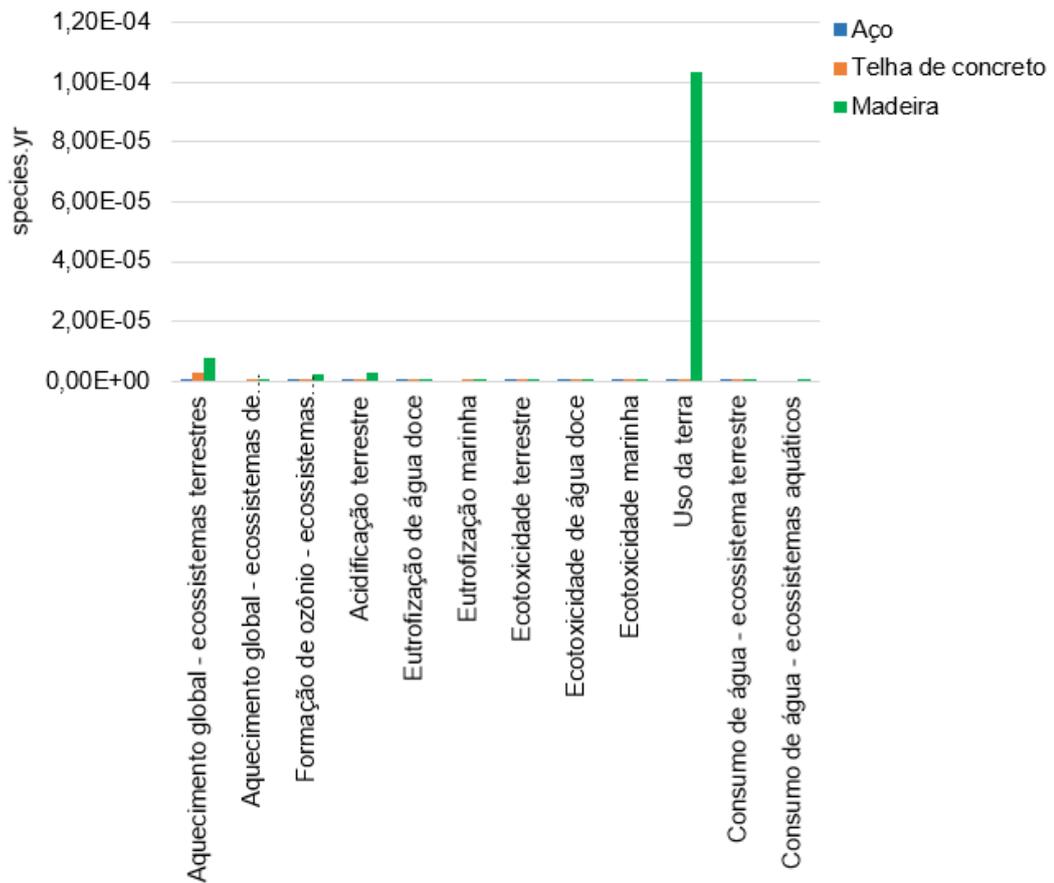
Figura 33 - Caracterização: Danos à saúde humana (DCB)



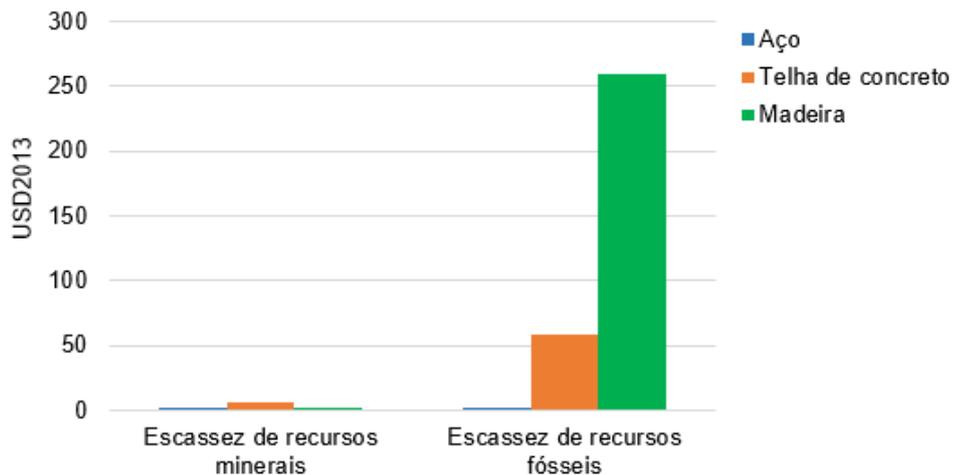
Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

De acordo com a figura 34, a categoria que mais gera danos à disponibilidade dos ecossistemas, assim como para o projeto DCA, é a categoria “Uso da terra”. Neste caso, a madeira apresenta-se como predominante na geração dos danos, com um total de $1,03 \times 10^{-4}$ *species.yr*, a telha de concreto e o aço apresentam um total de $4,97 \times 10^{-7}$ *species.yr* e $3,11 \times 10^{-9}$ *species.yr*, respectivamente.

Com relação aos danos à disponibilidade de recursos, apresentado na figura 35, a categoria “Escassez de recursos fósseis” apresenta-se predominante na geração de danos, onde a madeira apresenta um total de 259,19 USD₂₀₁₃, a telha de concreto um total de 57,97 USD₂₀₁₃ e o aço um total de 0,768 USD₂₀₁₃. Neste caso, pode-se perceber que a madeira apresenta mais de 80% dos danos relacionados a esta categoria.

Figura 34 - Caracterização: Danos à disponibilidade dos ecossistemas (DCB)

Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

Figura 35 - Caracterização: Danos a disponibilidade de recursos (DCB)

Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

Na análise global dos danos, vê-se que a madeira apresentou valores superiores a 70% em todas as categorias de danos, principalmente, na categoria “Danos à diversidade dos ecossistemas”, onde o valor foi superior a 90%. A telha de

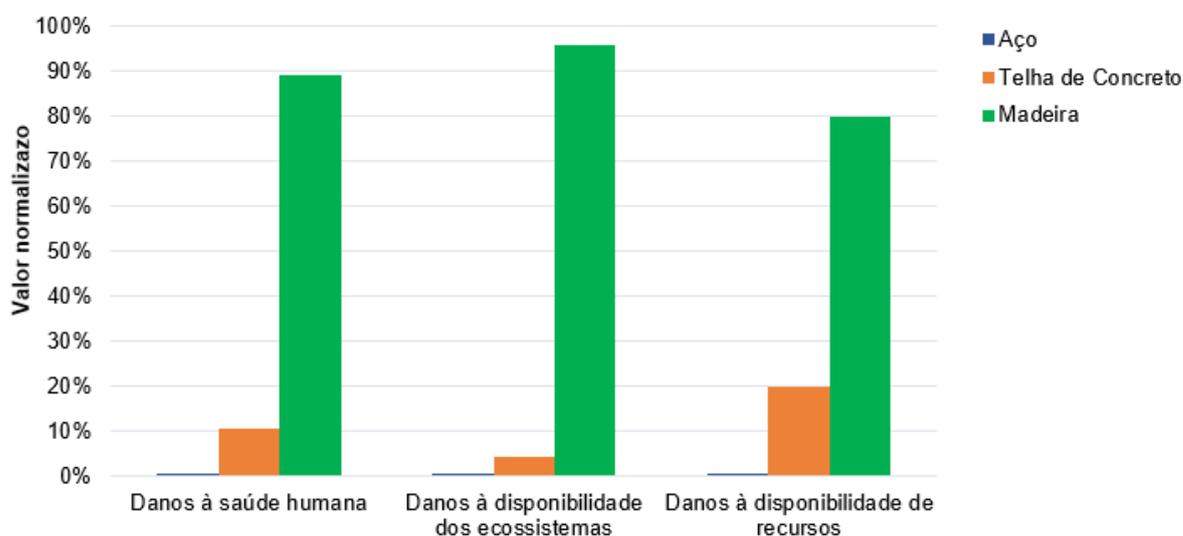
concreto apresentou o maior valor na categoria de “Danos a disponibilidade de recursos” com 19,8% dos danos, e aço apresentou o maior valor na categoria “Danos à saúde humana” com 0,41% dos danos. Os resultados podem ser observados na tabela 9 e na figura 36.

Tabela 9 - Análise global: Avaliação de danos DCB

Categoria de danos	Unidade	Aço	Telha de concreto	Madeira
Danos à saúde humana	DALY	8,87E-05	2,28E-03	0,019
Danos à disponibilidade dos ecossistemas	species.yr	7,87E-08	5,17E-06	1,17E-04
Danos à disponibilidade de recursos	USD2013	0,925	64,41	260,07

Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

Figura 36 - Análise global: Avaliação de danos DCB



Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

A tabela 10 apresenta os valores referentes às categorias de danos para a estrutura de cobertura com telha de fibrocimento (DCC) e as figuras 37, 38 e 39 trazem os dados separados, para cada categoria de dano considerada na abordagem *Endpoint*.

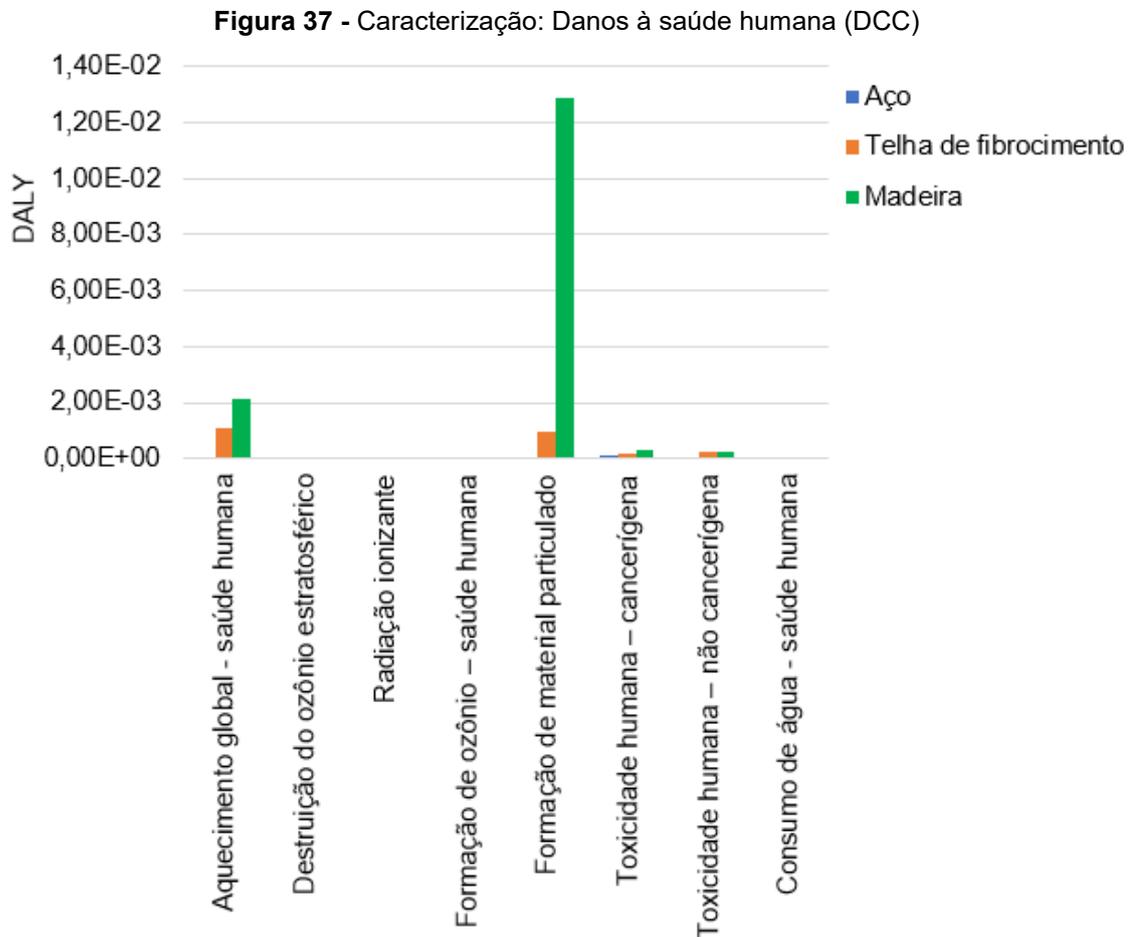
Tabela 10 - Caracterização: Abordagem *Endpoint* (DCC)

Categoria de impacto	Unidade	Aço	Telha de Fibrocimento	Madeira
Aquecimento global - saúde humana	DALY	3,59E-05	1,10E-03	2,14E-03
Destruição do ozônio estratosférico	DALY	4,40E-09	2,87E-07	1,14E-06
Radiação ionizante	DALY	9,45E-09	4,41E-07	1,09E-06
Formação de ozônio – saúde humana	DALY	9,13E-08	2,46E-06	1,35E-05
Formação de material particulado	DALY	4,37E-05	9,88E-04	0,0129
Toxicidade humana – cancerígena	DALY	1,07E-04	2,09E-04	3,03E-04
Toxicidade humana – não cancerígena	DALY	7,66E-06	2,74E-04	2,13E-04
Consumo de água - saúde humana	DALY	5,28E-07	9,59E-06	6,05E-06
Aquecimento global - ecossistemas terrestres	species.yr	1,08E-07	3,32E-06	6,45E-06
Aquecimento global - ecossistemas de água doce	species.yr	2,96E-12	9,08E-11	1,76E-10
Formação de ozônio - ecossistemas terrestres	species.yr	1,39E-08	3,64E-07	1,96E-06
Acidificação terrestre	species.yr	2,25E-08	7,07E-07	2,25E-06
Eutrofização de água doce	species.yr	1,37E-08	3,52E-07	4,05E-07
Eutrofização marinha	species.yr	2,56E-12	5,59E-11	1,10E-10
Ecotoxicidade terrestre	species.yr	1,52E-09	6,40E-08	7,37E-08
Ecotoxicidade de água doce	species.yr	1,83E-09	4,19E-08	2,36E-08
Ecotoxicidade marinha	species.yr	3,89E-10	8,35E-09	5,10E-09
Uso da terra	species.yr	6,85E-09	8,29E-07	8,43E-05
Consumo de água - ecossistema terrestre	species.yr	3,80E-09	6,42E-08	9,40E-08
Consumo de água - ecossistemas aquáticos	species.yr	4,34E-13	6,89E-12	7,09E-11
Escassez de recursos minerais	USD2013	0,344	1,96	0,712
Escassez de recursos fósseis	USD2013	1,69	55,2	211

Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

De acordo com a figura 37, as categorias que geram maior dano à saúde humana são “Formação de material particulado” e “Aquecimento global- saúde humana”, em ambas categorias a madeira é predominante na geração dos danos. Ao somar os danos causados por ambas as categorias tem-se um total de 0,0150 DALY

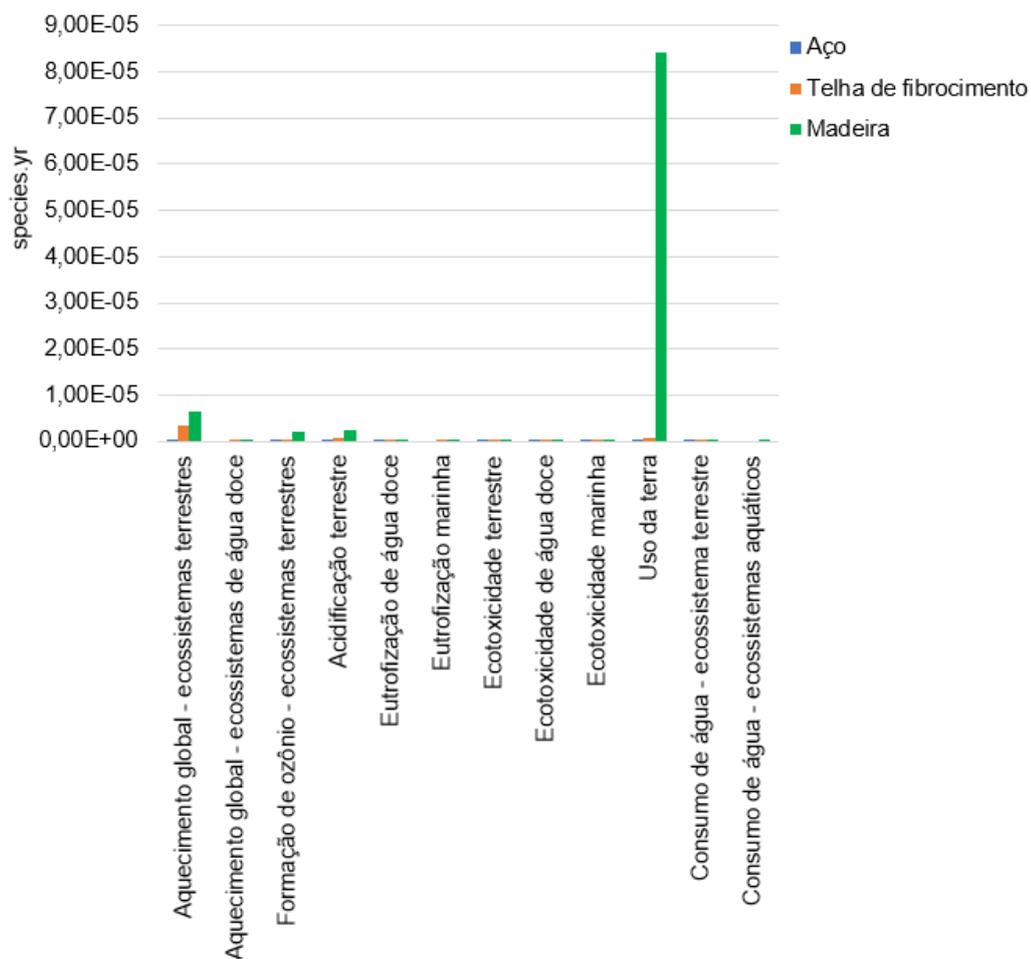
para a madeira, um total de $2,09 \times 10^{-3}$ DALY para a telha de fibrocimento, e um total de $7,96 \times 10^{-5}$ DALY para o aço.



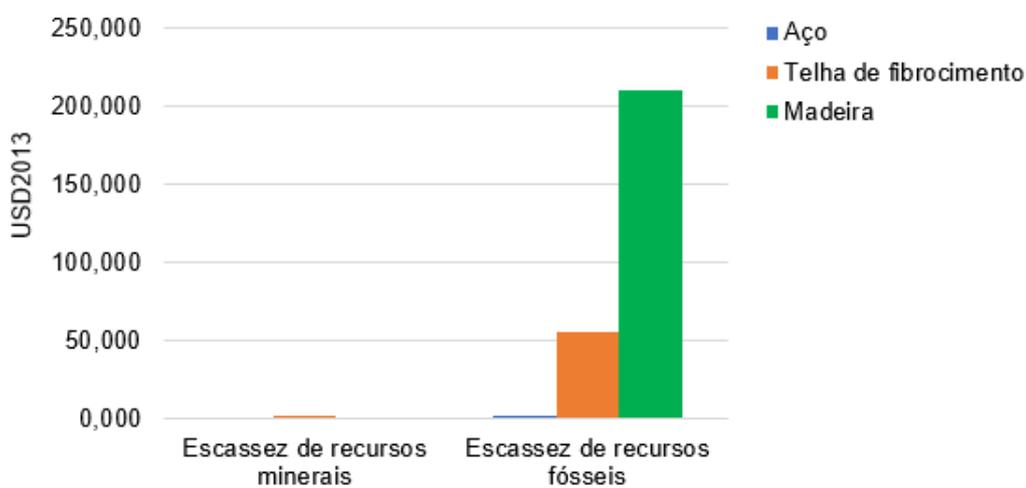
Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

Na figura 38, relacionada aos danos causados à disponibilidade dos ecossistemas, tem-se para as estruturas DCA e DCB, que a categoria “Uso da terra” é predominante com relação à geração dos danos. Onde a madeira apresenta um total de $8,43 \times 10^{-5}$ *species.yr*, a telha de fibrocimento um total de $8,29 \times 10^{-7}$ *species.yr*, e para o aço um total de $6,85 \times 10^{-9}$ *species.yr*.

Com relação à figura 39, a categoria “Escassez de recursos fósseis” é dominante com relação à geração dos danos, onde a madeira apresenta um total de 211 USD2013, a telha de fibrocimento um total de 55,20 USD2013 e o aço apresenta um total de 1,69 USD2013. Neste caso, a madeira é responsável por mais de 75% dos danos relacionados à categoria.

Figura 38 - Caracterização: Danos à disponibilidade dos ecossistemas (DCC)

Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

Figura 39 - Caracterização: Danos à disponibilidade de recursos (DCB)

Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

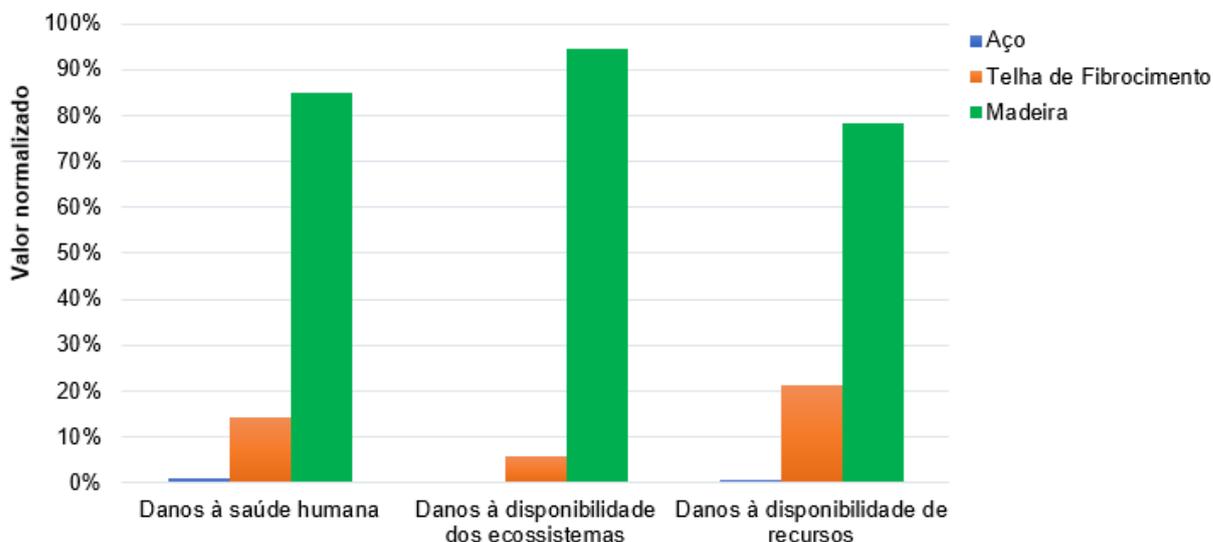
Na análise global dos danos, tem-se que a madeira, assim como na estrutura DCB, apresentou valores superiores a 70% em todas as categorias de danos, principalmente, na categoria “Danos à diversidade dos ecossistemas”, onde o valor foi superior a 90%. A telha de fibrocimento e o aço apresentaram valores inferiores a 25% e 1,5%, respectivamente com relação às categorias de danos. Os resultados podem ser observados na tabela 11 e na figura 40.

Tabela 11 - Análise global: Avaliação de danos DCC

Categoria de danos	Unidade	Aço	Telha de fibrocimento	Madeira
Danos à saúde humana	DALY	1,95E-04	2,59E-03	0,0156
Danos à diversidade dos ecossistemas	species.yr	1,73E-07	5,76E-06	9,56E-05
Danos à disponibilidade de recursos	USD2013	2,032	57,2	212

Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

Figura 40 - Análise global: Avaliação de danos DCC



Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

Por fim, a tabela 12 traz os resultados obtidos através da comparação das três estruturas de cobertura DCA, DCB e DCC, e as figuras 41, 42 e 43 trazem a representação dos resultados para cada categoria de dano separadamente.

Tabela 12 – Caracterização: Análise comparativa das estruturas

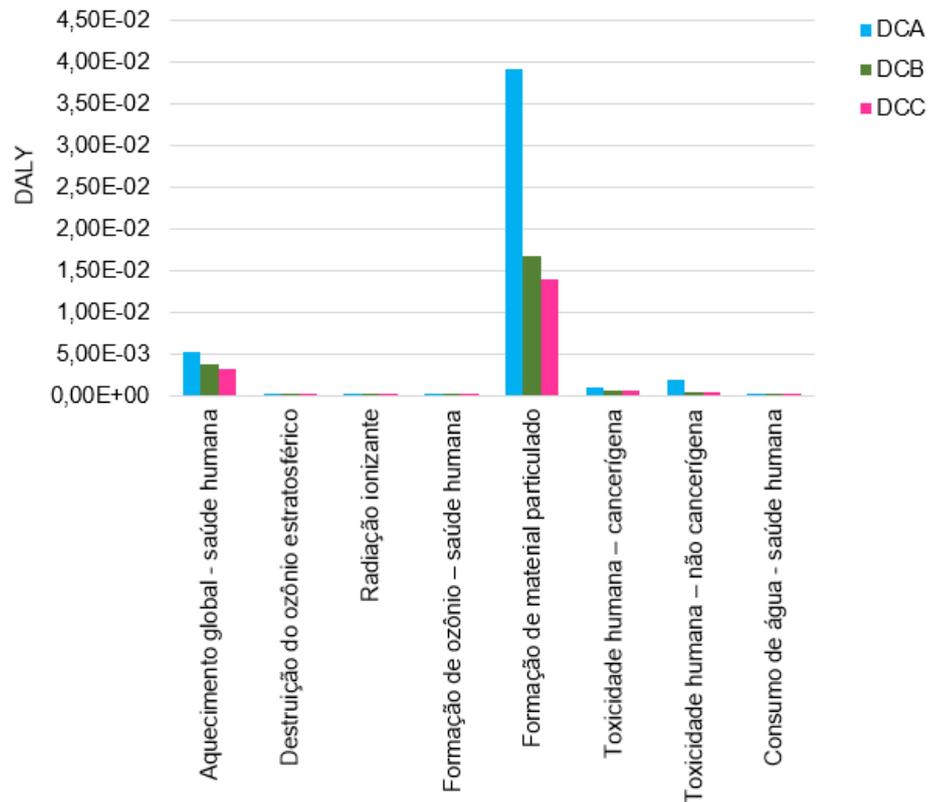
Categoria de impacto	Unidade	DCA	DCB	DCC
Aquecimento global - saúde humana	DALY	5,32E-03	3,70E-03	3,28E-03
Destruição do ozônio estratosférico	DALY	1,99E-06	1,52E-06	1,43E-06
Radiação ionizante	DALY	2,59E-06	1,55E-06	1,54E-06
Formação de ozônio – saúde humana	DALY'	2,29E-05	1,93E-05	1,61E-05
Formação de material particulado	DALY	3,91E-02	1,67E-02	1,39E-02
Toxicidade humana – cancerígena	DALY	1,06E-03	6,32E-04	6,19E-04
Toxicidade humana – não cancerígena	DALY	1,84E-03	4,50E-04	4,95E-04
Consumo de água - saúde humana	DALY	4,03E-05	2,34E-05	1,62E-05
Aquecimento global - ecossistemas terrestres	species.yr	1,61E-05	1,12E-05	9,88E-06
Aquecimento global - ecossistemas de água doce	species.yr	4,39E-10	3,05E-10	2,70E-10
Formação de ozônio - ecossistemas terrestres	species.yr	3,32E-06	2,78E-06	2,33E-06
Acidificação terrestre	species.yr	5,15E-06	3,41E-06	2,98E-06
Eutrofização de água doce	species.yr	1,60E-06	7,79E-07	7,70E-07
Eutrofização marinha	species.yr	2,88E-10	1,69E-10	1,68E-10
Ecotoxicidade terrestre	species.yr	3,54E-07	1,37E-07	1,39E-07
Ecotoxicidade de água doce	species.yr	2,18E-07	5,42E-08	6,73E-08
Ecotoxicidade marinha	species.yr	4,45E-08	1,14E-08	1,38E-08
Uso da terra	species.yr	1,04E-04	1,04E-04	8,52E-05
Consumo de água - ecossistema terrestre	species.yr	3,56E-07	2,24E-07	1,62E-07
Consumo de água - ecossistemas aquáticos	species.yr	1,12E-10	9,46E-11	7,82E-11
Escassez de recursos minerais	USD2013	31,14	7,47	3,02
Escassez de recursos fósseis	USD2013	516,59	317,93	268,15

Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

Verificando a figura 41, pode-se observar que as categorias que mais causam danos à saúde humana são “Aquecimento global – saúde humana” e “Formação de material particulado”, juntas as categorias são responsáveis por mais de 90% dos impactos. O dano ambiental total obtido foi de $4,44 \times 10^{-2}$ DALY para o projeto DCA,

de $2,04 \times 10^{-2}$ DALY para DCB e de $1,72 \times 10^{-2}$. Além disso, pode-se observar também a predominância do projeto DCA, ele sozinho representa mais de 50% dos danos.

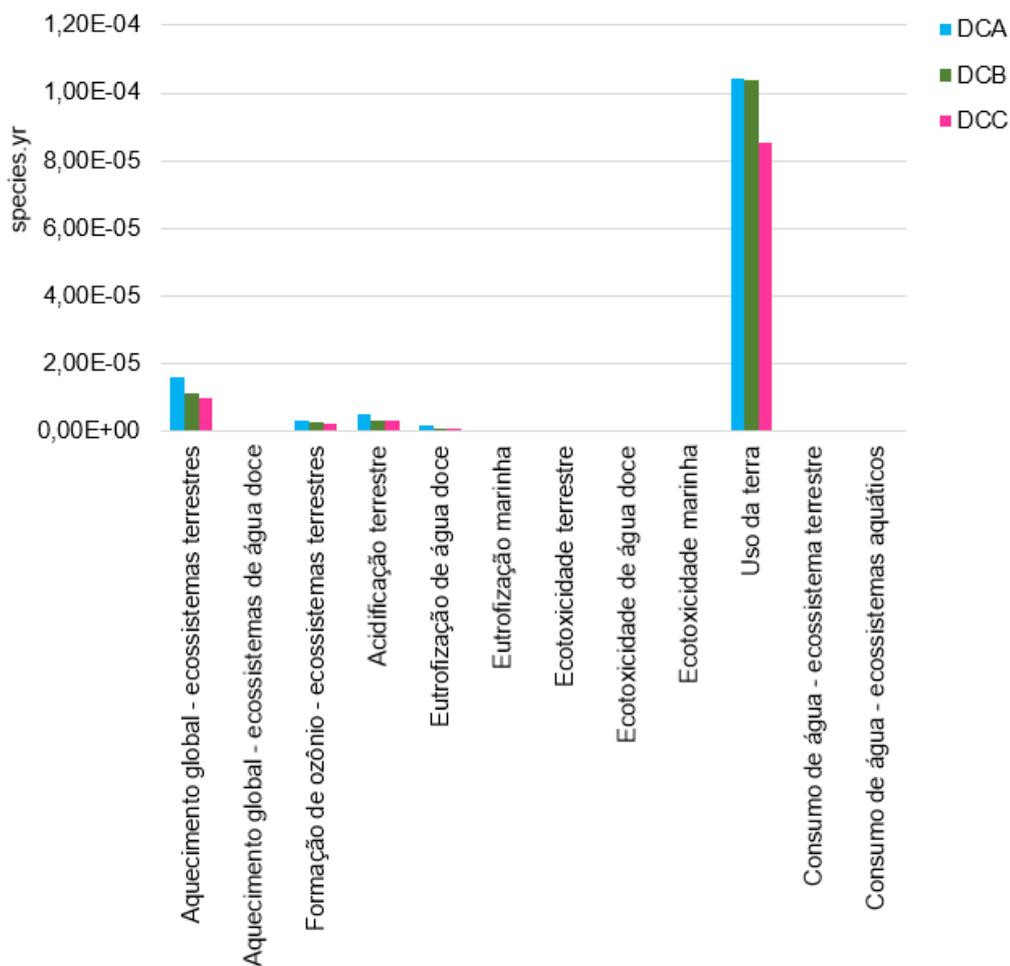
Figura 41 - Caracterização: Danos à saúde humana



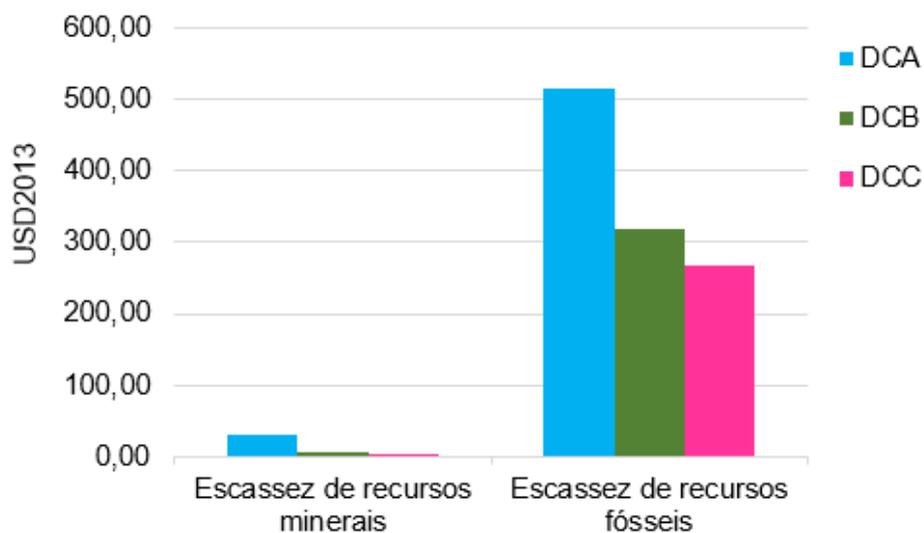
Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

De acordo com a figura 42, as categorias de impactos que mais geram danos à disponibilidade dos ecossistemas são “Aquecimento global – ecossistemas terrestres” e “Uso da terra”, juntas as categorias representam mais de 90% dos danos causados. Para essa categoria o dano ambiental total obtido é de $1,20 \times 10^{-4}$ species.yr para o projeto DCA, de $1,15 \times 10^{-4}$ species.yr para o projeto DCB e de $9,50 \times 10^{-5}$ species.yr para o projeto DCC.

De acordo com a figura 43, a categoria “Escassez de recursos fósseis” é predominante na geração de danos. Observa-se que o projeto DCA apresentou um impacto de 516,59 USD2013, valor superior aos projetos DCB e DCC que apresentaram, respectivamente, um total de 317,93 USD2013 e 268,15 USD2013.

Figura 42 - Caracterização: Danos à disponibilidade dos ecossistemas

Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

Figura 43 - Caracterização: Danos à disponibilidade de recursos

Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

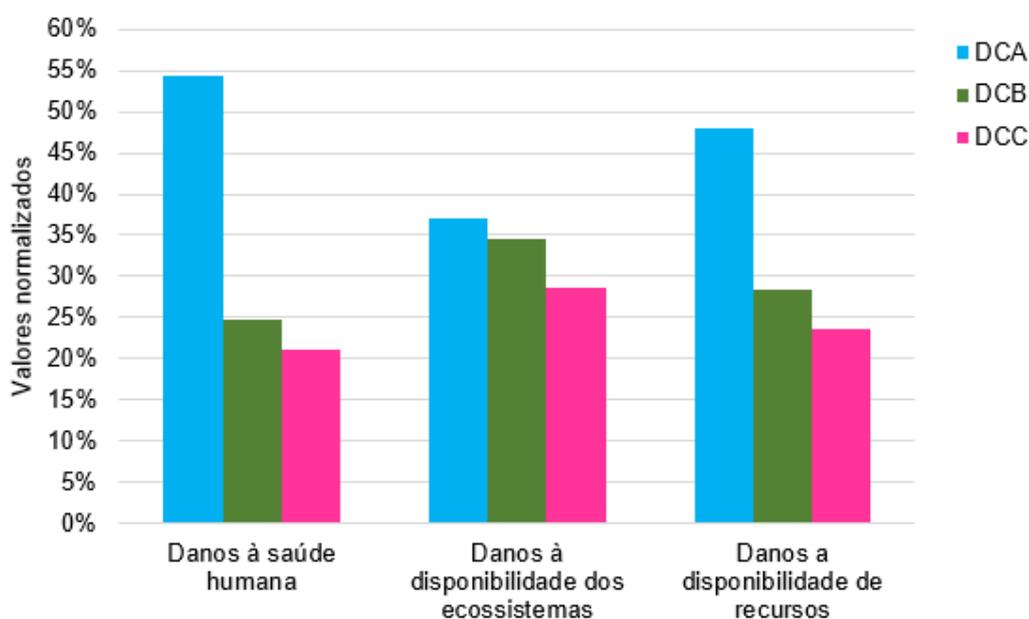
Na análise global dos danos, tem-se que nas categorias de danos, os resultados obtidos foram significativos. Com relação às categorias “Danos à saúde humana” e “Danos à disponibilidade de recursos” o projeto DCA com telha cerâmica se mostrou predominante com relação à geração de danos, onde os valores apresentados foram respectivamente, superiores a 50% e a 40%, já na categoria “Danos à disponibilidade dos ecossistemas” os danos gerados por ambos os projetos foram próximos. Os resultados podem ser observados na tabela 13 e na figura 41.

Tabela 13 - Análise global: Comparação das estruturas

Categoria de danos	Unidade	DCA	DCB	DCC
Danos à saúde humana	DALY	4,74E-02	2,15E-02	1,84E-02
Danos à diversidade dos ecossistemas	species.yr	1,31E-04	1,22E-04	1,01E-04
Danos à disponibilidade de recursos	USD2013	547,73	325,40	271,17

Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

Figura 44 - Análise global: Comparação das estruturas



Fonte: Autora com base nos dados do SimaPro

Com base nos resultados apresentados, tem-se as seguintes análises com relação as categorias de danos consideradas na abordagem *Endpoint*, os materiais utilizados, e os processos de fabricação relacionado aos três tipos de telha escolhidos.

O quadro 17 representa, um resumo dos dados analisados, onde o 'X' representa as categorias em que os valores dos danos foram superiores a 50%.

Quadro 17 - Resumo dos resultados obtido através da abordagem *Endpoint*

	Categorias de impacto	Telha cerâmica	Telha de concreto	Telha de Fibrocimento
DALY	Aquecimento global - saúde humana	X		
	Destruição do ozônio estratosférico			
	Radiação ionizante			
	Formação de ozônio – saúde humana			
	Formação de material particulado	X		
	Toxicidade humana – cancerígena	X		
	Toxicidade humana – não cancerígena	X		X
	Consumo de água - saúde humana	X	X	X
species.yr	Aquecimento global - ecossistemas terrestres	X		
	Aquecimento global - ecossistemas de água doce	X		
	Formação de ozônio - ecossistemas terrestres			
	Acidificação terrestre			
	Eutrofização de água doce	X		
	Eutrofização marinha	X		
	Ecotoxicidade terrestre	X		
	Ecotoxicidade de água doce	X		X
	Ecotoxicidade marinha	X		X
	Uso da terra			
	Consumo de água - ecossistema terrestre	X		
Consumo de água - ecossistemas aquáticos				
USD2013	Escassez de recursos minerais	X	X	X
	Escassez de recursos fósseis			

Fonte: Autora

Para a telha cerâmica, com relação a categoria “Danos à saúde humana”, os danos causados pelas categorias “Formação de material particulado” e “Consumo de água - saúde humana”, estão relacionados com a utilização da argila, assim como as categorias “Toxicidade humana – cancerígena” e “Toxicidade humana – não cancerígena”, pois como citado anteriormente, ela é a menor fração do solo,

responsável pela retenção e distribuição da água, e por ser tão pequena, pode ser facilmente inalada o que acaba ocasionando surgimento de doenças respiratórias. Já com relação a categoria “Aquecimento global - saúde humana”, ela está relacionada com o processo de produção da telha, onde é necessário, realizar a queima de madeira ou de combustíveis fósseis, o que acaba gerando a liberação de gases responsáveis por aumentar a temperatura média da terra gerando mudanças climáticas que podem afetar diretamente a saúde humana, como a escassez de alimentos e a propagação de doenças e pandemias (IBERDROLA, 2022).

Com relação a categoria “Danos à disponibilidade de ecossistema”, os danos causados pelas categorias “Aquecimento global - ecossistemas terrestres”; “Aquecimento global - ecossistemas terrestres” e “Aquecimento global - ecossistemas de água doce”, estão relacionados com a etapa de queima no processo de produção da telha. No caso dos danos causados a saúde humana, o aquecimento global também traz danos aos ecossistemas, com o desaparecimento de espécies. Por fim, com relação ao dano causado pela disponibilidade de recurso a categoria “Escassez de recursos minerais” está relacionada com a matéria-prima utilizada, pois como a argila é um recurso natural não renovável, sua diminuição acarretaria em preços maiores com relação a produções futuras que venham a utilizar deste material como matéria prima, além da telha cerâmica.

Para a telha de concreto, com relação ao “Dano à saúde humana” os danos causados pela categoria “Consumo de água - saúde humana” estão ligados com os materiais utilizados e com o processo de fabricação, pois possuem relação com o cimento, para a extração da matéria-prima utilizada em sua fabricação, pode ocorrer a contaminação da água próxima as jazidas ou minas. Com relação ao “Dano à disponibilidade de recursos”, os danos causados pela categoria “Escassez de recursos minerais”, está relacionado com o principal material utilizados na fabricação das telhas de concreto, pois para sua produção se faz necessários à utilização de recursos não renováveis.

Por fim, para a telha de fibrocimento, os danos causados pelas categorias, “Toxicidade humana – não cancerígena” e “Consumo de água - saúde humana”, referente a categoria “Dano à saúde humana”; e os danos causados pelas categorias “Ecotoxicidade de água doce” e “Ecotoxicidade marinha”, referentes à categoria “Danos a disponibilidade de ecossistemas”, estão ligados ao processo produtivo da

telha, onde é utilizada uma grande quantidade de água. Com relação a categoria “Danos à disponibilidade de recursos”, o dano causado pela categoria “Escassez de recursos minerais” está diretamente ligado com os matérias utilizados na fabricação da telha.

5 CONCLUSÃO

Com relação à análise dos três tipos de cobertura, considerando que para este trabalho, foi realizada a avaliação do berço ao portão, de forma individual através das abordagens *Midpoint* e *Endpoint* do método ReCiPe 2016, para o projeto DCA, a telha cerâmica gera os maiores impactos e danos ambientais, apresentado valores superiores a 50 % em 10 das 18 categorias de impacto analisadas e, em 14 categorias de danos das 22 analisadas. Com relação ao projeto DCB, a telha de concreto apresenta valor superior a 50 %, na categoria de impacto “ Escassez de recursos minerais”, e em apenas duas categorias de danos. Já, para o projeto DCC, a telha de fibrocimento apresenta valores superiores a 50% em quatro das 18 categorias de impacto e em cinco das 22 categorias de danos. Para os projetos, DCB, e DCC, a madeira, representa mais de 50% dos impactos e danos causados. Com relação ao aço, o mesmo gera os menores impactos e danos para os três projetos, entretanto, deve-se considerar que as quantidades de aço utilizadas nas estruturas são pequenas quando comparadas aos demais materiais.

Com isso, pode-se concluir, ao realizar as comparações dos impactos e danos causados, com a matéria-prima utilizada e os processos de fabricação para cada tipo de telha, que a telha de concreto se apresenta como a opção mais sustentável com relação à telha cerâmica e à telha de fibrocimento. Além disso, a telha de concreto também se destaca com relação as etapas de uso e manutenção da estrutura, pois apresenta durabilidade e resistência maiores quando comparada com a telha cerâmica e de fibrocimento.

No sistema de cobertura, a telha de fibrocimento (DCC) apresenta os menores danos e impactos ambientais, isso deve-se ao fato de que, esse sistema tem uma menor utilização de madeira quando comparado com os sistemas DCA e DCB.

Assim, ao realizar a avaliação do inventário, o *software* SimaPro, apresentou-se como ferramenta viável para determinar o material mais sustentável, dentre os pesquisados, considerando apenas a dimensão ambiental.

Finalmente, diante das possibilidades que a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida proporciona, é essencial a análise comparativa de materiais no setor da construção civil que desempenham a mesma função. Pois, dessa forma, a tomada

de decisão é facilitada mediante resultados comparativos de impactos, podendo assim, substituir materiais justificadamente.

Como sugestão futura, para buscar o aprimoramento dos resultados obtidos podem ser feitas as análises considerando as dimensões econômicas e sociais, e a diferença existente com relação a fatores termoacústico.

REFERÊNCIAS

ABITANTE, A. L.; LISBOA, E. D. S. **Materiais de construção**. Porto Alegre: SAGAH, 2017. 134 p.

ABNT. ABNT NBR 6123: 1988 - **Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro: [s.n.], 1988.

ABNT. ABNT NBR 7190: 1997 - **Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro : [s.n.], 1997.

ABNT. ABNT NBR 8800:2008: **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**, Rio de Janeiro, p. 237, 2008.

ABNT. ABNT NBR 15310: 2009 **Componentes cerâmicos - Telhas - Terminologia, requisitos e método de ensaios**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2009.

ABNT. ANBT NBR:13858-2:2009 **Telhas de concreto - parte 2: requisitos e métodos de ensaio**, Rio de Janeiro, p. 38, 2009.

ABNT. ABNT NBR ISO 14040:2009:**Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura**, Rio de Janeiro, 2009a.

ABNT. ABNT NBR ISO 14044:2009:Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida- Requisitos e Orientações, Rio de Janeiro, 2009b.

ABNT. ABNT NBR 15210-1:2019 **Telhas onduladas, e peças complementares de fibrocimento sem amianto**, Rio de Janeiro , p. 22, 2019.

ABNT. ABNT NBR 6120: 2019 - **Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2019.

ABNT. ABNT NBR 15575-5 **Edificações habitacionais - desempenho - parte 5: requisitos para os sistemas de coberturas**, p. 92, 2021.

ABREU, W. G. D. **Identificação de práticas sustentáveis aplicadas às edificações**. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, p. 169, 2012. Disponível em: <<http://poscivil.sites.uff.br/wp-content/uploads/sites/461/2018/10/disseracaoformatada.pdf>>. Acesso em: 23 Out 2021.

AGENDA 2030. **Tranformando nosso mundo: A agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.** Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil - UNI Rio, p. 55, 2016. Disponível em: <http://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/Brasil_Amigo_Pesso_Idosa/Agenda_2030.pdf>. Acesso em: 08 Mar 2022.

AIRES, E. K. S. **Sustentabilidade na construção civil: o caso de um residencia padrão popular.** Dissertação - graduação em Engenharia Civil, Teresina, p. 83, 2019. Disponível em: <https://www.uninovafapi.edu.br/arquivos_academicos/repositorio_Biblioteca/engenharia_civil/20191/SUSTENTABILIDADE%20NA%20CONSTRU%20C3%87%20C3%83O%20CIVIL-%20O%20CASO%20DE%20UMA%20RESID%20ANCIA%20PADR%20C3%83O%20POPULAR.pdf>. Acesso em: 17 Novembro 2021.

ALBUQUERQUE, I. et al. **Análise das emissões de Gases de Efeito Estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil.** SEEG - Observatório do Clima, p. 41, 2020. Disponível em: <<http://seeg.eco.br/documentos-analiticos#>>. Acesso em: 23 Nov 2021.

ARAÚJO, A. B. A. **A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável e o Brasil: uma análise da governança para implementação entre 2015 e 2019.** Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Relações Internacionais: Universidade Federal de Uberlândia, p. 246, 2020. Disponível em: <<http://clyde.dr.ufu.br/handle/123456789/29191>>. Acesso em: 19 Nov 2021.

AZEREDO, H. A. D. **O edifício até sua cobertura.** 2ª. ed. São Paulo: Blucher, 1997. 182 p.

BALLARIN, A. W. **Notas de Aula: Aula 5 – Tesouras de Madeira.** [S.l.]: [s.n.], 2006. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/3869184-Tesouras-de-madeira-graduacao-3o-florestal-aula-05-disciplina-prop-mecanicas-e-fundamentos-das-estrut-madeira-prof-adriano-wagner-ballarin.html>>. Acesso em: 03 Jun 2022.

BARBOSA, G. S.; DRACH, R. C.; CORBELLA, D. **Sustentabilidade Urbana e Desenvolvimento Sustentável: uma discussão em aberto.** XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Juiz de Fora, p. 6, Outubro 2012. Disponível em: <<https://silo.tips/download/sustentabilidade-urbana-e-desenvolvimento-sustentavel-uma-discussao-em-aberto>>. Acesso em: 17 Fev 2022.

BARROS, G. H. A. D. **Utilização de rejeitos de quartzito do município de guapé-mg como agregado na produção de telhas de concreto,** Varginha, p. 51, 2020.

Disponível em: <<http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/1381>>. Acesso em: Jun 2022.

BARTELMUS, P. **Dematerialization and capital maintenance: two sides of the sustainability coin**. Ecological Economics, v. 46, n. 1, p. 61-81, 2003. Disponível em: <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0921800903000788?token=AF87CE1FA2746AAE1B1BCEC822182C799EB0EC91E3D1BF526027317537372E47D9A7F3842709EDF64E064795E36AC496&originRegion=us-east-1&originCreation=20220303134000>>. Acesso em: 03 Mar 2022.

BASTOS, F. A. **Avaliação do processo de fabricação de telhas e blocos cerâmicos visando a certificação do produto**. Dissertação (Mestrado) - Universidade federal de Santa Catarina, Florianópolis, p. 164, 2003. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/86480/191985.pdf>>. Acesso em: 06 dez. Mai.

BAUER, L. A. F. **Materias de construção**. 6 ed. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 2, 2019. 617 p.

BRASILIT. **Guia Técnico de Telhas de Fibrocimento e Acessórios para Telhado**, 2014. 116. Disponível em: <<https://bd-sp.canaldapeca.com.br/Brasilit/MANUAL/Cat%C3%A1logo%20Telhas%20De%20Fibrocimento%20Brasilit.pdf>>. Acesso em: 23 Out 2021.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Guia Selo Casa Azul + CAIXA**, v. 8, p. 35, julho 2021. Acesso em: 03 Mai 2022.

CALIL JR., C. C.; MOLINA, J. C. **Coberturas em estruturas de madeira: exemplos de cálculo**. 1ª. ed. São Paulo: Pini Ltda, 2010.

CAPPATTO, R.; ABEID, M. Q.; BONETTE, L. **Perspectivas sobre a Implantação da Economia Circular, Sustentabilidade e Gestão de Resíduos na Construção Civil**. ConBRepro, p. 10, 2020. Disponível em: <https://aprepro.org.br/conbrepro/2020/anais/arquivos/10052020_121017_5f7b3bcd707b3.pdf>. Acesso em: 17 Fev 2021.

CARVALHO, G. O. D. **Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: uma visão contemporânea**. RG&SA - Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, Florianópolis, v. 8, n. 1, p. 779-792, 2019. Disponível em: <https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/articloe/view/6707>. Acesso em: 04 Mar 2022.

CASTRO FILHO, C. M. D. **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável: uma leitura de política pública na chave da biblioteca escolar**. Revista Digital Biblioteconomia e Ciência da Informação - RDBCI, São Paulo, v. 16, n. 3, p. 355-372, set./dez. 2018. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rdbci/article/view/8650931>>. Acesso em: 07 Mar. 2022.

CBCS. CBSC - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável: **Boletim Informativo do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável**, v. 12, dez 2014. Disponível em: <http://www.cbcs.org.br/website/_download/magazine.asp?mmzCode=77064FB6-D658-4C23-954A-E53E3DD647B5>. Acesso em: 28 Mai 2022.

CBIC. **Guia CBIC de Boas Práticas em Sustentabilidade na Indústria da Construção**. Elaborada pela Biblioteca Walther Moreira Salles, Brasília, p. 81, 2012. Disponível em: <https://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2013/08/Guia_de_Boas_Praticas_em_Sustentabilidade_CBIC_FDC.pdf>. Acesso em: 03 Mai 2022.

CBIC. **Energia nas construções: uma contribuição do setor à redução de emissões e de uso de fontes renováveis de energia**. Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC, Brasília-DF, p. 130, 2017. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Energia_na_Construcao_2017-1.pdf>. Acesso em: Mar 2022.

CEDRAL. **Concrete, terracotta or fibre-cement roofing: pros and cons**. CEDRAL, Jan 2022. Disponível em: <<https://www.cedral.world/en/roofing/blog/207138/concrete-terracotta-or-fibre-cement-roofing-pros-and-cons/>>. Acesso em: Jun 2022.

CEMISIL. CEMISIL. **Cerâmica e Mineração Silva LTDA**. Disponível em: <<https://cemisil.com.br/>>. Acesso em: 23 Out 2021.

COELHO, T. D. C. C.; GOMES, C. E. M.; DORNELLES, K. A. **Desempenho térmico e absorvância solar de telhas de fibrocimento sem amianto submetidas a diferentes processos de envelhecimento natural**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, p. 147-161, jan./mar 2017. ISSN 1. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100129>>. Acesso em: Jun 2022.

CORRÊA, L. R. **Sustentabilidade na construção civil**. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/54235791/Sustentabilidade_na_Construcao_CivilL.pdf>. Acesso em: 12 Fev 2022.

COSTA, B. D. S. L. M. **Um estudo sobre sustentabilidade**. Monografia - Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído: Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p. 71, 2019. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1843/30920>>. Acesso em: 4 Des 2021.

COSTA, K. A. **A utilização da avaliação do ciclo de vida no processo de tomada de decisão em sustentabilidade na indústria da construção no subsetor de edificações**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)—Pós-Graduação em Engenharia Civil: Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, p. 217, 2012. Disponível em: <http://poscivil.sites.uff.br/wp-content/uploads/sites/461/2018/10/tese_kelly_pos_banca__1_.pdf>. Acesso em: Fev 23 2022.

CRIVELARO, M.; PINHEIRO, A. C. D. F. B. **Materiais de construção**. 3. ed. ed. São Paulo: Saraiva Educação, 2020. 184 p.

CUSTÓDIO, I. M.; DAVID, L. D.; BARATA, Q. F. **Sustentabilidade a partir do uso de selos de certificação ambiental em empreendimentos de Habitação Social**. Revista Científica ANAP Brasil. [S. l.], v. 14, p. 33 - 47, 2021. ISSN 35. Disponível em: <https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap_brasil/article/view/2922>. Acesso em: 2 Mai. 2022.

DARKO, A. et al. **Drivers for implementing green building technologies: An international survey of experts**. Journal of Cleaner Production, v. 145, p. 386-394, 2017. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/79607955.pdf>>. Acesso em: 2021.

DESCHAMPS, L. P. **Sustentabilidade emergente e construção civil: um estudo de caso em Florianópolis**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Administração) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, p. 34, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/176965>>. Acesso em: 19 Nov 2021.

DIAS, B. Z. et al. **Interface entre as ferramentas de avaliação de edifícios em relação aos materiais de construção visando o desenvolvimento da ASUS.**, p. 10, 2010. Disponível em: <<https://lpp.ufes.br/sites/lpp.ufes.br/files/field/anexo/Artigo2342215.pdf>>.

FERNANDES, D. G. **Desenvolvimento de telha de concreto eco-eficiente utilizando resíduo de mármore do tear de fio diamantado**. Tese (doutorado) -

Universidade Estadual do Norte Fluminense, CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ, p. 85, 2017. Disponível em: <<http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/REVIS%C3%83O-POS-BANCA-REV001.pdf>>.

FLORINDO, T. J. et al. **Avaliação do impacto do ciclo de vida: uma discussão metodológica**. *Natureza online*, v. 13, p. 211-219, 2015. Disponível em: <http://www.naturezaonline.com.br/natureza/conteudo/pdf/Florindoetal_211-219.pdf>.

FREITAS, A. R. P.; PAIVA, L. E. B. **Revisão da Produção Científica Internacional de Brasileiros Acerca das Mudanças Climáticas**. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, v. 12, p. 95-113, 2018. ISSN 3. Disponível em: <<http://www.spell.org.br/documentos/ver/52694/revisao-da-producao-cientifica-internacional-de-brasileiros-acerca-das-mudancas-climaticas>>.

FREITAS, J. C. D.; LIBRELOTTO, L. I. **O desafio da Sustentabilidade na Construção Civil - Implementação da certificação Selo Casa Azul no estudo de caso do residencial Multifamiliar Spazio Di Vitta em Chapecó - SC**. ENSUS 2016 - IV Encontro de sustentabilidade em projeto , Chapecó, p. 13, Abril 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/222238>>. Acesso em: 09 Mar 2022.

GARRIDO, L. D. **Conceito de Sustentabilidade**. *Revista Vitruvius*, Valencia, 12 Março 2011. Disponível em: <<https://vitruvius.com.br/index.php/revistas/read/entrevista/11.046/3793/pt?page=2>>. Acesso em: 03 Mai 2022.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5ª. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

HAMANN, M. **Aplicação da avaliação do ciclo de vida como ferramenta de apoio ao processo de avaliação de impacto ambiental**. Dissertação (mestrado) - Pos graduação em ciencias ambientais, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, p. 108, 2018. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjeqv7bjpn4AhUtkpUCHd-XC8oQFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2Fsistemabu.udesc.br%2Fpergamumweb%2Fvinculos%2F000055%2F00005560.pdf&usg=AOvVaw3hBaN_cYqpf8q_V-RZRcJ8>. Acesso em 06 Jun 2022.

IBICT. **Pensamento do ciclo de vida: negócios conscientes à caminho da sustentabilidade**. Sebrae, Cuiabá, MT:, p. 36, 2017. Disponível em: <<https://acv.ibict.br/wp-content/uploads/2018/08/Pensamento-do-Ciclo-de-Vida-Cartilha.pdf>>. Acesso em: Mai 2022.

IBERDROLA. Mudanças climática: o compromisso com o clima do grupo iberdrola. 2022. Disponível em: < <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/contra-mudancas-climaticas> > Acesso em: Jul 2022.

INMETRO. **Avaliação da Conformidade**, n. 6, p. 57, 2007. Disponível em: <<http://200.20.212.34/qualidade/definicaoAvalConformidade.asp>>. Acesso em: 23 Mar 2022.

JATOBA, Ivana. **Impactos ambientais das siderúrgicas**. Universo Jatobá. 2013. Disponível em: <<http://www.universojatoba.com.br/sustentabilidade/consumoconsciente/impactos-ambientais-dassiderurgicas#:~:text=As%20sider%C3%BArgicas%2C%20no%20processo%20de,altamente%20nocivos%20aos%20ecossistemas%20locais>>. Acesso em: Jun 2022.

KAVA, C. M. **A construção civil, a construção sustentável e a educação socioambiental : um estudo de caso de aplicações nas habitações de interesses sociais**. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Educação, Meio Ambiente e Desenvolvimento, p. 116, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1884/43217>>. Acesso em: 16 Fev 2022.

LATTMANN, I. V. **Avaliação do Ciclo de Vida de um Edifício no Contexto da Certificação Ambiental LEED**. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, p. 41, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/7977>>.

LEHTONEN, M. **The environmental–social interface of sustainable development: capabilities, social capital, institutions**. Ecological Economics, v. 49, n. 2, p. 199-2014, Março 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092180090400076X?casa_token=8I7_hVXDTGQAAAAA:EhW4RCAiPaodmubleHM6vIVAy5fB4i758fDfHsn_O3mw1OsdluKfAtVCR3cKsK1CDFB2-ln1j-gH>. Acesso em: 03 Mar 2022.

LIMA, Anielly I. N.; CRUZ, Caio B.; SILVA, Érica De L.. **Impactos Provocados no Meio Ambiente Pelo uso da Madeira na Construção Civil**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Edição 03. Ano 02, Vol. 01. pp 116-135. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/meioambiente/madeira-na-construcao-civil>>. Acesso em: 11 Jun 2022.

LOGSDON, N. B. **Estruturas de madeira para coberturas, sob a ótica da nbr 7190/1997**. Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, CUIABÁ, p. 66, 2002. Disponível em: <<http://usuarios.upf.br/~zacarias/Telhados.pdf>>.

MACEDO, D. B. G. **Metodologia de avaliação do ciclo de vida de sistemas construtivos – aplicação em um sistema estruturado em aço**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas: Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p. 265, 2011. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9ACGQD/1/29.pdf>>.

MANFREDINI, C.; SATTler, M. A. **Estimativa da energia incorporada a materiais de cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 5, p. 23-37, 2005. ISSN 1. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3609>>. Acesso em: 18 Out 2021.

MEDEIROS, M.; DURANTE, C.; CALLEJAS, I. J. A. J. A. **Contribuição para a avaliação de ciclo de vida na quantificação de impactos ambientais de sistemas construtivos**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, p. 365-385, 2018. ISSN 2. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000200259>>.

MELO, R. R. et al. **Caracterização física e mecânica da madeira de Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Recife, v. 5, p. 67-73, jan.-mar. 2010. ISSN 1. Disponível em: <<http://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/download/v5i1a515/1213>>. Acesso em: 18 Fev 2022.

MILANI, C. J. **Proposta de indicadores de sustentabilidade para o projeto de pontes de pequenos vãos**. Tese (Doutorado em Engenharia – Programa de Pós-Graduação em Civil e Ambiental, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo - RS, p. 314, 2020. Disponível em: <https://www.upf.br/_uploads/Conteudofiles/cLeovir-jose-milani.pdf>. Acesso em: Out 2021.

MOLITERNO, A. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 268 p.

MORETTI FILHO, J. **Considerações sobre telhados de edifícios**. Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, [S. I.], v. 12, p. 223-250, 1956. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/aesalq/article/view/45475>>. Acesso em: 04 Mai 2022.

MOTTA, S. F. R.; AGUILAR, M. T. P. **Sustentabilidade e processos de projetos de edificações**. Gestão & Tecnologia de Projetos, [S. I.], v. 4, p. 88-123, 2009. ISSN 1. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/50953>>. Acesso em: 04 Mai 2022.

NUNES, M. F. **Análise da contribuição das certificações ambientais aos desafios da Agenda 2030**. Revista Internacional de Ciências, Rio de Janeiro, v. 08, n. 01, p. 27 - 46, jan-jun 2018. Disponível em: <<https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/ric/article/view/50960>>. Acesso em: 11 Mar 2022.

OLIVEIRA, H. P. D.; FRANCA, ; ANDRADE, R. C. **A sustentabilidade sob a perspectiva do triple bottom line nas pequenas empresas de produtos veganos**. RISUS –Journal on Innovation and Sustainability, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 97-115, jan./fev. 2021. Disponível em: <<https://revistas.pucsp.br/risus/article/view/49588>>. Acesso em: 23 Fev 2022.

OLIVEIRA, M. G. F. D. **ROADMAP tecnológico do cimento: potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050**. SNIC, Rio de Janeiro, p. 64, 2019. Disponível em: <https://coprocessamento.org.br/wp-content/uploads/2019/11/Roadmap_Tecnologico_Cimento_Brasil_Book-1.pdf>. Acesso em: Out 2021.

ONU-BR. **Nova Agenda Urbana**, Rio de Janeiro, p. 66, 2017. Disponível em: <<https://habitat3.org/documents-and-archive/new-urban-agenda/languages/>>. Acesso em: 11 Mar. 2022.

PASSUELLO, A. C. B.; OLIVEIRA, A. F. D. C. E. B. D.; KIRCHHEIM, A. P. **Aplicação da avaliação do ciclo de vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores : estudo de caso da pegada de carbono de clínqueres alternativos**. Ambiente construído, Porto Alegre, v. 14, p. 7-20, 2014. ISSN 4. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/132806>>. Acesso em: 28 Mai 2022.

PAZ, Y. M.; GOUVEIA, R. L.; SILVA, J. F.; HOLANDA, R. M. de. **A atividade de extração de argila e a relação homem-natureza /The clay mining activity and the man-nature relationship**. Revista Geama, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 261-274, 2016. Disponível em: <<http://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/535>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

PFEIL, W. **Estruras de Madeira**. 6ª. ed. Rio de Janeiro : LTC , 2013.

PIZZOL, V. D. **Carbonatação acelerada: nova tecnologia de cura para fibrocimento sem amianto**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG, p. 61, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/4934>>. Acesso em: Jul 2022.

PLESSIS, C. D. et al. **Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries**, p. 91, 2002. Disponível em:

<https://www.academia.edu/download/44239864/Agenda_21.pdf>. Acesso em: 9 Mar 2022.

PRé Sustainability. **SimaPro**.2022.Disponível em < <https://simapro.com/about/>>. Acesso em: Jul 2022.

QUEIROZ, V. S. **Avaliação do ciclo de vida de emissão de CO2 na indústria do cimento: um estudo comparativo entre o cimento LC3 e o cimento Portland composto**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília., Brasília, p. 84, 2018. Disponível em: <<https://bdm.unb.br/handle/10483/20558>>. Acesso em: 23 Nov 2021.

RELATÓRIO DE BRUNDTLAND. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: FGV, 1991. Disponível em: <<https://edisciplinas.usp.br>>. Acesso em: 20 Nov 2021.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Guia Selo Casa Azul + CAIXA, v. 8, p. 35, julho 2021. Acesso em: 03 Mai 2022

RIBEIRO, T. B. **Revisão bibliométrica sobre gestão de resíduos no setor de construção civil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Administração) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, p. 46, 2021. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4245128/mod_resource/content/3/Nosso%20Futuro%20Comum.pdf>. Acesso em: 23 Nov 2021.

RODRIGUES, L. S. **Certificação ambiental na construção civil : sistemas LEED e AQUA**. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal do Rio Grande do Sul., Porto Alegre, 2020. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/205752>>. Acesso em: 02 Mai 2022.

RODRIGUES, L. T. **Agenda 21**. ECOSCIENTE - Portal de Educação Ambiental, Junho 2017. Disponível em: <<https://sites.unicentro.br/wp/educacaoambiental/2017/06/12/vocabulario-sustentavel-agenda-21/>>. Acesso em: 4 Mar 2022.

ROMA, J. C. **Os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio e sua transição para os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável**. Ciência e Cultura, São Paulo, v. 71, n. 1, p. 25-55, Jan./Mar. 2019. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252019000100011&script=sci_arttext>. Acesso em: 07 Mar. 2022.

SARTORI, S.; LATRÔNICO, F.; CAMPOS, L. M. S. **Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável: uma taxonomia no campo da literatura**. Ambiente & Sociedade, São Paulo, v. XVII, n. 1, p. 20, 2014. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/asoc/a/yJ9gFdvCWtXMR5hyWtRR6SL/?format=pdf&lang=pt>>
. Acesso em: 16 Fev 2022.

SILVA, C. H. R. T. **RIO+20: Avaliação preliminar de resultados e perspectivas da conferência das nações unidas sobre desenvolvimento sustentável**. Núcleo de Estudos e Pesquisa - Senado Federal, p. 6. Disponível em:<<https://www2.senado.leg.br/bdsf/item/id/243122>>. Acesso em: 7 Mar 2022.

SILVA, V. G. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 333, 2003. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/item/001336101>>. Acesso em: 09 Mar 2022.

SKRZEK, D. P. M.; POSSAN, E. **Avaliação do aspecto da dimensão ambiental na adição de práticas sustentáveis na construção civil em Cascavel, PR**. Revista De Estudos Ambientais, v. 14, n. 2, p. 14 - 27, Set. 2012. Disponível em: <<https://proxy.furb.br/ojs/index.php/rea/article/view/2922>>. Acesso em: 03 Mai 2022.

SOARES, S. R.; SOUZA, D. M.; PEREIRA, S. W. **A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil**. Construção e meio ambiente - Construção e Meio Ambiente, v. 7, 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/245032762_A_avaliacao_do_ciclo_de_vida_no_contexto_da_construcao_civil>.

SOUSA, A. A. P. et al. **A responsabilidade ambiental na formação do engenheiro civil**. CEDS, v. 1, n. 3, p. 10, Set 2015. Disponível em: <http://sou.undb.edu.br/public/publicacoes/rev._ceds_n._3_-_a_reponsabilidade_ambiental_na_formacao_do_engenheiro_civil_-_adriano_sousa_diana_cruz_magno_correa.pdf>. Acesso em: 17 Nov 2021.

SOUSA, A. C. D.; ABDALA, D. O. **Sustentabilidade, do conceito à análise**. Revista Metropolitana de Sustentabilidade - RMS, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 46-166, maio 2020. Disponível em: <<https://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/rms/article/view/1985/pdf>>. Acesso em: 22 Fev 2022.

SOUZA, C. H. C. D. **Estudo comparativo de telhado com telhas de fibrocimento e telhado com telha de concreto em locais com incidência de granizo**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do sul de Santa Catarina, Palhoça, p. 66, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/4510/1/TCC%20CARLOS%20HENRIQUE.pdf>>. Acesso em: Mai 2022.

SVK. **FIBRE CEMENT CORRUGATED SHEETS: 1 m² of fiber cement corrugated sheets with a thickness of 6,5 mm**, p. 23, 2021. Disponível em: <https://a.storyblok.com/f/51041/x/aeeba47000/b-epd_21_0073_004_00_01_en_svk_corrugated_signed.pdf>.

SZÜCS, C. A. et al. **Estruturas De Madeira**. Florianópolis: [s.n.], 2015. Disponível em: <https://moodle.ufsc.br/pluginfile.php/1303172/mod_forum/attachment/282674/Apostilamadeiras2015-1.pdf>.

TAVARES, S. F. **Metodologia de Análise do Ciclo de Vida Energético de Edificações Residenciais Brasileiras**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, p. 225, 2006. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/89528>>. Acesso em: 17 Nov 2021.

TOPTELHA. Catálogo técnico: Telha TOP tem nome. 2021. Disponível em: <<http://www.toptelha.com.br/v2/manuais-e-garantias/>>.

TRIPOLI, R. **Comissão de meio ambiente e desenvolvimento sustentável - subcomissão RIO+20**, p. 44, Abril 2013. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-permanentes/cmads/arquivos/relatorio-final-da-subcomissao-rio-20/view>>. Acesso em: 7 Mar 2022.

VALENTE, J. P. **Certificações na construção civil: comparativos entre LEED e HQE**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Rio de Janeiro, p. 71, 2009. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/7027>>. Acesso em: 03 Mai 2022.

VICTORIA, Anderson M. **Recursos para construção civil**. 2017. Disponível em: <<http://recursomineralmg.codemge.com.br/substancias-minerais/recursos-construcaocivil/#:>>>. Acesso em 11 Jun 2022.

VIEIRA, F. L. R. **Desenvolvimento sustentável: a história de um conceito**. Sæculum – Revista de História, [S. l.], n. 10, 2004. Disponível em: <<https://periodicos.ufpb.br/index.php/srh/article/view/11290>>. Acesso em: 4 Dez 2021.

VITORIO JUNIOR, P. C. **Avaliação de projetos para Habitação de Interesse Social**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, p. 136, 2020. Disponível em:

<https://www.upf.br/_uploads/Conteudo/ppgeng/2021/Tese%20Paulo%20Cezar%20Vitorio%20Junior.pdf>.

XAVIER, A. D. S. et al. **Experiência sustentável: Desenvolvimento de mecanismo limpo adotado por uma indústria de cerâmica estrutural em Crato/CE.** XXXVI Encontro nacional de engenharia de produção, João Pessoa/PB, p. 12, Outubro 2016. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_236_373_30070.pdf>. Acesso em: 23 Nov 2021.

APÊNDICE A – Dimensionamento de Cobertura com Telha Cerâmica (DCA)

Dados:

- Tesoura do tipo Howe;
- Madeira: Pinheiro do Paraná $\rho_{ap} = 550 \text{ kg/m}^3$
- Telha: cerâmica do tipo portuguesa;
- Dimensão da telha: 40,5 x 24 cm;
- Inclinação: 30%;
- Beiral: 70 cm em projeção horizontal;

$$A = 6,30 \text{ m}$$

$$B = 9,0 \text{ m} \quad i = 30\% \quad \alpha = 16,7^\circ$$

$$H = 3,0 \text{ m}$$

$$l_p = 20 \text{ cm} \rightarrow \text{Largura da parede}$$

$$l_t = A - l_p = 6,10 \text{ m} \rightarrow \text{largura de eixo a eixo}$$

$$h_t = \frac{l_t}{2} = 0,915 \text{ m} \quad B_s = \sqrt{\left(\frac{l_t}{2}\right)^2 + (h_t)^2} = 3,184 \text{ m}$$

Distância entre tesouras: (10x20cm)

$$D_{tes} = 300 \text{ cm} \quad Cl = B - l_p = 8,8 \text{ m}$$

$$N_v = Cl/D_{tes} = 2,933$$

$$P/4 \text{ vãos} \rightarrow Cl/4 = 2,2 \text{ m}$$

$$P/5 \rightarrow Cl/5 = 1,76 \text{ m}$$

$$d_{tesoura} = 2,20 \text{ m}$$

Distância entre terças: (6x10cm)

$$D_{ter} = 150 \text{ cm}$$

$$B_s/D_{ter} = 2,123$$

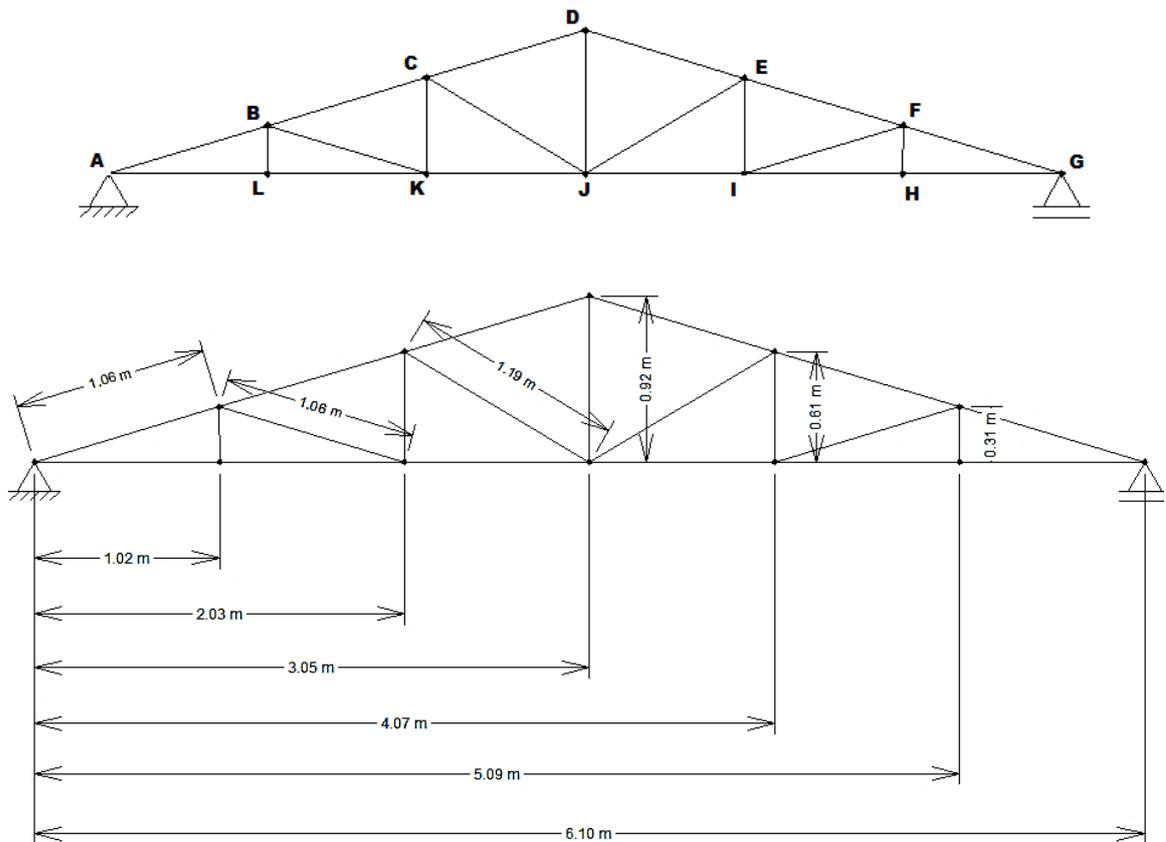
$$d_{terças} = \frac{B_s}{3} = 1,061 \text{ m}$$

Distância entre caibros: (5x6cm)

$$d_{caibros} = 50 \text{ cm}$$

Distância entre ripas: (2,5x5cm)

A distância ente ripas é de **34 cm** (face sup. a face sup.). Porém a galga da telha do beiral deve ser menor (**24,1 cm**).



Levantamento das cargas permanentes de grande variabilidade

Área de abrangência: 4,0 m x 50 cm

$p_{pregos} = 1,03$ (NBR7190 – Item 5.5.2 pg 9/107)

A área da abrangência é o plano do telhado c/ o beiral pela distância entre caibros.

Peso próprio da tesoura:

$$P_{ts} = \rho_{ap} \times p_{pregos} \times (0,10m \times 0,15m) = 8,498 \text{ kg/m}$$

Peso próprio da terça:

$$P_{t\zeta} = \rho_{ap} \times d_{tesoura} \times (0,6m \times 0,10m) \times p_{pregos} = 7,478 \text{ kg}$$

Peso próprio dos caibros:

Onde 1.3450 é a metade da distância entre terças mais o beiral. E 1.061 é a distância entre terças

$$P_{cb} = \rho_{ap} \times p_{pregos} \times \frac{d_{tesoura}}{0,5m} \times 1,061m \times (0,05m \times 0,06m) = 7,934 \text{ kg}$$

Para os nós A e I

$$P_{cbAG} = \rho_{ap} \times 1,345 \times \frac{d_{tesoura}}{0,5m} \times p_{pregos} \times (0,05m \times 0,06m) = 10,058 \text{ kg}$$

Peso próprio das ripas:

$$P_{rp} = \rho_{ap} \times \frac{1,061m}{0,34m} \times d_{tesoura} \times p_{pregos} \times (0,05m \times 0,025m) = 4,861 \text{ kg}$$

Para os nós A e I

$$P_{rpAG} = \rho_{ap} \times \frac{1,345m}{0,34m} \times d_{tesoura} \times (0,05m \times 0,025m) \times p_{pregos} = 6,163 \text{ kg}$$

Somatório das cargas permanentes de grande variabilidade

Nós intermediários: (B,C,D,E,F):

$$P_{GV.int} = P_{t\zeta} + P_{cb} + P_{rp} = 20,042 \text{ kg}$$

Para o nó E:

$$P_{GV.E} = 2 \times P_{t\zeta} + P_{cb} + P_{rp} = 27,52 \text{ kg}$$

Para no nó A e G:

$$P_{GV.AI} = P_{t\zeta} + P_{cbAG} + P_{rpAG} = 23,698 \text{ kg}$$

Levantamento das cargas permanentes de pequena variabilidade

Peso próprio Telhas

$$P_{T.umida} = 60 \text{ kg/m}^2$$

Onde 1.2085 m é a distância do beiral mais a metade da distância entre terças em Proj. horizontal

$$P_{te} = P_{T.umida} \times (1,06 \text{ m} \times d_{tesoura}) = 140,052 \text{ kg}$$

Para os nós A e G:

$$P_{teAI} = P_{T.umida} \times 1,345m \times d_{tesoura} = 177,54 \text{ kg}$$

Cargas de instalações elétricas, hidráulicas, etc (Proj. Horizontal): 0,25 Kn/m²

(NBR 8800, Item 5.B.1 pg. 112/237)

$$P_{mant} = 25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times (1,017m \times d_{tesoura}) = 55,935 \text{ kg}$$

$$P_{manAI} = 25 \frac{kg}{m^2} \times 1,2085m \times d_{tesoura} = 66,468 kg$$

Somatório das cargas permanentes de pequena variabilidade

Total:

$$P_{totalPV} = P_{te} + P_{mant} = 195,987 kg$$

Para os nós A e G

$$P_{mantAG} = P_{teAI} + P_{manAI} = 244,008 kg$$

Total de cargas permanentes:

Para o nó E

$$P_{permE} = 2 \times P_{t\zeta} + P_{cb} + P_{rp} + P_{te} + P_{mant} = 223,507 kg$$

Para os nós intermediários:

$$P_{perm.int} = P_{t\zeta} + P_{cb} + P_{rp} + P_{te} + P_{mant} = 216,029 kg$$

Para os nós A e G:

$$P_{perm.A.G} = P_{cbAG} + P_{rpAG} + P_{teAG} + P_{mantAG} = 437,768 kg$$

ESTUDO DO VENTO:

De acordo com o gráfico das isopletras, a velocidade básica do vento para a cidade de Pato Branco é

$$V_0 = 46 m/s$$

Como o terreno de projeto é praticamente plano:

$$S_1 = 1,0$$

Para o fator S_2

- O terreno se enquadra na classe VI
- O edifício se enquadra na categoria A

Então

$$z = H + ht = 3,92 m$$

Fazendo o uso de interpolação e da tabela 2 da NBR 6123 tem-se

$$S_2 = 0,619$$

Considerando que a edificação será uma residência logo:

$$S_3 = 1,0$$

Dessa forma tem-se

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3 = 28,474 \text{ m/s}$$

$$q = 0,613 \times 28,474^2 = 497,001 \rightarrow q = 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

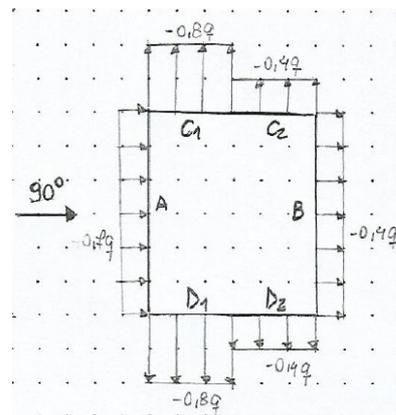
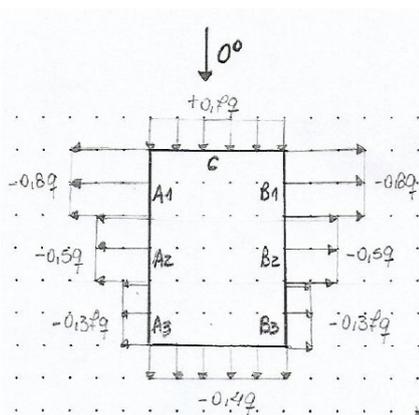
Coefficientes de pressão e de forma, externos - Paredes

$$a = B = 9 \text{ m} \quad b = A = 6,3 \text{ m} \quad h = H = 3 \text{ m}$$

$$\frac{h}{b} = 0,476 < \frac{1}{2} \quad \frac{a}{b} = 1,429 \quad 1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$$

$\alpha = 0^\circ$			
$A_1 e B_1$	$A_2 e B_2$	C	D
-0,8	-0,5	0,7	-0,4

$\alpha = 90^\circ$			
A	B	$C_1 e D_1$	$C_2 e D_2$
0,7	-0,4	-0,8	-0,4



Para

$$1 < a/b < 2 \text{ tem-se } c_e = -0,37$$

Coefficiente de pressão e de forma externos – Telhado

$$\frac{h}{b} = 0,476 < 1/2$$

Por interpolação

15°	-1,0
16,7°	x
20°	-0,4

$$x = -0,8$$

15°	-0,8
16,7°	x
20°	-0,7

$$x = -0,77 \sim -0,8$$

Assim tem-se

$\alpha = 0^\circ$	
EG	FH
-0,8	-0,6

$\alpha = 90^\circ$	
EF	GH
-0,8	-0,4

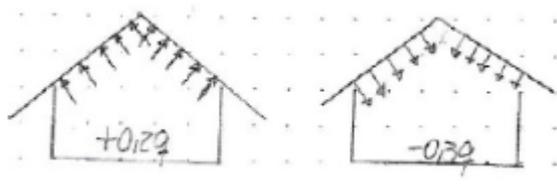
As partes I e J para $1 < a/b < 2$ $c_e = -0,37$

$\downarrow 0^\circ$		$\rightarrow 90^\circ$
-0,8	-0,8	-0,8
-0,6	-0,6	-0,8
-0,37	-0,37	-0,4

Quando o vento bate a 90° o efeito em E,F,I é o mesmo, assim como para G,H,J.

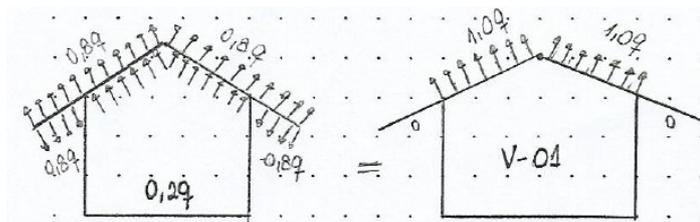
Coeficiente de pressão interna

$$C_{p_i} = 0,2 \quad C_{p_s} = -0,3$$

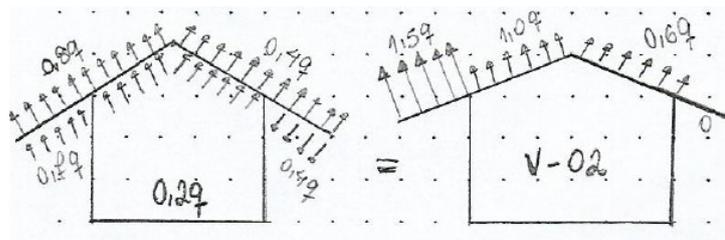


Estudo das situações externas

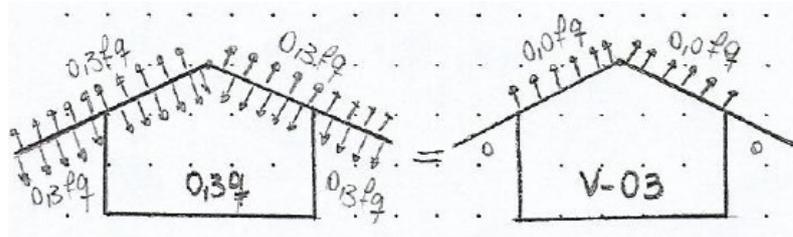
- Vento a 0° , maior sucção



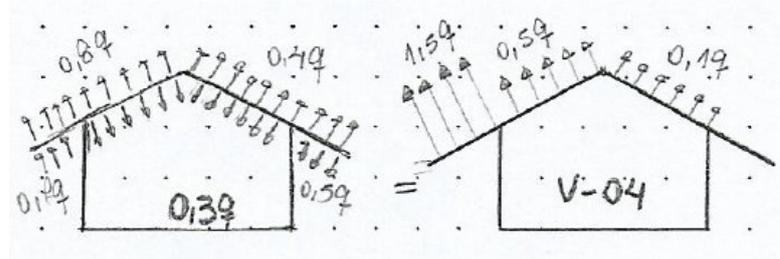
- Vento a 90° , maior sucção



- Vento a 0°, maior pressão



- Vento a 90°, maior pressão



Com relação aos ventos V03 e V04, tem-se que eles são constituem situação, pois não ocasionam pressão

Levantamento das cargas variáveis de grande variabilidade

Foi considerado a sucção como positiva e a pressão como negativa

- **Vento V-01**

$$1,0 \times \frac{q}{100} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

Ao longo do telhado

$$q_{v01} = 0,5 \times (1,06 \text{ m} \times d_{tesoura}) = 1,167 \quad (\text{sucção})$$

Beiral:

$$q_{v01A} = \frac{q_{v01}}{2} = 0,584 \text{ kN} \quad q_{v01G} = q_{v01A} = 0,584 \text{ kN} \quad (\text{sucção})$$

Cumeeira

$$q_{v01esq} = 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times \frac{1,061 \text{ m}}{2} \times d_{tesoura} = 0,584 \text{ kN} \quad (\text{sucção})$$

$$q_{v01dir} = 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times \frac{1,061 \text{ m}}{2} \times d_{tesoura} = 0,584 \text{ kN} \quad (\text{sucção})$$

- **Vento V-02**

$$1,5 \times \frac{q}{100} = 0,75 \text{ kN/m}^2 \quad 0,6 \times \frac{q}{100} = 0,3 \text{ kN/m}^2 \quad 1,0 \times \frac{q}{100} = 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Ao longo do telhado:

$$q_{v02T\text{esq}} = 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 1,061 \text{ m} \times d_{\text{tesoura}} = 1,167 \text{ kN} \quad (\text{sucção})$$

$$q_{v02T\text{dir}} = 0,30 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 1,061 \text{ m} \times d_{\text{tesoura}} = 0,7 \text{ kN} \quad (\text{sucção})$$

Beiral:

$$q_{v02A} = \left(0,75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 0,80 \text{ m} \times d_{\text{tesoura}} \right) + \left(0,50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times \frac{1,061 \text{ m}}{2} \times d_{\text{tesoura}} \right) = 1,904 \text{ kN} \quad (\text{sucção})$$

Cumeeira:

$$q_{v02\text{esq}} = 0,50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times \frac{1,061 \text{ m}}{2} \times d_{\text{tesoura}} = 0,584 \text{ kN} \quad (\text{sucção})$$

$$q_{v02\text{dir}} = 0,30 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times \frac{1,061 \text{ m}}{2} \times d_{\text{tesoura}} = 0,35 \text{ kN}$$

SOBRECARGA DE MANUTENÇÃO:

De acordo com o item 2.2.1.4 da NBR 6120/1980, "todo elemento isolado de cobertura, deve ser projetado para receber, na posição mais desfavorável uma carga vertical de 1 kN, além da carga permanente".

ESTUDO DA RESISTÊNCIA DA MADEIRA:

De acordo com a NBR 7190/1997 (Tabela E.3) para a madeira **Pinheiro do Paraná** temos os seguintes valores de resistência média:

Resistência a compressão paralela às fibras: $f_{c0,m} = 40,9 \text{ MPa}$

Resistência a tração paralela às fibras: $f_{t0,m} = 93,1 \text{ MPa}$

Resistência ao cisalhamento paralela às fibras: $f_{v0,m} = 8,8 \text{ Mpa}$

Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras: $E_{c0,m} = 15225 \text{ MPa}$

Para compressão e tração a NBR 7190/1997, considera o coef. de variação (cv). Onde para tração é de 18% e para o cisalhamento de 28%. Assim:

$$f_{c0,k} = 0,7 \times f_{c0,m} = 28,63 \text{ MPa}$$

$$f_{t0,k} = 0,7 \times f_{c0,m} = 65,17 \text{ MPa}$$

$$f_{v0,k} = 0,54 \times f_{v0,m} = 4,752 \text{ MPa}$$

Os valores de γ_m são os coeficientes de ponderação da resistência para os estados limites último, de acordo com o item 6.4.5 da NBR 7190/1997 temos:

Para tensão de compressão paralela às fibras: $\gamma_{wc} = 1,4$

Para tensão de tração paralela às fibras: $\gamma_{wt} = 1,8$

Para tensão de cisalhamento paralelo às fibras: $\gamma_{wv} = 1,8$

Já os coeficientes de modificação (k_{mod}) pode ser encontrado através do item 6.4.4 da NBR 7190/1997:

$$k_{mod} = k_{mod1} \times k_{mod2} \times k_{mod3}$$

Onde:

De acordo com a Tabela 10 da NBR 7190/1997 e considerando o item 5.2 desta mesma norma tem-se.

$$k_{mod1} = 0,70$$

Para k_{mod2} , de acordo com Tabalipa e Fiori (2008, p.2) “à cidade de Pato Branco possui umidade relativa do ar em quase todos os meses do ano, sendo algo em torno de 74%”. Com essa informação, e considerando a Tabela 7 da NBR 7190 /1997 a cidade se encontra na classe de umidade 2 e de acordo com a Tabela 11 tem-se:

$$k_{mod2} = 1,0$$

Por fim para k_{mod3} , como o Brasil não possui um controle de qualidade da madeira, tem-se:

$$k_{mod3} = 0,8$$

Assim:

$$k_{mod} = k_{mod1} \times k_{mod2} \times k_{mod3} = 0,56$$

Com isso, o valor de cálculo é:

$$f_{t0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{t0,k}}{\gamma_{wt}} = 20,275 \text{ Mpa}$$

$$f_{c0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{c0,k}}{\gamma_{wc}} = 11,452 \text{ Mpa}$$

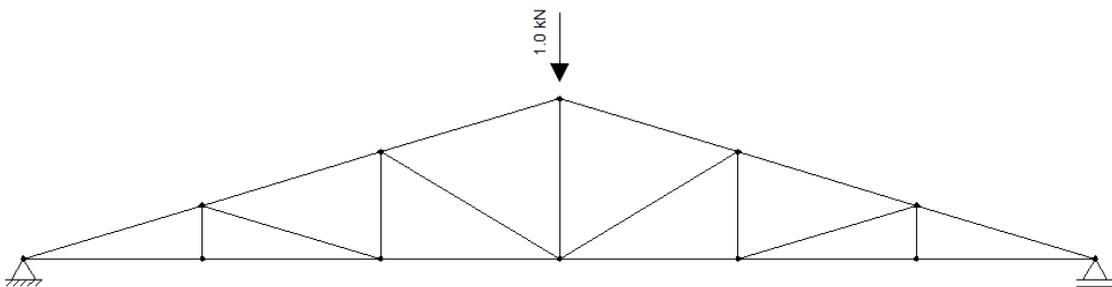
$$f_{v0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{v0,k}}{\gamma_{wv}} = 1,478 \text{ Mpa}$$

E para o modulo de elasticidade paralelo as fibras, tem-se:

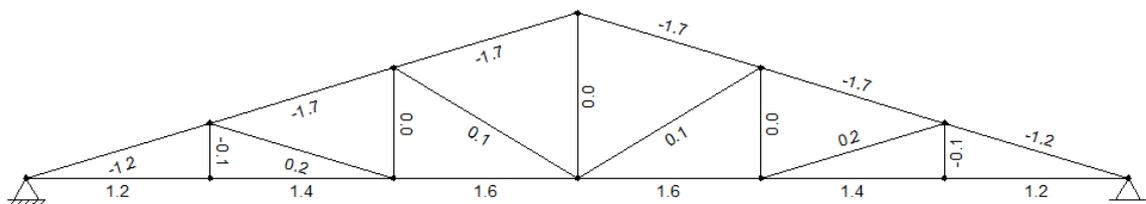
$$E_{c0,ef} = k_{mod} \times E_{c0,m} = 8526 \text{ MPa}$$

RESULTADO DA ANÁLISE ESTRUTURAL:

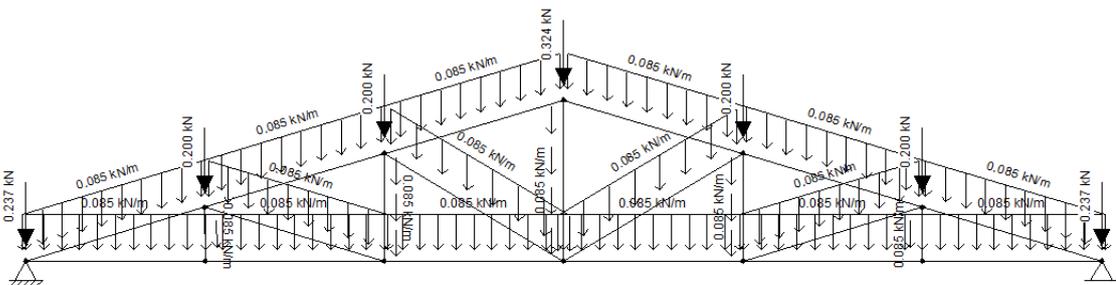
Esforço gerado pela carga de manutenção



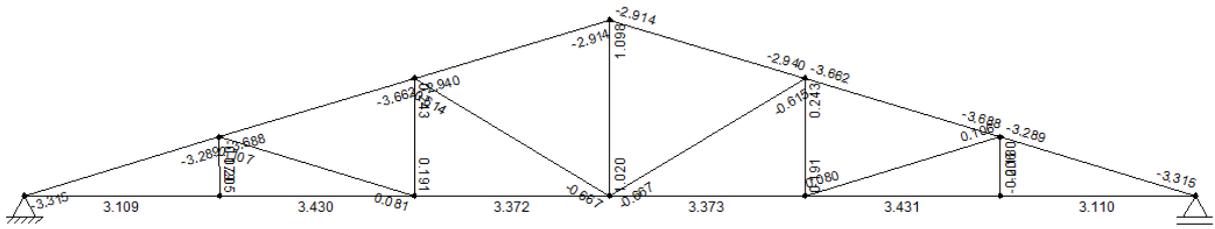
Tensões geradas pela carga de manutenção



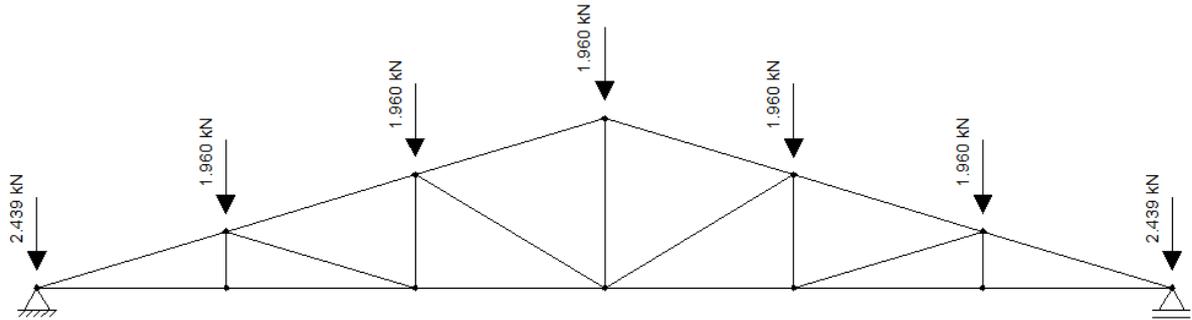
Esforço gerado pelas cargas permanente de grande variabilidade



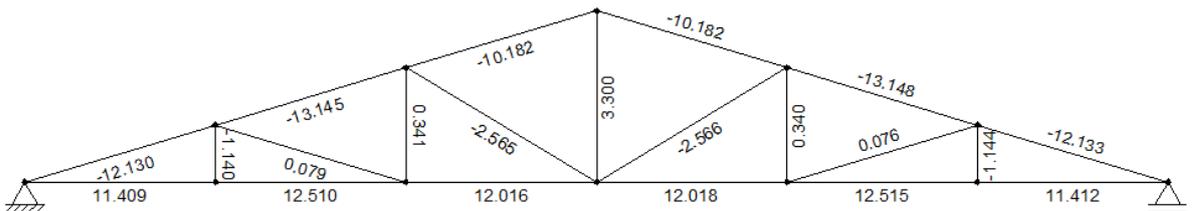
Tensões geradas pelas cargas permanentes de grande variabilidade



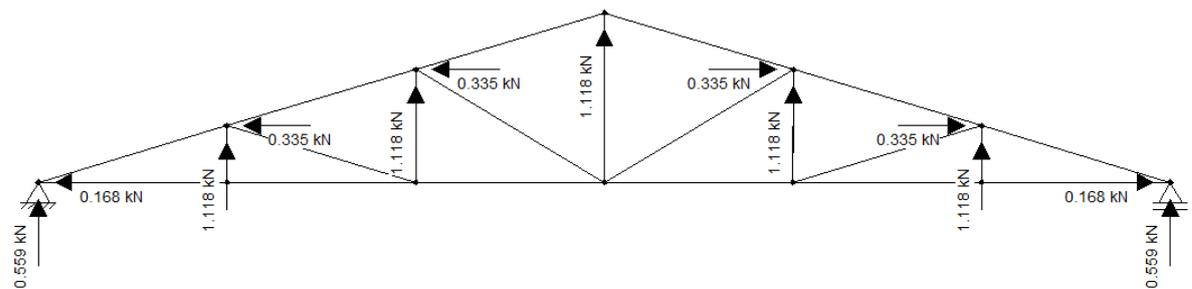
Esforço gerado pelas cargas permanente de pequena variabilidade



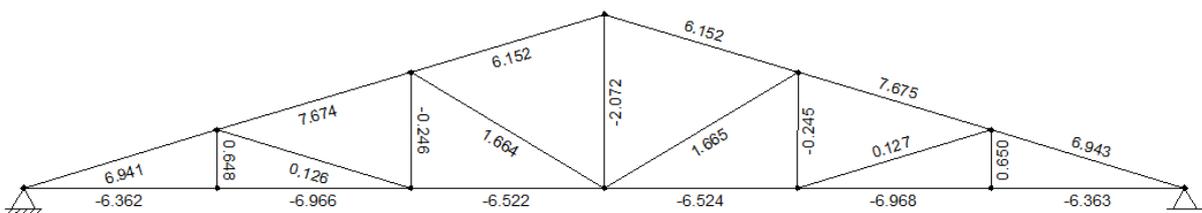
Tensões geradas pelas cargas permanentes de pequena variabilidade



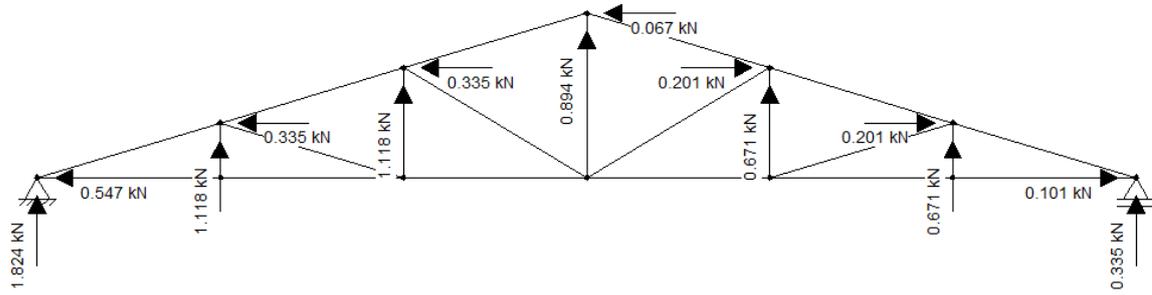
Esforços gerados pelo vento 01 (V01)



Tensões geradas pelo V01



Esforços gerados pelo vento 02 (V02)



Tensões geradas pelo V02

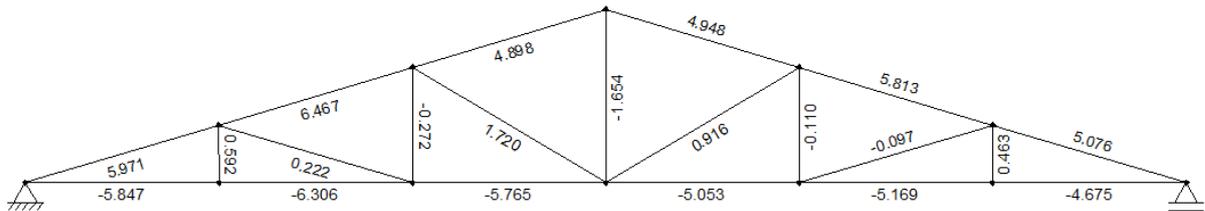


Tabela de combinações de ações

ELEMENTO	BARRA	ESFORÇOS					COMBINAÇÕES DE ESFORÇOS				COMPOSIÇÃO CRÍTICA DE ESFORÇOS - VALORES DE CÁLCULO	
		PERM. GR. VAR. (kN)	PERM. PEQ. VAR. (kN)	V01 (kN)	V02 (kN)	SOBREC. MAN. (kN)	PERM (kN)	PERM + V01 (kN)	PERM + V02 (kN)	PERM. + MAN. (kN)	COMPRESSÃO (-) (kN)	TRAÇÃO (+) (kN)
BANZO SUPERIOR	AB	-3,315	-12,130	6,941	5,971	-1,200	-20,41	-8,04	-7,96	-22,09		
	BC	-3,688	-13,145	7,874	6,467	-1,700	-22,25	-7,46	-8,73	-24,63	-24,63	
	CD	-2,940	-10,182	6,152	4,898	-1,700	-17,35	-5,64	-8,96	-19,73	-19,73	
	DE	-2,940	-10,182	6,152	4,048	-1,700	-17,35	-5,64	-8,91	-19,73	-19,73	
	EF	-3,688	-13,148	7,875	5,813	-1,700	-22,26	-7,46	-9,42	-24,64	-24,64	
	FG	-3,315	-12,130	6,943	5,076	-1,200	-20,41	-8,04	-8,90	-22,09	-22,09	
BANZO INFERIOR	GH	3,110	11,412	-8,363	-4,675	1,200	19,19	6,70	8,47	20,87		20,87
	HI	3,431	12,515	-8,968	-5,169	1,400	21,07	7,38	9,27	23,03		23,03
	IJ	3,373	12,018	-8,524	-5,053	1,600	20,35	7,34	8,88	22,59		22,59
	JK	3,372	12,016	-8,522	-5,765	1,600	20,34	7,34	8,13	22,58		22,58
	KL	3,430	12,510	-8,966	-6,306	1,400	21,07	7,37	8,07	23,03		23,03
	LA	3,109	11,409	-8,362	-5,847	1,200	19,18	6,70	7,24	20,86		20,86
MONTANTES	BL	-0,205	-1,140	0,648	0,592	-0,100	-1,77	-0,55	-0,81	-1,91	-1,91	
	CK	0,243	0,341	-0,246	-0,272	0,001	0,78	0,29	0,26	0,78		0,78
	DJ	1,098	3,300	-2,072	-1,645	0,001	5,83	1,89	2,34	5,83		5,83
	EI	0,243	0,341	-0,245	-0,110	0,001	0,78	0,29	0,43	0,78		0,78
	FH	-0,208	-1,144	0,650	0,463	-0,100	-1,78	-0,55	-0,75	-1,92	-1,92	
DIAGONAIS	BK	0,107	0,079	0,126	0,222	0,200	0,25	0,38	0,49	0,53		0,53
	CJ	-0,667	-2,565	1,664	1,720	0,100	-4,27	-1,23	-1,17	-2,84	-4,27	
	EJ	-0,667	-2,566	1,665	0,916	0,100	-4,27	-1,23	-2,01	-2,84	-4,27	
	FI	0,107	0,076	0,127	-0,097	0,200	0,25	0,38	0,07	0,53		0,53

DIMENSIONAMENTO DA TESOURA:

Verificação do banzo superior e inferior:

$$\text{Seção transversal: } 10 \times 15 \text{ cm} \quad A_{\text{seção}} = 150 \text{ cm}^2$$

Dimensionamento do banzo superior:

Para o banzo superior, tem-se eu o mesmo está à compressão, onde o maior valor se encontra na barra EF.

$$Nd_{EF} = 24640 \text{ N}$$

$$L_0 = 106 \text{ cm}$$

Para o índice de esbeltez tem-se:

Maior inércia:

$$I_{\text{maior}} = 6666,67 \text{ cm}^4$$

$$i_{\text{min1}} = \sqrt{\frac{I_{\text{maior}}}{A_{\text{seção}}}} = 6,667 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = \frac{L_0}{i_{\text{min1}}} = 15,9 \quad (\text{peça curta})$$

Menor inércia:

$$I_{\text{menor}} = 1666,67 \text{ cm}^4$$

$$i_{\text{min2}} = \sqrt{\frac{I_{\text{menor}}}{A_{\text{seção}}}} = 3,333 \text{ cm}$$

$$\lambda_2 = \frac{L_0}{i_{\text{min2}}} = 31,8 \quad (\text{peça curta})$$

Verificação à compressão simples na menor inércia:

De acordo com o item 7.5.4 da NBR 7190/1997 para $\lambda > 40$ tem-se a seguinte condição de segurança:

$$\left(\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{Mxd}}{f_{c0,d}} + k_M \frac{\sigma_{Myd}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}}\right)^2 + k_M \frac{\sigma_{Mxd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Myd}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

Para o valor de k_M considera-se o item 7.3.4

$$k_M = 0,5$$

Onde:

$$e_a = \frac{L_0}{300} = 0,353 \text{ cm}$$

$$e_i = 0$$

(Obs: Não existe momento fletor decorrente do carregamento externo na compressão simples)

Sendo:

$$e_1 = e_i + e_a = 0,47 \text{ cm}$$

Para a carga crítica tem-se:

$$F_E = \frac{\pi^2 \times E_{c0,ef} \times I_{menor}}{L_0^2} = 1,248 \times 10^3 \text{ kN}$$

Logo:

$$e_d = e_1 \times \frac{F_E}{F_E - N_{dEF}} = 0,36 \text{ cm}$$

Assim para o momento fletor (M_d) tem-se:

$$M_d = e_d \times N_{dEF} = 8,881 \text{ kN.cm}$$

$$y = \frac{10 \text{ cm}}{2} = 5 \text{ cm} \quad x = \frac{15 \text{ cm}}{2} = 7,5 \text{ cm}$$

Onde y e x é a distância até a linha neutra (LN)

$$\sigma_{Myd} = \frac{M_d \times y}{I_{menor}} = 0,266 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Mxd} = \frac{M_d \times x}{I_{menor}} = 0,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Nd} = \frac{N_{dEF}}{A_{seção}} = 1,643 \text{ MPa}$$

Verificando a condição de segurança, tem-se:

$$\left(\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{Mxd}}{f_{c0,d}} + k_M \frac{\sigma_{Myd}}{f_{c0,d}} = 0,041$$

Como $0,041; 0,048 < 1$ **OK**

$$\left(\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}}\right)^2 + k_M \frac{\sigma_{Mxd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Myd}}{f_{c0,d}} \leq 0,048$$

Dimensionamento do banzo inferior:

Tem-se que o banzo inferior está sofrendo esforço de tração, onde o maior valor se encontra na barra HI.

$$Nd_{HI} = 23030 \text{ N}$$

Para a tração, tem-se as seguintes condições de segurança

$$\sigma_{td} \leq f_{td}$$

$$\sigma_{td} = \frac{Nd_{HI}}{A_{seção}} = 153,533 \text{ N/cm}^2$$

Assim:

$$153,533 \text{ N/cm}^2 < 2028 \text{ N/cm}^2 \quad \mathbf{OK}$$

DIMENSIONAMENTO DAS TERÇAS:

Área de abrangência: 2,20m x 1,06m

Como a seção transversal definida inicialmente (6x10cm) não passou nas verificações, foi realizada a mudança para uma seção maior, que cumprisse as condições de segurança

Seção transversal: 12x12 cm

Onde 1,06 m é a distância entre terças, 2,20m é a distância entre tesouras e 1,345m é a distância do beiral mais a metade da distância entre terças.

LEVANTAMENTO DE CARGAS NAS TERÇAS:

Permanentes

Peso próprio da terça:

$$q_{pp} = \rho_{ap} \times p_{pregos} \times (0,12m \times 0,12m) = 8,158 \text{ kg/m}$$

Peso dos caibros:

$$q_{Cb} = \rho_{ap} \times p_{pregos} \times 1,06m \times \frac{d_{tesoura}}{0,5m} \times \frac{0,05m \times 0,06m}{d_{tesoura}} = 3,399 kg/m$$

Peso das ripas:

$$q_{Rp} = \rho_{ap} \times p_{pregos} \times \frac{1,06m}{0,34m} \times \frac{0,05m \times 0,025m}{d_{tesoura}} = 2,21$$

Peso das telhas:

$$q_{Te} = \frac{P_{T,umida} \times 1,06m \times d_{tesoura}}{d_{tesoura}} = 63,66 kg/m$$

Instalações elétricas: (Proj. horizontal: 0,25 kN/m²)

$$q_{Mant} = 25 \frac{kg}{m^2} \times \frac{1,06m \times d_{tesoura}}{d_{tesoura}} = 25,425 kg/m$$

Total das cargas permanentes:

$$q_{perma} = q_{pp} + q_{Cb} + q_{Rp} + q_{Te} + q_{Mant} = 102,851 kg/m$$

Variáveis:

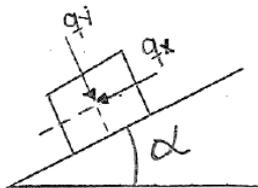
Segundo o item 2.2.1.4 da NBR 6120/1980 além da carga permanente, todo elemento vertical deve receber uma carga equivalente a 1kN na posição mais desfavorável.

→ *Análise estrutural:*

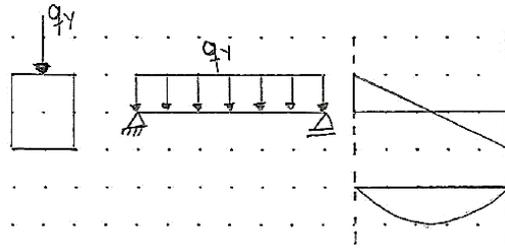
$$\alpha = 16,7^\circ \quad l = d_{tesoura} = 2,20 m$$

Cargas permanentes:

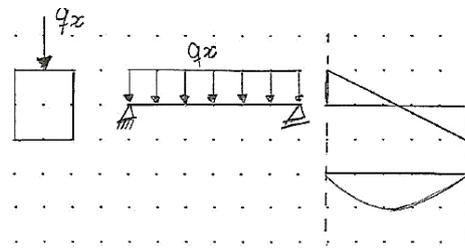
$$q_x = q_{perma} \times \sin \alpha = 29,55 kg/m \quad q_y = q_{perma} \times \cos \alpha = 98,513 kg/m$$



$$V_{m\acute{a}x1} = \frac{q_y \times l}{2} = 108,365 \text{ kg} \quad M_{m\acute{a}x1} = \frac{q_y \times l^2}{8} = 59,601 \text{ kg.m}$$



$$V_{m\acute{a}x2} = \frac{q_z \times l}{2} = 32,511 \text{ kg} \quad M_{m\acute{a}x2} = \frac{q_z \times l^2}{8} = 17,881 \text{ kg.m}$$



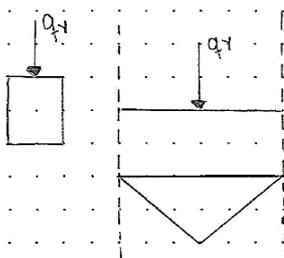
Cargas variáveis: Sobrecarga de manutenção:

$$P = 1 \text{ kN}$$

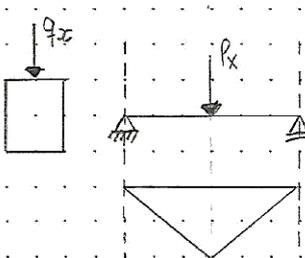
$$P_x = 100 \text{ kg} \times \sin \alpha = 28,736 \text{ kg}$$

$$P_y = 100 \text{ kg} \times \cos \alpha = 95,782 \text{ kg}$$

→ Para verificação do momento fletor

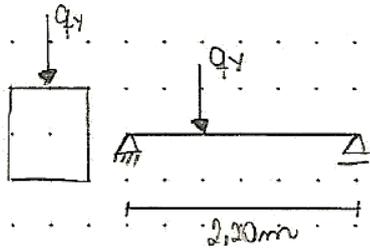


$$M_{m\acute{a}x3} = \frac{p_y \times l}{4} = 52,68 \text{ kg.m}$$

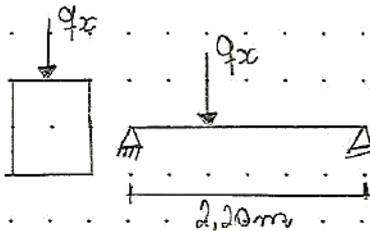


$$M_{m\acute{a}x4} = \frac{p_x \times l}{4} = 15,805 \text{ kg.m}$$

→ Para verificação do cortante



$$V_{máx3} = p_y = 95,782 \text{ kg}$$



$$V_{máx4} = p_x = 28,736 \text{ kg}$$

Combinações de ação:

$$M_{dy} = 1,4 \times M_{máx1} + 1,4 \times M_{máx3} = 157,193 \text{ kg.m}$$

$$V_{dy} = 1,4 \times V_{máx1} + 1,4 \times V_{máx3} = 2,85,806 \text{ kg}$$

$$M_{dx} = 1,4 \times M_{máx2} + 1,4 \times M_{máx4} = 47,16 \text{ kg.m}$$

$$V_{dx} = 1,4 \times V_{máx2} + 1,4 \times V_{máx4} = 85,746 \text{ kg}$$

Dimensionamento para momento fletor:

$$M_{dy} = 1,57 \text{ kN.m}$$

$$I = \frac{0,12\text{m} \times (0,12\text{m})^3}{12} = 1,728 \times 10^{-5} \text{ m}^4 \quad y = \frac{0,12\text{m}}{2} = 0,06\text{m}$$

$$\sigma_{Md,y} = \frac{M_{dy} \times y}{I} = 5,41 \text{ MPa}$$

$$M_{dx} = 0,472 \text{ kN.m}$$

$$I = \frac{0,12\text{m} \times (0,12\text{m})^3}{12} = 1,728 \times 10^{-5} \text{ m}^4 \quad x = \frac{0,12\text{m}}{2} = 0,06\text{m}$$

$$\sigma_{Md,x} = \frac{M_{dx} \times x}{I} = 1,639 \text{ MPa}$$

Como condição de segurança, tem-se:

$$f_{t0,d} = 20,28 \text{ MPa} \quad f_{c0,d} = 11,452 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{Md,x}}{f_{wd}} + k_M \times \frac{\sigma_{Md,y}}{f_{wd}} \leq 1$$

$$k_M \times \frac{\sigma_{Md,x}}{f_{wd}} + \frac{\sigma_{Md,y}}{f_{wd}} \leq 1$$

Como a seção é retangular: $k_M = 0,5$

$$\frac{\sigma_{Md,x}}{f_{wd}} + k_M \times \frac{\sigma_{Md,y}}{f_{wd}} = 0,381 \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$k_M \times \frac{\sigma_{Md,x}}{f_{wd}} + \frac{\sigma_{Md,y}}{f_{wd}} = 0,548 \leq 1$$

$$\sigma_{Md,x} + k_M \times \sigma_{Md,y} = 4,365 \text{ MPa}$$

$$k_M \times \sigma_{Md,x} + \sigma_{Md,y} = 6,271 \text{ MPa}$$

$$4,365 \text{ MPa} \leq 20,275 \text{ MPa}$$

$$6,271 \text{ MPa} \leq 11,45 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$

Dimensionamento para o cisalhamento:

$$V_{dy} = 285,806 \text{ kg}$$

$$V_{dx} = 85,746 \text{ kg}$$

$$f_{v0,d} = 1,478 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{V_d}{b \times h}$$

Logo:

Para V_{dy}

$$\tau_{dy} = \frac{3}{2} \times \frac{2858,06 \text{ N}}{120 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}} = 0,292 \text{ MPa}$$

Para V_{dx}

$$\tau_{dx} = \frac{3}{2} \times \frac{857,46}{120 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}} = 0,089 \text{ MPa}$$

Onde:

$$\tau_d = \sqrt{(\tau_{dy})^2 + (\tau_{dx})^2} = 0,311 \text{ MPa}$$

$$0,311 \text{ MPa} < 1,478 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$

QUANTIDADE DE MATERIAIS:Tesoura:

5 tesouras

1 tesoura \rightarrow 19,72 m $T_{tesoura} = 5 \times 19,72 \text{ m} = 98,6 \text{ m lineares}$

$$Q_{tesoura} = 98,6 \times (0,10\text{m} \times 0,15\text{m}) = 1,479 \text{ m}^3$$

Terças:

8 terças *comp* = 10,40 m $T_{terça} = 83,2 \text{ m lineares}$

$$Q_{terça} = 83,2 \times (0,12\text{m} \times 0,12\text{m}) = 1,198 \text{ m}^3$$

Caibros:

22 caibros *comp* = 8,0 m $T_{caibro} = 179 \text{ m lineares}$

$$Q_{caibro} = 176 \times (0,05\text{m} \times 0,06\text{m}) = 0,528\text{m}^3$$

Ripas:

26 ripas *comp*: 10,40m $T_{ripas} = 271,4 \text{ m}$

$$Q_{ripas} = 270,40 \times (0,05\text{m} \times 0,025\text{m}) = 0,338 \text{ m}^3$$

Total de madeira:

$$Q_{T,madeira} = Q_{tesoura} + Q_{terça} + Q_{caibro} + Q_{ripas} = 3,543 \text{ m}^3$$

$$Q_{T,madeira} = \mathbf{3,543 \text{ m}^3}$$

Telhas:

$$A_{telhado} = (4\text{m} \times 10,40\text{m}) \times 2 = 83,2 \text{ m}^2$$

Para 1 m² são necessárias 16,5 telhas

Para a cumeeira, considera-se 3 peças por metro

Considerando uma margem de 5% a mais tem-se:

$$Q_{T,telhas} = \mathbf{1501 \text{ unidades}}$$

APENDICE B – Dimensionamento de cobertura com Telha de Concreto (DCB)

Dados:

- Tesoura do tipo Howe;
- Madeira: Pinheiro do Paraná $\rho_{ap} = 550 \text{ kg/m}^3$
- Telha de concreto
- Dimensão da telha: 42 cm x 33 cm;
- Inclinação: 30%;
- Beiral: 70 cm em projeção horizontal;

$$A = 6,30 \text{ m}$$

$$B = 9,0 \text{ m} \quad i = 30\% \quad \alpha = 16,7^\circ$$

$$H = 3,0 \text{ m}$$

$$l_p = 20 \text{ cm} \rightarrow \text{Largura da parede}$$

$$l_t = A - l_p = 6,10 \text{ m} \rightarrow \text{largura de eixo a eixo}$$

$$h_t = \frac{l_t}{2} = 0,915 \text{ m} \quad B_s = \sqrt{\left(\frac{l_t}{2}\right)^2 + (h_t)^2} = 3,184 \text{ m}$$

Distância entre tesouras: (10x20cm)

$$D_{tes} = 300 \text{ cm} \quad Cl = B - l_p = 8,8 \text{ m}$$

$$N_v = Cl/D_{tes} = 2,933$$

$$P/4 \text{ vãos} \rightarrow Cl/4 = 2,2 \text{ m}$$

$$P/5 \rightarrow Cl/5 = 1,76 \text{ m}$$

$$d_{tesoura} = 2,20 \text{ m}$$

Distância entre terças: (6x10cm)

$$D_{ter} = 150 \text{ cm}$$

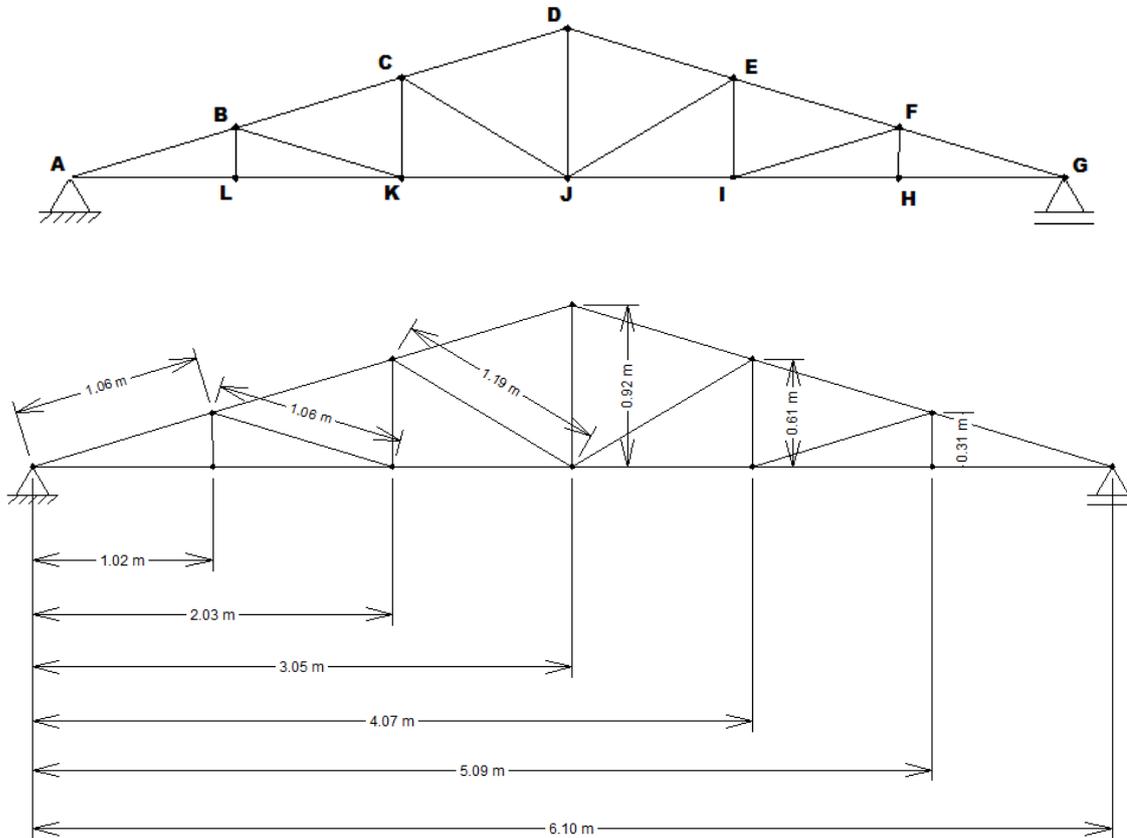
$$B_s/D_{ter} = 2,123 \quad d_{terças} = \frac{B_s}{3} = 1,061 \text{ m}$$

Distância entre caibros: (5x6cm)

$$d_{caibros} = 50 \text{ cm}$$

Distância entre ripas: (2,5x5cm)

A distância ente ripas é de **32 cm** (face sup. a face sup.). Porem a galga da telha do beiral deve ser menor (**14,1 cm**).



Levantamento das cargas permanentes de grande variabilidade

Área de abrangência: 4,0 m x 50 cm

$p_{pregos} = 1,03$ (NBR7190 – Item 5.5.2 pg 9/
107)

A área da abrangência é o plano do telhado c/ o beiral pela distância entre caibros.

Peso próprio da tesoura:

$$P_{ts} = \rho_{ap} \times p_{pregos} \times (0,10m \times 0,15m) = 8,498 \text{ kg/m}$$

Peso próprio da terça:

$$P_{tç} = \rho_{ap} \times d_{tesoura} \times (0,6m \times 0,10m) \times p_{pregos} = 7,478 \text{ kg}$$

Peso próprio dos caibros:

Onde 1.3450 é a metade da distância entre terças mais o beiral. E 1.061 é a distância entre terças

$$P_{cb} = \rho_{ap} \times p_{pregos} \times \frac{d_{tesoura}}{0,5m} \times 1,061m \times (0,05m \times 0,06m) = 7,934 \text{ kg}$$

Para os nós A e I

$$P_{cbAG} = \rho_{ap} \times 1,345 \times \frac{d_{tesoura}}{0,5m} \times p_{pregos} \times (0,05m \times 0,06m) = 10,058 \text{ kg}$$

Peso próprio das ripas:

$$P_{rp} = \rho_{ap} \times \frac{1,061m}{0,34m} \times d_{tesoura} \times p_{pregos} \times (0,05m \times 0,025m) = 4,861 \text{ kg}$$

Para os nós A e I

$$P_{rpAG} = \rho_{ap} \times \frac{1,345m}{0,34m} \times d_{tesoura} \times (0,05m \times 0,025m) \times p_{pregos} = 6,163 \text{ kg}$$

Somatório das cargas permanentes de grande variabilidade

Nós intermediários: (B,C,D,E,F)

$$P_{GV.int} = P_{t\zeta} + P_{cb} + P_{rp} = 20,042 \text{ kg}$$

Para o nó D:

$$P_{GV.E} = 2 \times P_{t\zeta} + P_{cb} + P_{rp} = 27,52 \text{ kg}$$

Para no nó A e G:

$$P_{GV.AG} = P_{t\zeta} + P_{cbAG} + P_{rpAG} = 23,698 \text{ kg}$$

Levantamento das cargas permanentes de pequena variabilidade

Peso próprio Telhas

$$P_{T.umida} = 52 \text{ kg/m}^2$$

Onde 1.2085 m é a distância do beiral mais a metade da distância entre terças em Proj. horizontal.

$$P_{te} = P_{T.umida} \times (1,06 \text{ m} \times d_{tesoura}) = 121,378 \text{ kg}$$

Para os nós A e G:

$$P_{teAI} = P_{T.umida} \times 1,345m \times d_{tesoura} = 153,868 \text{ kg}$$

Cargas de instalações elétricas, hidráulicas, etc (Proj. Horizontal): 0,25 Kn/m²
(NBR 8800, Item 5.B.1 pg. 112/237)

$$P_{mant} = 25 \frac{kg}{m^2} \times (1,017m \times d_{tesoura}) = 55,935 kg$$

$$P_{manAI} = 25 \frac{kg}{m^2} \times 1,2085m \times d_{tesoura} = 66,468 kg$$

Somatório das cargas permanentes de pequena variabilidade

Total:

$$P_{totalPV} = P_{te} + P_{mant} = 177,313 kg$$

Para os nós A e G

$$P_{mantAG} = P_{teAI} + P_{manAI} = 220,336 kg$$

Total de cargas permanentes:

Para o nó D

$$P_{permD} = 2 \times P_{t\zeta} + P_{cb} + P_{rp} + P_{te} + P_{mant} = 223,507 kg$$

Para os nós intermediários:

$$P_{perm.int} = P_{t\zeta} + P_{cb} + P_{rp} + P_{te} + P_{mant} = 216,029 kg$$

Para os nós A e G:

$$P_{perm.AI} = P_{cbAG} + P_{rpAG} + P_{teAG} + P_{mantAG} = 437,768 kg$$

ESTUDO DO VENTO:

De acordo com o gráfico das isopletras, a velocidade básica do vento para a cidade de Pato Branco é:

$$V_0 = 46 m/s$$

Como o terreno de projeto é praticamente plano:

$$S_1 = 1,0$$

Para o fator S_2

- O terreno se enquadra na classe VI
- O edifício se enquadra na categoria A

Então

$$z = H + ht = 3,92 m$$

Fazendo o uso de interpolação e da tabela 2 da NBR 6123 tem-se

$$S_2 = 0,619$$

Considerando que a edificação será uma residência logo:

$$S_3 = 1,0$$

Dessa forma tem-se

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3 = 28,474 \text{ m/s}$$

$$q = 0,613 \times 28,474^2 = 497,001 \rightarrow q = 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

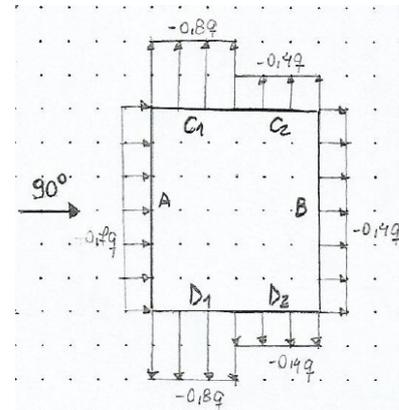
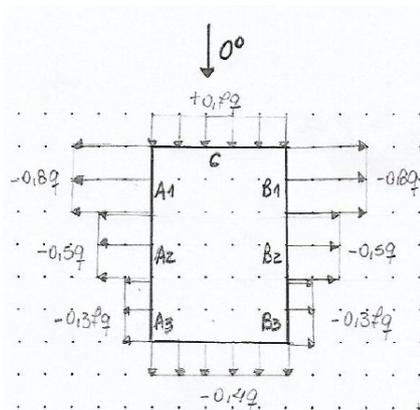
Coefficientes de pressão e de forma, externos - Paredes

$$a = B = 9 \text{ m} \quad b = A = 6,3 \text{ m} \quad h = H = 3 \text{ m}$$

$$\frac{h}{b} = 0,476 < \frac{1}{2} \quad \frac{a}{b} = 1,429 \quad 1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$$

$\alpha = 0^\circ$			
$A_1 e B_1$	$A_2 e B_2$	C	D
-0,8	-0,5	0,7	-0,4

$\alpha = 90^\circ$			
A	B	$C_1 e D_1$	$C_2 e D_2$
0,7	-0,4	-0,8	-0,4



Para

$$1 < a/b < 2 \text{ tem-se } c_e = -0,37$$

Coefficiente de pressão e de forma externos – Telhado

$$\frac{h}{b} = 0,476 < 1/2$$

Por interpolação

15°	-1,0
16,7°	x
20°	-0,4

 $x = -0,8$

15°	-0,8
16,7°	x
20°	-0,7

 $x = -0,77 \sim -0,8$

Assim tem-se

$\alpha = 0^\circ$	
EG	FH
-0,8	-0,6

$\alpha = 90^\circ$	
EF	GH
-0,8	-0,4

As partes I e J para $1 < a/b < 2$ $c_e = -0,37$

$\downarrow 0^\circ$

-0,8	-0,8
-0,6	-0,6
-0,37	-0,37

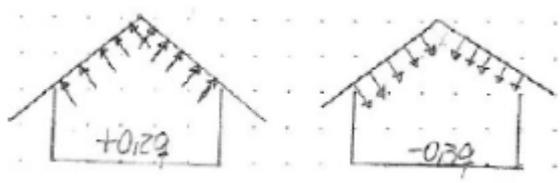
 $\rightarrow 90^\circ$

-0,8	-0,4
-0,8	-0,4
-0,8	-0,4

Quando o vento bate a 90° o efeito em E,F,I é o mesmo, assim como para G,H,J

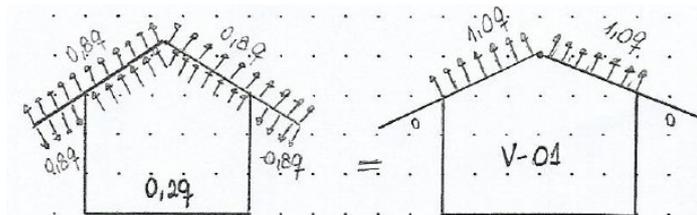
Coefficiente de pressão interna

$$C_{p_i} = 0,2 \quad C_{p_s} = -0,3$$

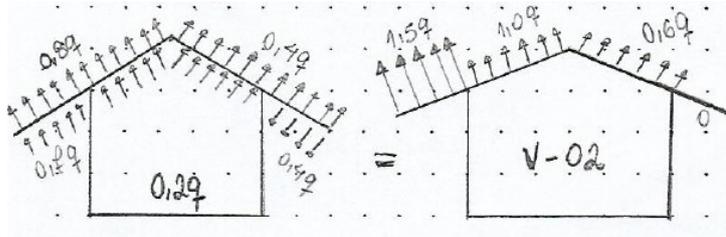


Estudo das situações externas

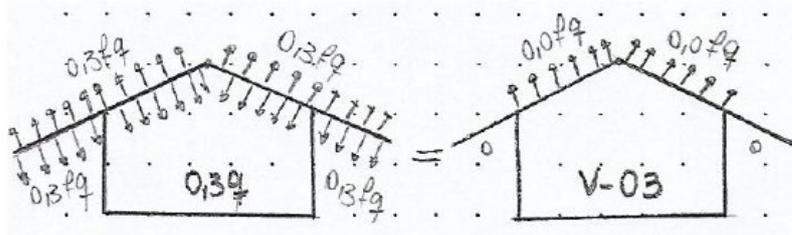
- Vento a 0° , maior sucção



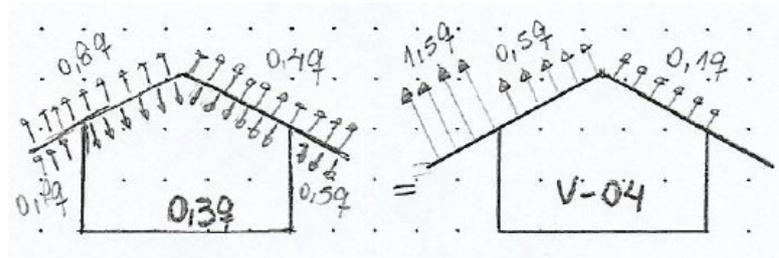
- Vento a 90°, maior sucção



- Vento a 0°, maior pressão



- Vento a 90°, maior pressão



Com relação aos ventos V03 e V04, tem-se que eles são constituem situação, pois não ocasionam pressão

Levantamento das cargas variáveis de grande variabilidade

Foi considerado a sucção como positiva e a pressão como negativa

- Vento V-01

$$1,0 \times \frac{q}{100} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

Ao longo do telhado

$$q_{v01} = 0,5 \times (1,06 \text{ m} \times d_{tesoura}) = 1,167 \quad (\text{sucção})$$

Beiral:

$$q_{V01A} = \frac{q_{v01}}{2} = 0,584 \text{ kN} \quad q_{V01G} = q_{V01A} = 0,584 \text{ kN} \quad (\text{sucção})$$

Cumeeira

$$q_{V01esq} = 0,5 \frac{kN}{m^2} \times \frac{1,061 m}{2} \times d_{tesoura} = 0,584 kN \quad (sucção)$$

$$q_{V01dir} = 0,5 \frac{kN}{m^2} \times \frac{1,061 m}{2} \times d_{tesoura} = 0,584 kN \quad (sucção)$$

• **Vento V-02**

$$1,5 \times \frac{q}{100} = 0,75 kN/m^2 \quad 0,6 \times \frac{q}{100} = 0,3 kN/m^2 \quad 1,0 \times \frac{q}{100} = 0,5 \frac{kN}{m^2}$$

Ao longo do telhado:

$$q_{v02Tesq} = 0,5 \frac{kN}{m^2} \times 1,061 m \times d_{tesoura} = 1,167 kN \quad (sucção)$$

$$q_{v02Tdir} = 0,30 \frac{kN}{m^2} \times 1,061 m \times d_{tesoura} = 0,7 kN \quad (sucção)$$

Beiral:

$$q_{V02A} = \left(0,75 \frac{kN}{m^2} \times 0,80 m \times d_{tesoura} \right) + \left(0,50 \frac{kN}{m^2} \times \frac{1,061 m}{2} \times d_{tesoura} \right) = 1,904 kN \quad (sucção)$$

Cumeeira:

$$q_{V02esq} = 0,50 \frac{kN}{m^2} \times \frac{1,061 m}{2} \times d_{tesoura} = 0,584 kN \quad (sucção)$$

$$q_{V02dir} = 0,30 \frac{kN}{m^2} \times \frac{1,061 m}{2} \times d_{tesoura} = 0,35 kN$$

SOBRECARGA DE MANUTENÇÃO:

De acordo com o item 2.2.1.4 da NBR 6120/1980, "todo elemento isolado de cobertura, deve ser projetado para receber, na posição mais desfavorável, uma carga vertical de 1 kN, além da carga permanente".

ESTUDO DA RESISTÊNCIA DA MADEIRA:

De acordo com a NBR 7190/1997 (Tabela E.3) para a madeira **Pinheiro do Paraná** temos os seguintes valores de resistência média:

Resistência a compressão paralela às fibras: $f_{c0,m} = 40,9 MPa$

Resistência a tração paralela às fibras: $f_{t0,m} = 93,1 MPa$

Resistência ao cisalhamento paralela às fibras: $f_{v0,m} = 8,8 \text{ Mpa}$
 Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras: $E_{c0,m} = 15225 \text{ MPa}$

Para compressão e tração a NBR 7190/1997, considera o coef. de variação (cv). Onde para tração é de 18% e para o cisalhamento de 28%. Assim:

$$f_{c0,k} = 0,7 \times f_{c0,m} = 28,63 \text{ MPa}$$

$$f_{t0,k} = 0,7 \times f_{c0,m} = 65,17 \text{ MPa}$$

$$f_{v0,k} = 0,54 \times f_{v0,m} = 4,752 \text{ MPa}$$

Os valores de γ_m são os coeficientes de ponderação da resistência para os estados limites último, de acordo com o item 6.4.5 da NBR 7190/1997 temos:

Para tensão de compressão paralela às fibras: $\gamma_{wc} = 1,4$

Para tensão de tração paralela às fibras: $\gamma_{wt} = 1,8$

Para tensão de cisalhamento paralelo às fibras: $\gamma_{wv} = 1,8$

Já os coeficientes de modificação (k_{mod}) pode ser encontrado através do item 6.4.4 da NBR 7190/1997:

$$k_{mod} = k_{mod1} \times k_{mod2} \times k_{mod3}$$

Onde, de acordo com a Tabela 10 da NBR 7190/1997 e considerando o item 5.2 desta mesma norma tem-se.

$$k_{mod1} = 0,70$$

Para k_{mod2} , de acordo com Tabalipa e Fiori (2008, p.2) “à cidade de Pato Branco possui umidade relativa do ar em quase todos os meses do ano, sendo algo em torno de 74%”. Com essa informação, e considerando a Tabela 7 da NBR 7190 /1997 a cidade se encontra na classe de umidade 2 e de acordo com a Tabela 11 tem-se:

$$k_{mod2} = 1,0$$

Por fim para k_{mod3} , como o Brasil não possui um controle de qualidade da madeira, tem-se:

$$k_{mod3} = 0,8$$

Assim:

$$k_{mod} = k_{mod1} \times k_{mod2} \times k_{mod3} = 0,56$$

Com isso, o valor de cálculo é:

$$f_{t0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{t0,k}}{\gamma_{wt}} = 20,275 \text{ Mpa}$$

$$f_{c0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{c0,k}}{\gamma_{wc}} = 11,452 \text{ Mpa}$$

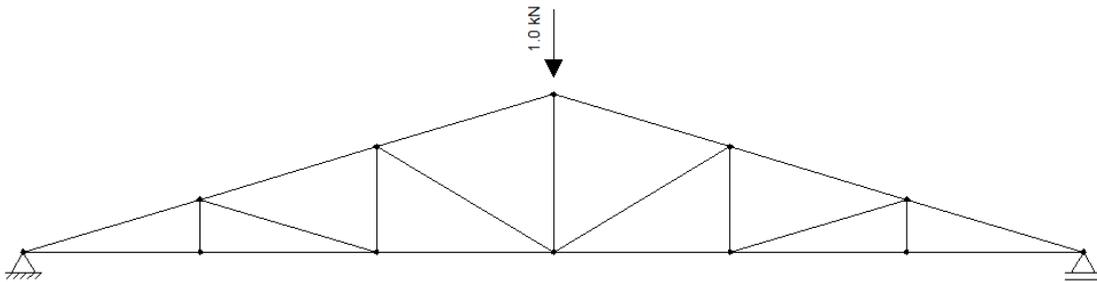
$$f_{v0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{v0,k}}{\gamma_{wv}} = 1,478 \text{ Mpa}$$

E para o modulo de elasticidade paralelo as fibras, tem-se:

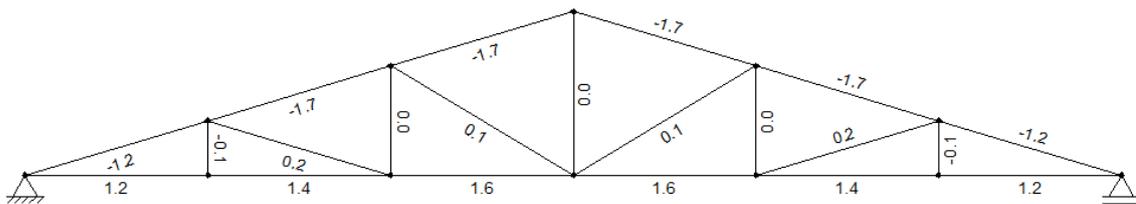
$$E_{c0,ef} = k_{mod} \times E_{c0,m} = 8526 \text{ MPa}$$

RESULTADO DA ANÁLISE ESTRUTURAL:

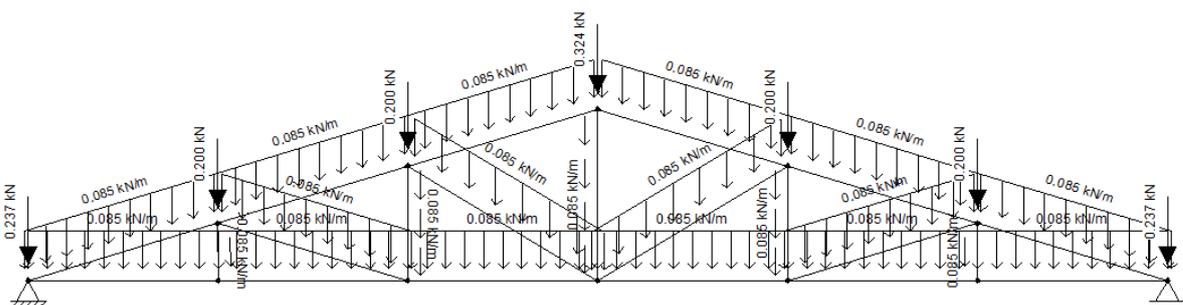
Esforço gerado pela carga de manutenção



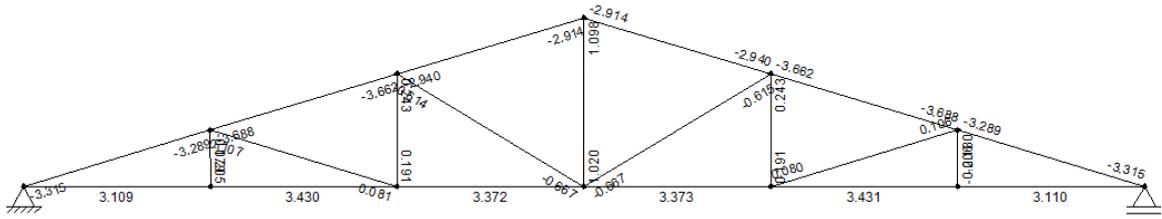
Tensões geradas pela carga de manutenção



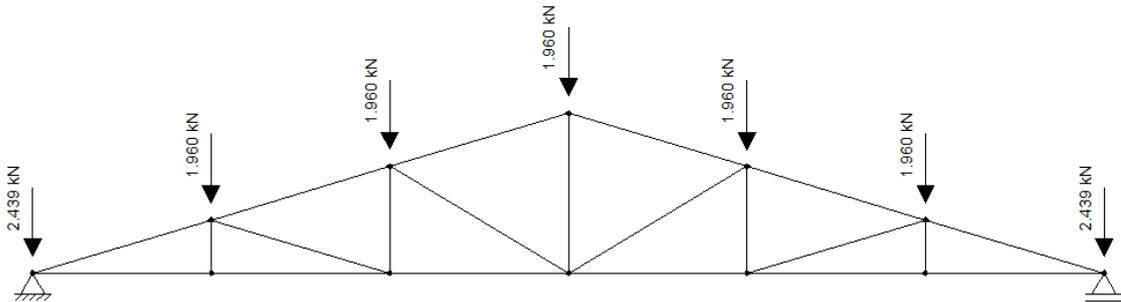
Esforço gerado pelas cargas permanente de grande variabilidade



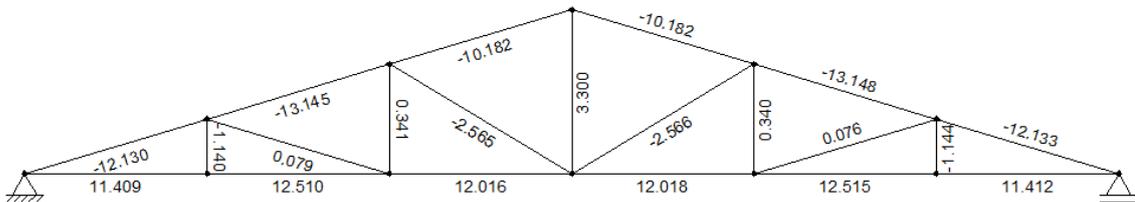
Tensões geradas pelas cargas permanentes de grande variabilidade



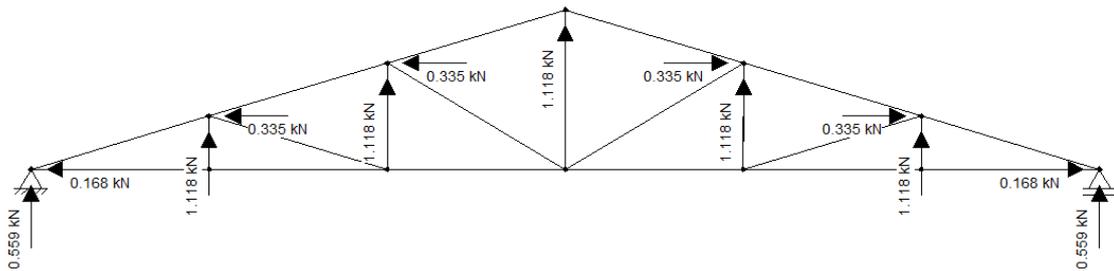
Esforço gerado pelas cargas permanente de pequena variabilidade



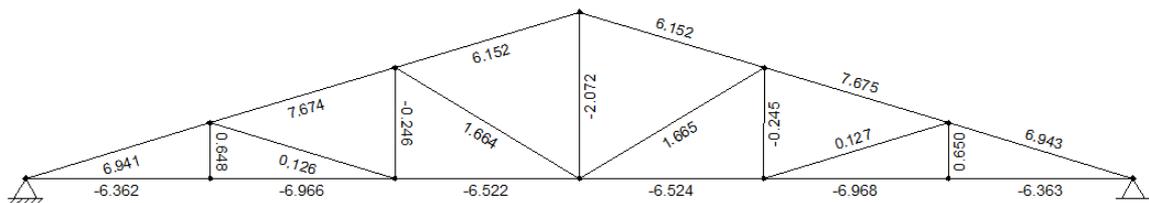
Tensões geradas pelas cargas permanentes de pequena variabilidade



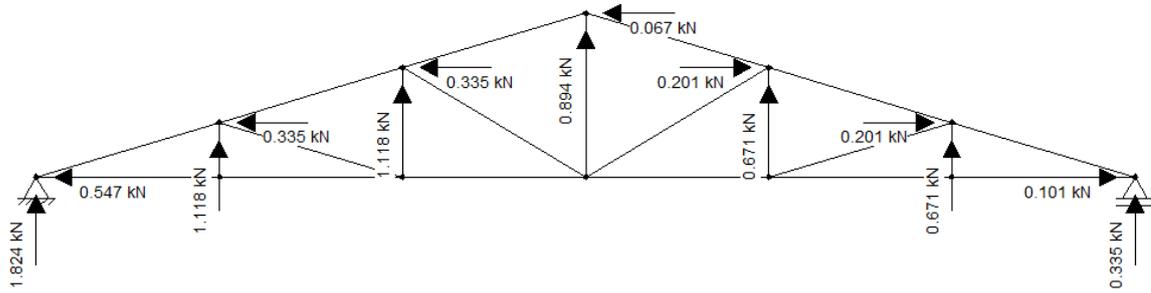
Esforços gerados pelo vento 01 (V01)



Tensões geradas pelo V01



Esforços gerados pelo vento 02 (V02)



Tensões geradas pelo V02

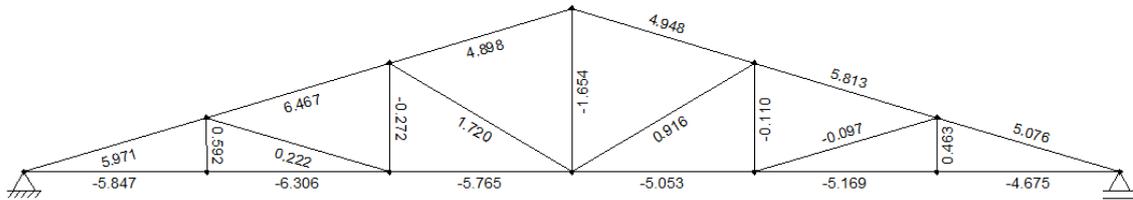


Tabela de combinações de ações

ELEMENTO	BARRA	ESFORÇOS						COMBINAÇÕES DE ESFORÇOS					COMPOSIÇÃO CRÍTICA DE ESFORÇOS - VALORES DE CÁLCULO	
		PERMANENTES GR. VAR. (KN)	PERMANENTES REQ. VAR. (KN)	VENTO - V-01 (KN)	VENTO - V-02 (KN)	VENTO - V-03 (KN)	SOBREC. MAN. (KN)	PERM (KN)	PERM + V-01 (KN)	PERM + V-02 (KN)	PERM + V-03 (KN)	PERM. + MAN. (KN)	COMPRESSÃO (-) (KN)	TRAÇÃO (+) (KN)
BANZO SUPERIOR	AB	-10,483	-30,930	29,658	25,965	-3,142	-1,732	-54,89	-7,18	-11,06	-58,18	-57,31	-58,18	-7,18
	BC	-9,255	-26,590	25,863	22,163	-2,763	-1,736	-47,52	-6,03	-9,91	-50,43	-49,95	-50,43	-6,03
	CD	-7,845	-22,140	21,990	18,290	-2,376	-1,736	-39,77	-4,68	-8,57	-42,26	-42,20	-42,26	-4,68
	DE	-6,350	-17,710	18,125	14,425	-1,990	-1,736	-31,91	-3,26	-7,14	-34,00	-34,34	-34,34	-3,26
	EF	-6,350	-17,710	18,125	14,425	-1,990	-1,736	-31,91	-3,26	-7,14	-34,00	-34,34	-34,34	-3,26
	FG	-7,850	-22,100	21,990	16,896	-2,474	-1,736	-39,72	-4,65	-10,00	-42,32	-42,15	-42,32	-4,65
	GH	-9,260	-26,550	25,863	19,220	-2,959	-1,736	-47,48	-6,00	-12,97	-50,59	-49,91	-50,59	-6,00
	HI	-10,480	-30,900	29,658	21,490	-3,435	-1,732	-54,84	-7,15	-15,73	-58,45	-57,27	-58,45	-7,15
BANZO INFERIOR	IJ	10,070	29,580	-28,038	-20,404	3,243	1,659	52,53	7,23	15,25	55,93	54,85		55,93
	JK	10,070	29,580	-28,047	-20,411	3,244	1,660	52,55	7,24	15,26	55,96	54,88		55,96
	KL	8,850	25,420	-23,686	-17,787	2,695	1,662	45,44	6,88	13,05	48,27	47,76		48,27
	LM	7,490	21,160	-19,227	-15,124	2,139	1,662	37,99	6,35	10,65	40,24	40,32		40,32
	MN	7,490	21,200	-19,227	-16,896	2,026	1,662	38,05	6,38	8,83	40,17	40,37		40,37
	NO	8,850	25,460	-23,686	-21,335	2,469	1,662	45,49	6,91	9,36	48,08	47,81		48,08
	OP	10,070	29,630	-28,047	-25,720	2,907	1,660	52,62	7,29	9,73	55,67	54,94		55,67
	PA	10,070	29,620	-28,038	-25,714	2,906	1,659	52,60	7,29	9,73	55,66	54,93		55,66
DIAGONAIS	BO	-1,300	-4,350	4,566	4,569	-0,456	0,001	-7,48	-0,42	-0,42	-7,95	-5,21	-7,95	-0,42
	CN	-1,620	-4,950	5,170	5,170	-0,516	0,000	-8,70	-0,65	-0,65	-9,24	-6,07	-9,24	-0,65
	DM	-1,990	-5,700	5,959	5,960	-0,595	0,000	-10,20	-0,86	-0,86	-10,82	-7,12	-10,82	-0,86
	FM	-1,990	-5,670	5,959	3,375	-0,747	0,000	-10,16	-0,84	-3,55	-10,94	-7,09	-10,94	-0,84
	GL	-1,620	-4,950	5,170	3,101	-0,648	0,000	-8,70	-0,65	-2,82	-9,38	-6,07	-9,38	-0,65
	HK	-1,300	-4,350	4,566	2,734	-0,573	0,003	-7,48	-0,42	-2,34	-8,08	-5,21	-8,08	-0,42
MONTANTES	BP	0,216	-0,020	0,018	0,017	-0,002	-0,001	0,28	0,30	0,29	0,20	0,20		0,30
	CO	0,700	1,270	-1,325	-1,326	0,132	0,000	2,63	0,45	0,45	2,77	1,84		2,77
	DN	1,183	2,540	-2,659	-2,659	0,266	0,000	4,96	0,68	0,68	5,24	3,47		5,24
	EM	3,110	7,640	-7,984	-6,388	0,899	0,000	14,29	1,60	3,28	15,23	9,99		15,23
	FL	1,183	2,540	-2,659	-1,595	0,333	0,000	4,96	0,68	1,79	5,31	3,47		5,31
	GK	0,700	1,270	-1,325	-0,794	0,166	0,000	2,63	0,45	1,01	2,81	1,84		2,81
	HJ	0,216	-0,020	0,018	-0,013	-0,002	-0,001	0,28	0,30	0,18	0,20	0,20		0,30

DIMENSIONAMENTO DA TESOURA:

Verificação do banzo superior e inferior:

$$\text{Seção transversal: } 10 \times 15 \text{ cm} \quad A_{\text{seção}} = 150 \text{ cm}^2$$

Dimensionamento do banzo superior:

Para o banzo superior, tem-se eu o mesmo está à compressão, onde o maior valor se encontra na barra EF.

$$Nd_{EF} = 22920 \text{ N}$$

$$L_0 = 106 \text{ cm}$$

Para o índice de esbeltez tem-se:

Maior inércia:

$$I_{\text{maior}} = 6666,67 \text{ cm}^4$$

$$i_{\text{min1}} = \sqrt{\frac{I_{\text{maior}}}{A_{\text{seção}}}} = 6,667 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = \frac{L_0}{i_{\text{min1}}} = 15,9 \quad (\text{peça curta})$$

Menor inércia:

$$I_{\text{menor}} = 1666,67 \text{ cm}^4$$

$$i_{\text{min2}} = \sqrt{\frac{I_{\text{menor}}}{A_{\text{seção}}}} = 3,333 \text{ cm}$$

$$\lambda_2 = \frac{L_0}{i_{\text{min2}}} = 31,8 \quad (\text{peça curta})$$

Verificação à compressão simples na menor inércia:

De acordo com o item 7.5.4 da NBR 7190/1997 para $\lambda > 40$ tem-se a seguinte condição de segurança:

$$\left(\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{Mxd}}{f_{c0,d}} + k_M \frac{\sigma_{Myd}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}}\right)^2 + k_M \frac{\sigma_{Mxd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Myd}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

Para o valor de k_M considera-se o item 7.3.4

$$k_M = 0,5$$

Onde:

$$e_a = \frac{L_0}{300} = 0,353 \text{ cm}$$

$$e_i = 0$$

(Obs: Não existe momento fletor decorrente do carregamento externo na compressão simples)

Sendo:

$$e_1 = e_i + e_a = 0,353 \text{ cm}$$

Para a carga crítica tem-se:

$$F_E = \frac{\pi^2 \times E_{c0,ef} \times I_{menor}}{L_0^2} = 1,248 \times 10^3 \text{ kN}$$

Logo:

$$e_d = e_1 \times \frac{F_E}{F_E - N_{dEF}} = 0,36 \text{ cm}$$

Assim para o momento fletor (M_d) tem-se:

$$M_d = e_d \times N_{dEF} = 8,25 \text{ kN.cm}$$

$$y = \frac{10 \text{ cm}}{2} = 5 \text{ cm} \quad x = \frac{15 \text{ cm}}{2} = 7,5 \text{ cm}$$

Onde y e x é a distância até a linha neutra (LN)

$$\sigma_{Myd} = \frac{M_d \times y}{I_{menor}} = 0,247 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Mxd} = \frac{M_d \times x}{I_{menor}} = 0,093 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Nd} = \frac{N_{dEF}}{A_{seção}} = 1,528 \text{ MPa}$$

Verificando a condição de segurança, tem-se:

$$\left(\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{Mxd}}{f_{c0,d}} + k_M \frac{\sigma_{Myd}}{f_{c0,d}} = 0,037$$

Como $0,041; 0,043 < 1$ **OK**

$$\left(\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}}\right)^2 + k_M \frac{\sigma_{Mxd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Myd}}{f_{c0,d}} \leq 0,043$$

Dimensionamento do banzo inferior:

Tem-se que o banzo inferior está sofrendo esforço de tração, onde o maior valor se encontra na barra HI.

$$Nd_{HI} = 21410 \text{ N}$$

Para a tração, tem-se as seguintes condições de segurança

$$\sigma_{td} \leq f_{td}$$

$$\sigma_{td} = \frac{Nd_{HI}}{A_{seção}} = 142,733 \text{ N/cm}^2$$

Assim:

$$142,733 \text{ N/cm}^2 < 2028 \text{ N/cm}^2 \quad \text{OK}$$

DIMENSIONAMENTO DAS TERÇAS:

Área de abrangência: 2,20m x 1,06m

Como a seção transversal definida inicialmente (6x10cm) não passou nas verificações, foi realizado a mudança para uma seção maior, que cumprisse as condições de segurança

Seção transversal: 12x12 cm

Onde 1,06 m é a distância entre terças, 2,20m é a distância entre tesouras e 1,345m é a distância do beiral mais a metade da distância entre terças.

LEVANTAMENTO DE CARGAS NAS TERÇAS:

Permanentes

Peso próprio da terça:

$$q_{pp} = \rho_{ap} \times p_{pregos} \times (0,12m \times 0,12m) = 6,798 \text{ kg/m}$$

Peso dos caibros:

$$q_{cb} = \rho_{ap} \times p_{pregos} \times 1,06m \times \frac{d_{tesoura}}{0,5 \text{ m}} \times \frac{0,05 \text{ m} \times 0,06 \text{ m}}{d_{tesoura}} = 3,606 \text{ kg/m}$$

Peso das ripas:

$$q_{Rp} = \rho_{ap} \times p_{pregos} \times \frac{1,06m}{0,32m} \times \frac{0,05m \times 0,025m}{d_{tesoura}} = 2,348$$

Peso das telhas:

$$q_{Te} = \frac{P_{T,umida} \times 1,06m \times d_{tesoura}}{d_{tesoura}} = 55,172 \text{ kg/m}$$

Instalações elétricas: (Proj. horizontal: 0,25 kN/m²)

$$q_{Mant} = 25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times \frac{1,06 \text{ m} \times d_{tesoura}}{d_{tesoura}} = 25,425 \text{ kg/m}$$

Total das cargas permanentes:

$$q_{perma} = q_{pp} + q_{cb} + q_{Rp} + q_{Te} + q_{Mant} = 93,349 \text{ kg/m}$$

Variáveis:

Segundo o item 2.2.1.4 da NBR 6120/1980 além da carga permanente, todo elemento vertical deve receber uma carga equivalente a 1kN na posição mais desfavorável.

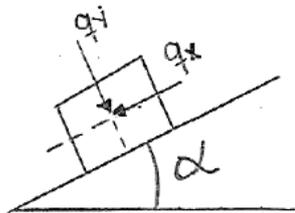
→ *Análise estrutural:*

$$\alpha = 16,7^\circ \quad l = d_{tesoura} = 2,20 \text{ m}$$

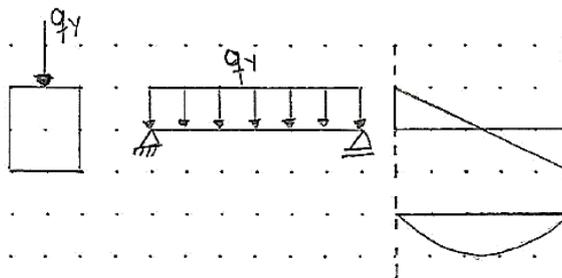
Cargas permanentes:

$$q_x = q_{perma} \times \sin \alpha = 26,825 \text{ kg/m}$$

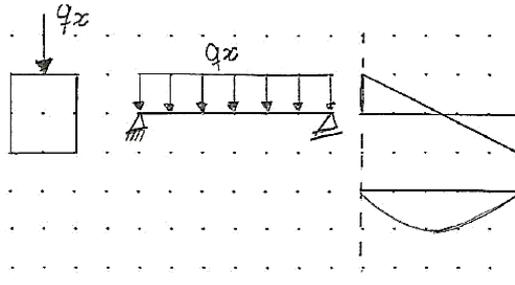
$$q_y = q_{perma} \times \cos \alpha = 89,412 \text{ kg/m}$$



$$V_{m\acute{a}x1} = \frac{q_y \times l}{2} = 98,353 \text{ kg} \quad M_{m\acute{a}x1} = \frac{q_y \times l^2}{8} = 54,094 \text{ kg.m}$$



$$V_{m\acute{a}x2} = \frac{q_y \times l}{2} = 29,507 \text{ kg} \quad M_{m\acute{a}x2} = \frac{q_y \times l^2}{8} = 16,229 \text{ kg.m}$$



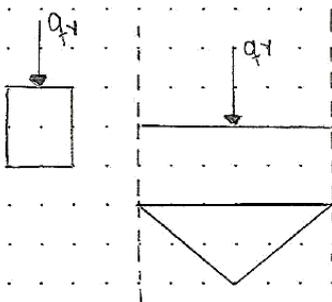
Cargas variáveis: Sobrecarga de manutenção:

$$P = 1 \text{ kN}$$

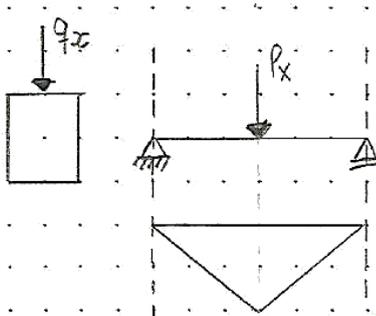
$$P_x = 100 \text{ kg} \times \sin \alpha = 28,736 \text{ kg}$$

$$P_y = 100 \text{ kg} \times \cos \alpha = 95,782 \text{ kg}$$

→ Para verificação do momento fletor

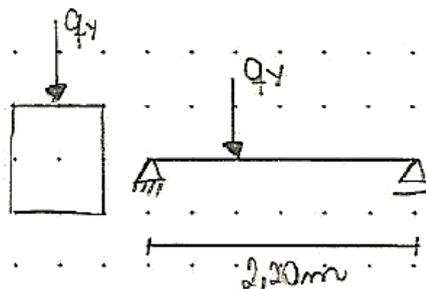


$$M_{\text{máx3}} = \frac{p_y \times l}{4} = 52,68 \text{ kg.m}$$

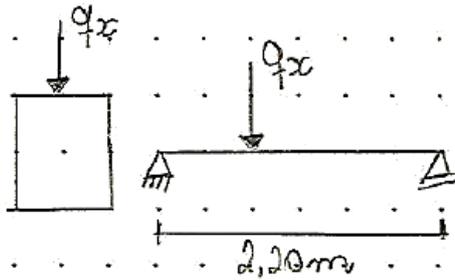


$$M_{\text{máx4}} = \frac{p_x \times l}{4} = 15,805 \text{ kg.m}$$

→ Para verificação do cortante



$$V_{\text{máx3}} = p_y = 95,782 \text{ kg}$$



$$V_{máx4} = p_x = 28,736 \text{ kg}$$

Combinações de ação:

$$M_{dy} = 1,4 \times M_{máx1} + 1,4 \times M_{máx3} = 149,484 \text{ kg.m}$$

$$V_{dy} = 1,4 \times V_{máx1} + 1,4 \times V_{máx3} = 271,79 \text{ kg}$$

$$M_{dx} = 1,4 \times M_{máx2} + 1,4 \times M_{máx4} = 44,847 \text{ kg.m}$$

$$V_{dx} = 1,4 \times M_{máx2} + 1,4 \times V_{máx4} = 81,541 \text{ kg}$$

Dimensionamento para momento fletor:

$$M_{dy} = 1,49 \text{ kN.m}$$

$$I = \frac{0,12\text{m} \times (0,12\text{m})^3}{12} = 1,728 \times 10^{-5} \text{m}^4 \quad y = \frac{0,12\text{m}}{2} = 0,06\text{m}$$

$$\sigma_{M_d,y} = \frac{M_{dy} \times y}{I} = 5,147 \text{ MPa}$$

$$M_{dx} = 0,448 \text{ kN.m}$$

$$I = \frac{0,12\text{m} \times (0,12\text{m})^3}{12} = 1,728 \times 10^{-5} \text{m}^4 \quad x = \frac{0,12\text{m}}{2} = 0,06\text{m}$$

$$\sigma_{M_d,x} = \frac{M_{dx} \times x}{I} = 1,556 \text{ MPa}$$

Como condição de segurança, tem-se:

$$f_{t0,d} = 20,28 \text{ MPa} \quad f_{c0,d} = 11,452 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{M_d,x}}{f_{wd}} + k_M \times \frac{\sigma_{M_d,y}}{f_{wd}} \leq 1$$

$$k_M \times \frac{\sigma_{M_d,x}}{f_{wd}} + \frac{\sigma_{M_d,y}}{f_{wd}} \leq 1$$

Como a seção é retangular: $k_M = 0,5$

$$\frac{\sigma_{M_d,x}}{f_{wd}} + k_M \times \frac{\sigma_{M_d,y}}{f_{wd}} = 0,362 \leq 1$$

OK

$$k_M \times \frac{\sigma_{M_d,x}}{f_{wd}} + \frac{\sigma_{M_d,y}}{f_{wd}} = 0,52 \leq 1$$

$$\sigma_{Md,x} + k_M \times \sigma_{Md,y} = 4,142 \text{ MPa}$$

$$k_M \times \sigma_{Md,x} + \sigma_{Md,y} = 5,951 \text{ MPa}$$

$$4,142 \text{ MPa} \leq 5,951 \text{ MPa}$$

$$10,981 \text{ MPa} \leq 11,45 \text{ MPa}$$

OK

Dimensionamento para o cisalhamento:

$$V_{dy} = 271,79 \text{ kg}$$

$$V_{dx} = 81,541 \text{ kg}$$

$$f_{v0,d} = 1,478 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{V_d}{b \times h}$$

Logo:

Para V_{dy}

$$\tau_{dy} = \frac{3}{2} \times \frac{2717,9 \text{ N}}{120 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}} = 0,243 \text{ MPa}$$

Para V_{dx}

$$\tau_{dx} = \frac{3}{2} \times \frac{815,41 \text{ N}}{120 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}} = 0,073 \text{ MPa}$$

Onde:

$$\tau_d = \sqrt{(\tau_{dy})^2 + (\tau_{dx})^2} = 0,253 \text{ MPa}$$

$$0,253 \text{ MPa} < 1,478 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$

QUANTIDADE DE MATERIAIS:Tesoura:

5 tesouras

1 tesoura \rightarrow 19,72 m $T_{tesoura} = 5 \times 19,72 \text{ m} = 98,6 \text{ m lineares}$

$$Q_{tesoura} = 98,6 \times (0,10\text{m} \times 0,15\text{m}) = 1,479 \text{ m}^3$$

Terças:8 terças *comp* = 10,40 m $T_{terça} = 83,2 \text{ m lineares}$

$$Q_{terça} = 83,2 \times (0,12\text{m} \times 0,12\text{m}) = 1,198 \text{ m}^3$$

Caibros:22 caibros *comp* = 8,0 m $T_{caibro} = 179 \text{ m lineares}$

$$Q_{caibro} = 176 \times (0,05\text{m} \times 0,06\text{m}) = 0,528 \text{ m}^3$$

Ripas:28 ripas *comp*: 10,40m $T_{ripas} = 291,2 \text{ m}$

$$Q_{ripas} = 291,20 \times (0,05\text{m} \times 0,025\text{m}) = 0,364 \text{ m}^3$$

Total de madeira:

$$Q_{T,madeira} = Q_{tesoura} + Q_{terça} + Q_{caibro} + Q_{ripas} = 3,569 \text{ m}^3$$

$$Q_{T,madeira} = 3,569 \text{ m}^3$$

Telhas:

$$A_{telhado} = (4\text{m} \times 10,40\text{m}) \times 2 = 83,2 \text{ m}^2$$

Para 1 m² são necessárias 10,4 telhas

Para a cumeeira, considera-se 3 peças por metro

Considerando uma margem de 5% a mais tem-se:

$$Q_{T,telhas} = 944 \text{ unidades}$$

APÊNDICE C – Dimensionamento de Cobertura com Telha de Fibrocimento (DCC)

Dados:

- Tesoura do tipo Howe;
- Madeira: Pinheiro do Paraná; $\rho_{ap} = 550 \text{ kg/m}^3$
- Telha de fibrocimento (6mm)
- Dimensão da telha: 1,53m x 1,10m
- Inclinação: 18%;
- Beiral: 70 cm em projeção horizontal;

$$A = 6,30 \text{ m}$$

$$B = 9,0 \text{ m} \quad i = 18\% \quad \alpha = 10^\circ$$

$$H = 3,0 \text{ m}$$

$$l_p = 20 \text{ cm} \rightarrow \text{Largura da parede}$$

$$l_t = A - l_p = 6,10 \text{ m} \rightarrow \text{largura de eixo a eixo}$$

$$h_t = \frac{l_t}{2} = 0,915 \text{ m} \quad B_s = \sqrt{\left(\frac{l_t}{2}\right)^2 + (h_t)^2} = 3,184 \text{ m}$$

Distância entre tesouras: (10x20cm)

$$D_{tes} = 300 \text{ cm} \quad Cl = B - l_p = 8,8 \text{ m}$$

$$N_v = Cl/D_{tes} = 2,933$$

$$P/4 \text{ vãos} \rightarrow Cl/4 = 2,2 \text{ m}$$

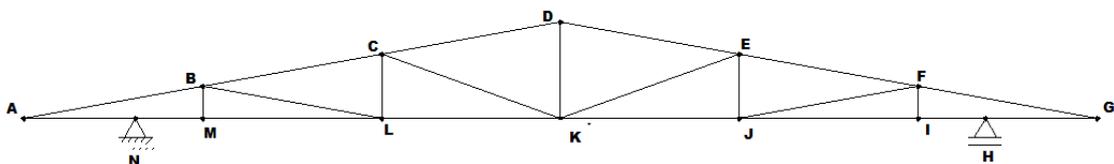
$$P/5 \rightarrow Cl/5 = 1,76 \text{ m}$$

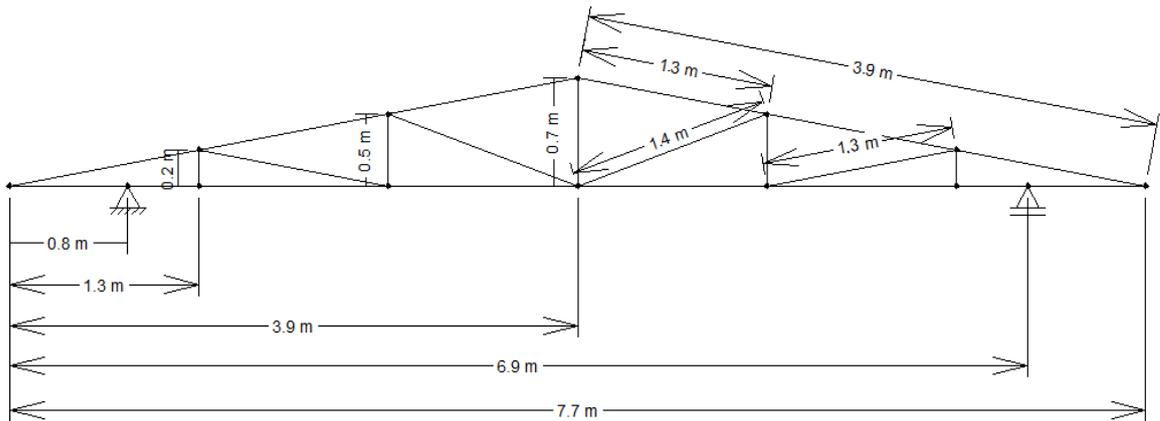
$$d_{tesoura} = 2,20 \text{ m}$$

Distância entre terças: (6x10cm)

$$D_{ter} = 150 \text{ cm}$$

$$B_s/D_{ter} = 2,609 \quad d_{terças} = \frac{B_s}{3} = 1,304 \text{ m}$$





Levantamento das cargas permanentes de grande variabilidade

Área de abrangência: 3,913 m x 1,30 cm

$$p_{pregos} = 1,03 \quad (NBR7190 - \text{Item 5.5.2 pg 9/107})$$

A área da abrangência é o plano do telhado c/ o beiral pela distância entre caibros.

Peso próprio da tesoura:

$$P_{ts} = \rho_{ap} \times p_{pregos} \times (0,10m \times 0,15m) = 8,498 \text{ kg/m}$$

Peso próprio da terça:

$$P_{t\zeta} = \rho_{ap} \times d_{tesoura} \times (0,6m \times 0,10m) \times p_{pregos} = 7,478 \text{ kg}$$

$$P_{t\zeta AG} = \rho_{ap} \times \frac{d_{tesoura}}{1,30} \times 0,667m \times (0,6m \times 0,10m) \times p_{pregos} = 3,852 \text{ kg}$$

Onde 0,667 m é referente a metade da distância entre as terças

Levantamento das cargas permanentes de pequena variabilidade

Peso próprio Telhas

$$P_{T.umida} = 20,4 \text{ kg/m}^2$$

Onde 1.2085 m é a distância do beiral mais a metade da distância entre terças em Proj. horizontal

$$P_{te} = P_{T.umida} \times (1,304 \text{ m} \times d_{tesoura}) = 58,524 \text{ kg}$$

Para os nós A e G:

$$P_{teAG} = P_{T.umida} \times 0,667m \times d_{tesoura} = 29,935 \text{ kg}$$

Cargas de instalações elétricas, hidráulicas, etc (Proj. Horizontal): 0,25 Kn/m²

(NBR 8800, Item 5.B.1 pg. 112/237)

$$P_{mant} = 25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times (1,283m \times d_{tesoura}) = 70,565 \text{ kg}$$

$$P_{manAG} = 25 \frac{kg}{m^2} \times 0,642m \times d_{tesoura} = 35,31 kg$$

Onde 1,283 é a distância entre terças em pro. Horizontal e 0,342 é a metade dessa distância.

Somatório das cargas permanentes de pequena variabilidade

Total:

$$P_{totalPV} = P_{te} + P_{mant} = 129,089 kg$$

Para os nós A e G

$$P_{mantAG} = P_{teAG} + P_{manAG} = 65,245 kg$$

Total de cargas permanentes:

Para o nó D

$$P_{permD} = 2 \times P_{t\zeta} + P_{te} + P_{mant} = 144,044 kg$$

Para os nós intermediários:

$$P_{perm.int} = P_{t\zeta} + P_{te} + P_{mant} = 136,566 kg$$

Para os nós A e G:

$$P_{perm.AG} = P_{t\zeta AG} + P_{teAI} + P_{mantAI} = 99,005 kg$$

ESTUDO DO VENTO:

De acordo com o gráfico das isopletras, a velocidade básica do vento para a cidade de Pato Branco é

$$V_0 = 46 m/s$$

Como o terreno de projeto é praticamente plano:

$$S_1 = 1,0$$

Para o fator S_2

- O terreno se enquadra na classe VI
- O edifício se enquadra na categoria A

Então

$$z = H + ht = 3,7 m$$

Fazendo o uso de interpolação e da tabela 2 da NBR 6123 tem-se

$$S_2 = 0,619$$

Considerando que a edificação será uma residência logo:

$$S_3 = 1,0$$

Dessa forma tem-se

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3 = 28,474 \text{ m/s}$$

$$q = 0,613 \times 28,474^2 = 497,001 \rightarrow q = 50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

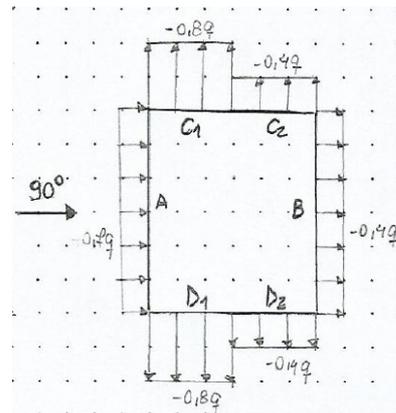
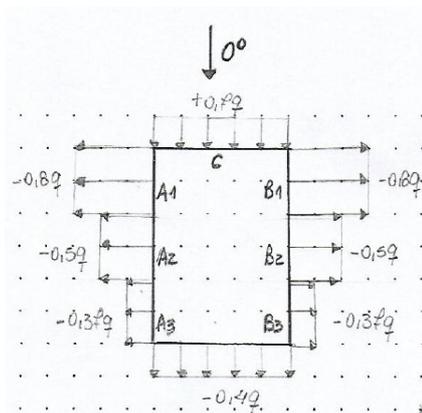
Coefficientes de pressão e de forma, externos - Paredes

$$a = B = 9 \text{ m} \quad b = A = 6,3 \text{ m} \quad h = H = 3 \text{ m}$$

$$\frac{h}{b} = 0,476 < \frac{1}{2} \quad \frac{a}{b} = 1,429 \quad 1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$$

$\alpha = 0^\circ$			
$A_1 \text{ e } B_1$	$A_2 \text{ e } B_2$	C	D
-0,8	-0,5	0,7	-0,4

$\alpha = 90^\circ$			
A	B	$C_1 \text{ e } D_1$	$C_2 \text{ e } D_2$
0,7	-0,4	-0,8	-0,4



Para

$$1 < a/b < 2 \text{ tem-se } c_e = -0,37$$

Coefficiente de pressão e de forma externos – Telhado

$$\frac{h}{b} = 0,476 < 1/2$$

Por interpolação

15°	-1,0
16,7°	x
20°	-0,4

$$x = -0,8$$

15°	-0,8
16,7°	x
20°	-0,7

$$x = -0,77 \sim -0,8$$

Assim tem-se

$\alpha = 0^\circ$		$\alpha = 90^\circ$	
EG	FH	EF	GH
-0,8	-0,6	-0,8	-0,4

As partes I e J para $1 < a/b < 2$ $c_e = -0,37$

$\downarrow 0^\circ$		$\rightarrow 90^\circ$	
-0,8	-0,8	-0,8	-0,4
-0,6	-0,6	-0,8	-0,4
-0,37	-0,37	-0,8	-0,4

Quando o vento bate a 90° o efeito em E,F,I é o mesmo, assim como para G,H,J

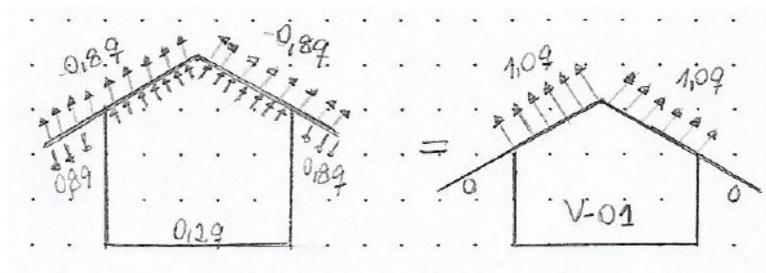
Coeficiente de pressão interna

$$C_{p_i} = 0,2 \quad C_{p_s} = -0,3$$

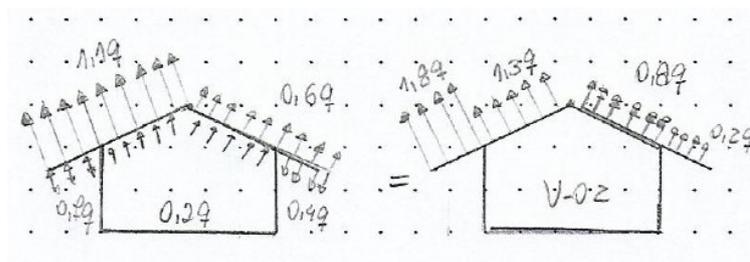


Estudo das situações externas

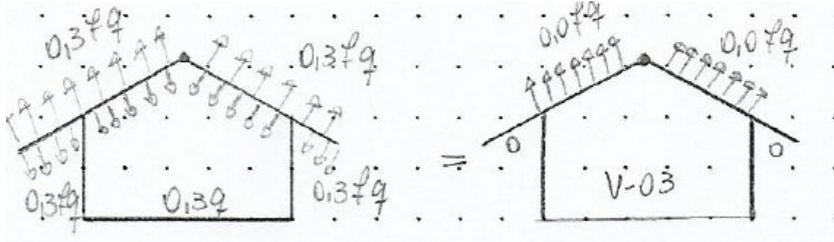
- Vento a 0° , maior sucção



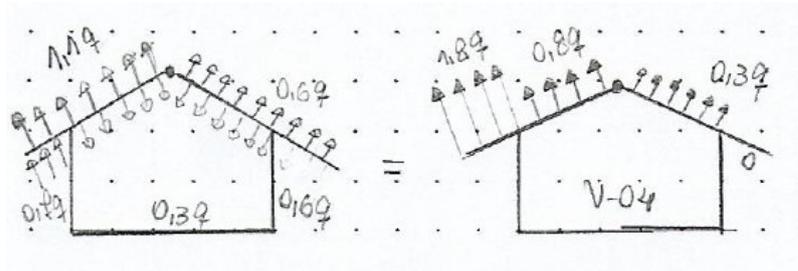
- Vento a 90° , maior sucção



- Vento a 0°, maior pressão



- Vento a 90°, maior pressão



Com relação aos ventos V03 e V04, tem-se que eles são constituem situação, pois não ocasionam pressão

Levantamento das cargas variáveis de grande variabilidade

- Foi considerado a sucção como positiva e a pressão como negativa

Vento V-01

$$1,0 \times \frac{q}{100} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

Ao longo do telhado

$$q_{v01} = 0,5 \times (1,06 \text{ m} \times d_{tesoura}) = 1,167 \quad (\text{sucção})$$

Beiral:

$$q_{V01A} = \frac{q_{v01}}{2} = 0,584 \text{ kN} \quad q_{V01G} = q_{V01A} = 0,584 \text{ kN} \quad (\text{sucção})$$

Cumeeira

$$q_{V01esq} = 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times \frac{1,061 \text{ m}}{2} \times d_{tesoura} = 0,584 \text{ kN} \quad (\text{sucção})$$

$$q_{V01dir} = 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times \frac{1,061 \text{ m}}{2} \times d_{tesoura} = 0,584 \text{ kN} \quad (\text{sucção})$$

Vento V-02

$$1,5 \times \frac{q}{100} = 0,75 \text{ kN/m}^2 \quad 0,6 \times \frac{q}{100} = 0,3 \text{ kN/m}^2 \quad 1,0 \times \frac{q}{100} = 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Ao longo do telhado:

$$q_{v02T\text{esq}} = 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 1,061 \text{ m} \times d_{\text{tesoura}} = 1,167 \text{ kN} \quad (\text{sucção})$$

$$q_{v02T\text{dir}} = 0,30 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 1,061 \text{ m} \times d_{\text{tesoura}} = 0,7 \text{ kN} \quad (\text{sucção})$$

Beiral:

$$q_{V02A} = \left(0,75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 0,80 \text{ m} \times d_{\text{tesoura}} \right) + \left(0,50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times \frac{1,061 \text{ m}}{2} \times d_{\text{tesoura}} \right) = 1,904 \text{ kN} \quad (\text{sucção})$$

Cumeeira:

$$q_{V02\text{esq}} = 0,50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times \frac{1,061 \text{ m}}{2} \times d_{\text{tesoura}} = 0,584 \text{ kN} \quad (\text{sucção})$$

$$q_{V02\text{dir}} = 0,30 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times \frac{1,061 \text{ m}}{2} \times d_{\text{tesoura}} = 0,35 \text{ kN}$$

Sobrecarga de manutenção:

De acordo com o item 2.2.1.4 da NBR 6120/1980 "todo elemento isolado de cobertura, deve ser projetado para receber, na posição mais desfavorável uma carga vertical de 1 kN, além da carga permanente".

Estudo da resistência da madeira:

De acordo com a NBR 7190/1997 (Tabela E.3) para a madeira **Pinheiro do Paraná** temos os seguintes valores de resistência média:

Resistência a compressão paralela às fibras: $f_{c0,m} = 40,9 \text{ MPa}$

Resistência a tração paralela às fibras: $f_{t0,m} = 93,1 \text{ MPa}$

Resistência ao cisalhamento paralela às fibras: $f_{v0,m} = 8,8 \text{ MPa}$

Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras: $E_{c0,m} = 15225 \text{ MPa}$

Para compressão e tração a NBR 7190/1997, considera o coef. de variação (cv). Onde para tração é de 18% e para o cisalhamento de 28%. Assim:

$$f_{c0,k} = 0,7 \times f_{c0,m} = 28,63 \text{ MPa}$$

$$f_{t0,k} = 0,7 \times f_{c0,m} = 65,17 \text{ MPa}$$

$$f_{v0,k} = 0,54 \times f_{v0,m} = 4,752 \text{ MPa}$$

Os valores de γ_m são os coeficientes de ponderação da resistência para os estados limites último, de acordo com o item 6.4.5 da NBR 7190/1997 temos:

Para tensão de compressão paralela às fibras: $\gamma_{wc} = 1,4$

Para tensão de tração paralela às fibras: $\gamma_{wt} = 1,8$

Para tensão de cisalhamento paralelo às fibras: $\gamma_{wv} = 1,8$

Já os coeficientes de modificação (k_{mod}) pode ser encontrado através do item 6.4.4 da NBR 7190/1997:

$$k_{mod} = k_{mod1} \times k_{mod2} \times k_{mod3}$$

Onde:

De acordo com a Tabela 10 da NBR 7190/1997 e considerando o item 5.2 desta mesma norma tem-se.

$$k_{mod1} = 0,70$$

Para k_{mod2} , de acordo com Tabalipa e Fiori (2008, p.2) “à cidade de Pato Branco possui umidade relativa do ar em quase todos os meses do ano, sendo algo em torno de 74%”. Com essa informação, e considerando a Tabela 7 da NBR 7190 /1997 a cidade se encontra na classe de umidade 2 e de acordo com a Tabela 11 tem-se:

$$k_{mod2} = 1,0$$

Por fim para k_{mod3} , como o Brasil não possui um controle de qualidade da madeira, tem-se:

$$k_{mod3} = 0,8$$

Assim:

$$k_{mod} = k_{mod1} \times k_{mod2} \times k_{mod3} = 0,56$$

Com isso, o valor de cálculo é:

$$f_{t0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{t0,k}}{\gamma_{wt}} = 20,275 \text{ Mpa}$$

$$f_{c0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{c0,k}}{\gamma_{wc}} = 11,452 \text{ Mpa}$$

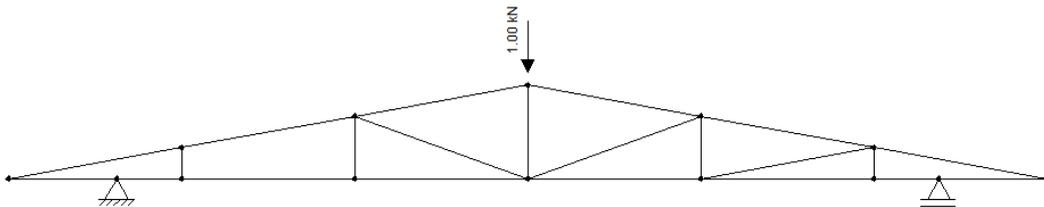
$$f_{v0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{v0,k}}{\gamma_{wv}} = 1,478 \text{ Mpa}$$

E para o modulo de elasticidade paralelo as fibras, tem-se:

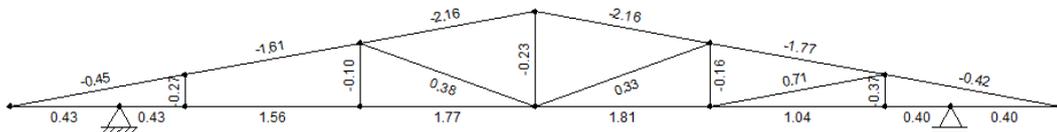
$$E_{c0,ef} = k_{mod} \times E_{c0,m} = 8526 \text{ MPa}$$

RESULTADO DA ANÁLISE ESTRUTURAL:

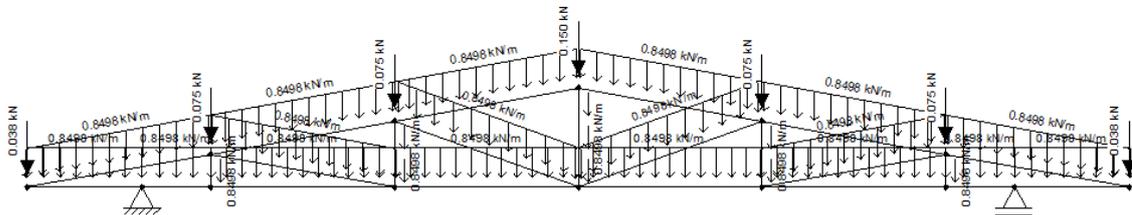
Esforço gerado pela carga de manutenção



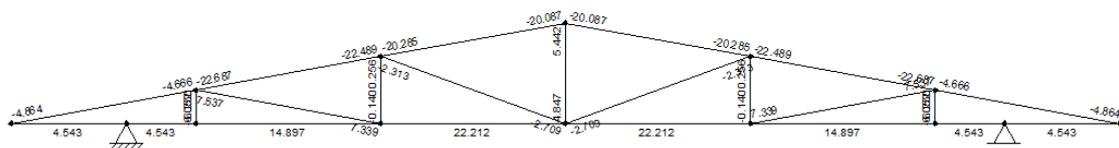
Tensões geradas pela carga de manutenção



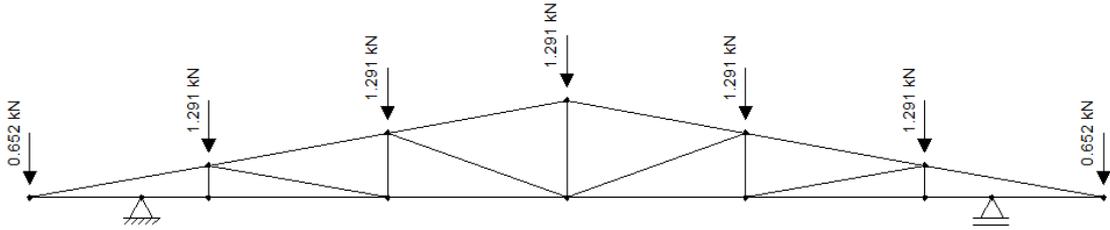
Esforço gerado pelas cargas permanente de grande variabilidade



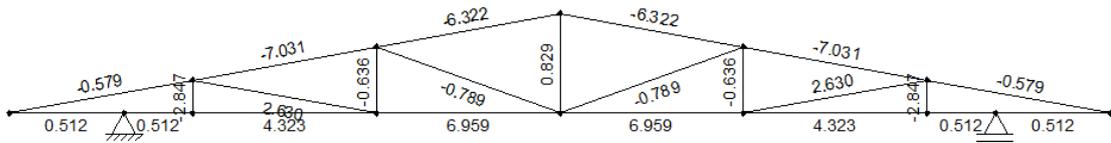
Tensões geradas pelas cargas permanentes de grande variabilidade



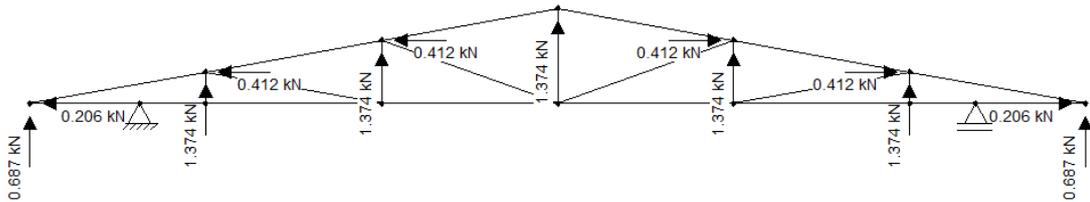
Esforço gerado pelas cargas permanente de pequena variabilidade



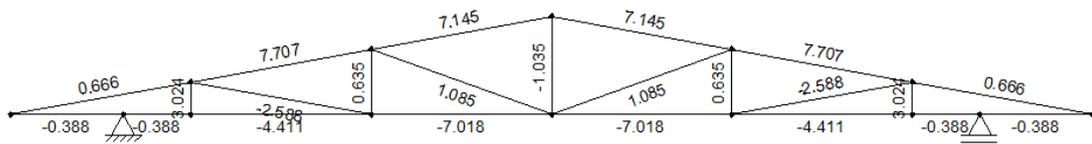
Tensões geradas pelas cargas permanentes de pequena variabilidade



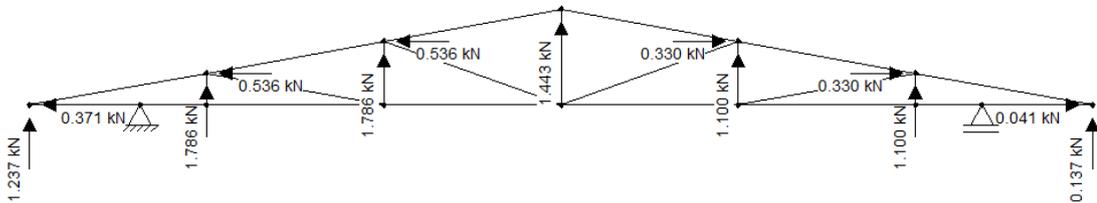
Esforços gerados pelo vento 01 (V01)



Tensões geradas pelo V01



Esforços gerados pelo vento 02 (V02)



Tensões geradas pelo V02

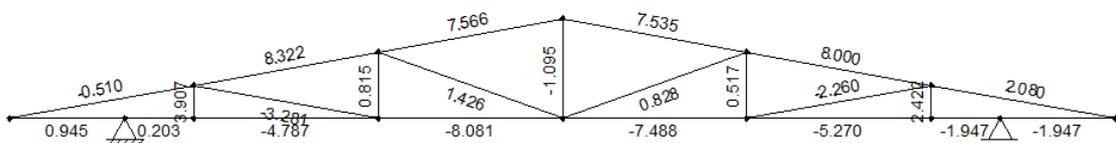


Tabela de combinações de ações

ELEMENTO	BARRA	ESFORÇOS					COMBINAÇÕES DE ESFORÇOS N				COMPOSIÇÃO CRÍTICA DE ESFORÇOS - VALORES DE CÁLCULO	
		PERM. GR. VAR. (kN)	PERM. PEQ. VAR. (kN)	VENTO - V01 (kN)	VENTO - V02 (kN)	SOBREC. MAN. (kN)	PERM (kN)	PERM + V01 (kN)	PERM + V02 (kN)	PERM.+ MAN. (kN)	COMPRESSÃO (-) (kN)	TRAÇÃO (+) (kN)
BANZO SUPERIOR	AB	-4,864	-0,579	0,666	-0,510	-0,420	-7,56	-4,26	-8,10	-8,15	-8,15	
	AB	-22,667	-7,031	7,707	8,322	-1,770	-40,90	-19,36	-18,71	-43,38	-43,38	
	CD	-20,265	-6,322	7,145	7,566	-2,160	-36,62	-17,08	-16,63	-39,64	-39,64	
	DE	-20,265	-6,322	7,145	7,535	-2,160	-36,62	-17,08	-16,67	-39,64	-39,64	
	EF	-22,667	-7,031	7,707	8,000	-1,770	-40,90	-19,36	-19,05	-43,38	-43,38	
FG	-4,864	0,579	0,666	2,080	-0,420	-6,06	-3,10	-1,61	-6,64	-6,64		
BANZO INFERIOR	GH	4,543	0,512	-0,388	-1,947	0,400	7,03	4,19	2,56	7,59		7,59
	HI	4,543	0,512	-0,388	-1,947	0,400	7,03	4,19	2,56	7,59		7,59
	IJ	14,897	4,323	-4,411	-5,270	1,040	26,48	13,10	12,20	27,93		27,93
	JK	22,212	6,959	-7,018	-7,488	1,810	40,14	19,58	19,09	42,68		42,68
	KL	22,212	6,959	-7,018	-8,081	1,810	40,14	19,58	18,46	42,68		42,68
	LM	14,897	4,323	-4,411	-4,787	1,040	26,48	13,10	12,70	27,93		27,93
	MN	4,543	0,512	-0,388	0,203	0,400	7,03	4,19	7,24	7,59		7,59
NA	4,543	0,512	-0,388	0,945	0,400	7,03	4,19	8,02	7,59		8,02	
DIAGONAIS	BL	7,537	2,630	-2,880	-3,281	0,710	13,97	6,39	5,97	14,96		14,96
	CK	-2,709	-0,789	1,085	1,426	0,330	-4,82	-2,09	-1,73	-2,77	-4,82	
	EK	-2,709	-0,789	1,085	0,828	0,330	-4,82	-2,09	-2,36	-2,77	-4,82	
	FJ	7,537	2,630	-2,588	-2,260	0,710	13,97	6,70	7,04	14,96		14,96
MONTANTES	BM	-6,250	-2,847	3,024	3,907	-0,370	-12,45	-5,30	-4,37	-12,97	-12,97	
	CL	0,256	-0,636	0,653	0,815	-0,160	-0,47	0,22	0,39	-0,63	-0,63	0,39
	DK	5,442	0,829	-1,035	-1,095	-0,220	8,70	4,64	4,58	5,42		8,70
	EJ	0,256	-0,636	0,653	0,517	-0,160	-0,47	0,22	0,07	-0,63	-0,63	0,22
	FI	-6,250	-2,847	3,024	2,422	-0,370	-12,45	-5,30	-5,93	-12,97	-12,97	

DIMENSIONAMENTO DA TESOURA:

Verificação do banzo superior e inferior:

$$\text{Seção transversal: } 10 \times 15 \text{ cm} \quad A_{\text{seção}} = 150 \text{ cm}^2$$

Dimensionamento do banzo superior:

Para o banzo superior, tem-se eu o mesmo está à compressão, onde o maior valor se encontra na barra EF.

$$Nd_{BC} = 43380 \text{ N}$$

$$L_0 = 130 \text{ cm}$$

Para o índice de esbeltez tem-se:

Maior inércia:

$$I_{\text{maior}} = 6666,67 \text{ cm}^4$$

$$i_{\text{min1}} = \sqrt{\frac{I_{\text{maior}}}{A_{\text{seção}}}} = 6,667 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = \frac{L_0}{i_{\text{min1}}} = 19,5 \quad (\text{peça curta})$$

Menor inércia:

$$I_{menor} = 1666,67 \text{ cm}^4$$

$$i_{min2} = \sqrt{\frac{I_{menor}}{A_{seção}}} = 3,333 \text{ cm}$$

$$\lambda_2 = \frac{L_0}{i_{min2}} = 39 \quad (\text{peça curta})$$

Verificação à compressão simples na menor inércia:

De acordo com o item 7.5.4 da NBR 7190/1997 para $\lambda > 40$ tem-se a seguinte condição de segurança:

$$\left(\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{Mxd}}{f_{c0,d}} + k_M \frac{\sigma_{Myd}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}}\right)^2 + k_M \frac{\sigma_{Mxd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Myd}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

Para o valor de k_M considera-se o item 7.3.4

$$k_M = 0,5$$

Onde:

$$e_a = \frac{L_0}{300} = 0,433 \text{ cm}$$

$$e_i = 0$$

(Obs: Não existe momento fletor decorrente do carregamento externo na compressão simples)

Sendo:

$$e_1 = e_i + e_a = 0,433 \text{ cm}$$

Para a carga crítica tem-se:

$$F_E = \frac{\pi^2 \times E_{c0,ef} \times I_{menor}}{L_0^2} = 829,866 \text{ kN}$$

Logo:

$$e_d = e_1 \times \frac{F_E}{F_E - N_{dEF}} = 0,457 \text{ cm}$$

Assim para o momento fletor (M_d) tem-se:

$$M_d = e_d \times N_{dBC} = 19,835 \text{ kN.cm}$$

$$y = \frac{10 \text{ cm}}{2} = 5 \text{ cm} \quad x = \frac{15 \text{ cm}}{2} = 7,5 \text{ cm}$$

Onde y e x é a distância até a linha neutra (LN)

$$\sigma_{Myd} = \frac{M_d \times y}{I_{menor}} = 0,595 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Mxd} = \frac{M_d \times x}{I_{menor}} = 0,223 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Nd} = \frac{Nd_{EF}}{A_{seção}} = 2,892 \text{ MPa}$$

Verificando a condição de segurança, tem-se:

$$\left(\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{Mxd}}{f_{c0,d}} + k_M \frac{\sigma_{Myd}}{f_{c0,d}} = 0,109$$

Como $0,109; 0,125 < 1$ **OK**

$$\left(\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}} \right)^2 + k_M \frac{\sigma_{Mxd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Myd}}{f_{c0,d}} \leq 0,125$$

Dimensionamento do banzo inferior:

Tem-se que o banzo inferior está sofrendo esforço de tração, onde o maior valor se encontra na barra HI.

$$Nd_{JK} = 42680 \text{ N}$$

Para a tração, tem-se as seguintes condições de segurança

$$\sigma_{td} \leq f_{td}$$

$$\sigma_{td} = \frac{Nd_{HI}}{A_{seção}} = 284,533 \text{ N/cm}^2$$

Assim:

$$284,533 \text{ N/cm}^2 < 2028 \text{ N/cm}^2 \quad \mathbf{OK}$$

DIMENSIONAMENTO DAS TERÇAS:

Área de abrangência: 2,20m x 1,30m

Seção transversal: 10x10 cm

Onde 1,30 m é a distância entre terças, 2,20m é a distância entre tesouras e 0,652 m é a distância do beiral mais a metade da distância entre terças.

LEVANTAMENTO DE CARGAS NAS TERÇAS:

Permanentes

Peso próprio da terça:

$$q_{pp} = \rho_{ap} \times p_{pregos} \times (0,10m \times 0,10m) = 8,158 \text{ kg/m}$$

Peso das telhas:

$$q_{Te} = \frac{P_T \times 1,30m \times d_{tesoura}}{d_{tesoura}} = 26,602 \text{ kg/m}$$

Instalações elétricas: (Proj. horizontal: 0,25 kN/m²)

$$q_{Mant} = 25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times \frac{1,30 \text{ m} \times d_{tesoura}}{d_{tesoura}} = 32,075 \text{ kg/m}$$

Total das cargas permanentes:

$$q_{perma} = q_{pp} + q_{Te} + q_{Mant} = 66,834 \text{ kg/m}$$

Variáveis:

Segundo o item 2.2.1.4 da NBR 6120/1980 além da carga permanente, todo elemento vertical deve receber uma carga equivalente a 1kN na posição mais desfavorável.

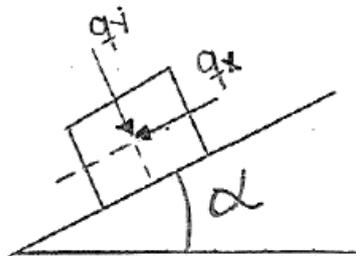
→ *Análise estrutural:*

$$\alpha = 10^\circ \quad l = d_{tesoura} = 2,20 \text{ m}$$

Cargas permanentes:

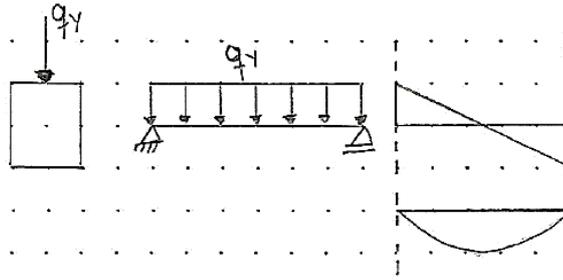
$$q_x = q_{perma} \times \sin \alpha = 11,61 \text{ kg/m}$$

$$q_y = q_{perma} \times \cos \alpha = 65,82 \text{ kg/m}$$

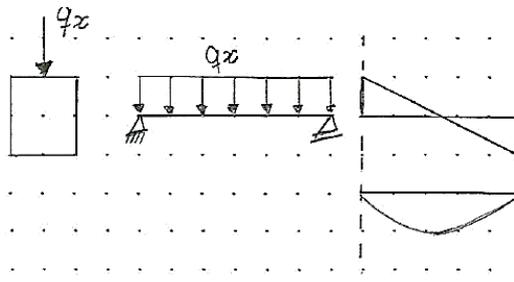


$$V_{máx1} = \frac{q_y \times l}{2} = 72,401 \text{ kg}$$

$$M_{máx1} = \frac{q_y \times l^2}{8} = 39,82 \text{ kg.m}$$



$$V_{m\acute{a}x2} = \frac{q_y \times l}{2} = 12,766 \text{ kg} \quad M_{m\acute{a}x2} = \frac{q_y \times l^2}{8} = 7,021 \text{ kg.m}$$



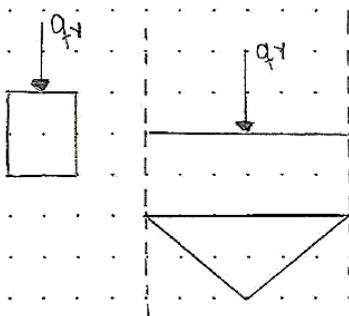
Cargas variáveis: Sobrecarga de manutenção:

$$P = 1 \text{ kN}$$

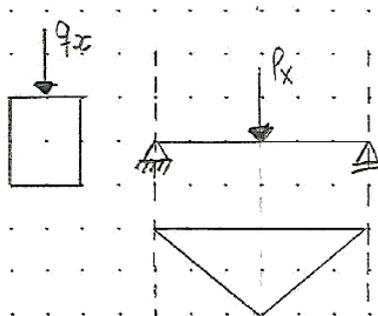
$$P_x = 100 \text{ kg} \times \sin \alpha = 17,365 \text{ kg}$$

$$P_y = 100 \text{ kg} \times \cos \alpha = 98,481 \text{ kg}$$

→ Para verificação do momento fletor

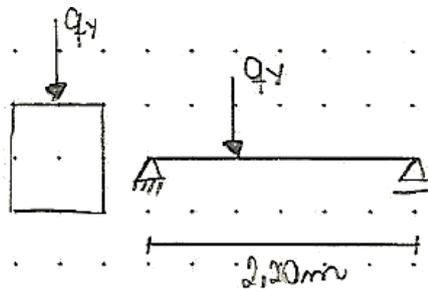


$$M_{m\acute{a}x3} = \frac{p_y \times l}{4} = 54,164 \text{ kg.m}$$

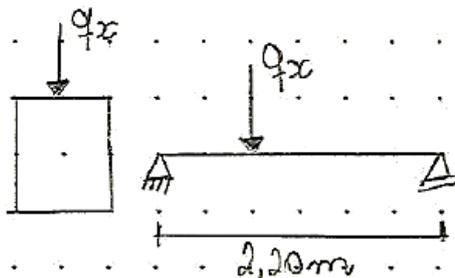


$$M_{m\acute{a}x4} = \frac{p_x \times l}{4} = 9,551 \text{ kg.m}$$

→ Para verificação do cortante



$$V_{m\acute{a}x3} = p_y = 98,481 \text{ kg}$$



$$V_{m\acute{a}x4} = p_x = 17,365 \text{ kg}$$

Combinações de ação:

$$M_{dy} = 1,4 \times M_{m\acute{a}x1} + 1,4 \times M_{m\acute{a}x3} = 131,579 \text{ kg.m}$$

$$V_{dy} = 1,4 \times V_{m\acute{a}x1} + 1,4 \times V_{m\acute{a}x3} = 239,234 \text{ kg}$$

$$M_{dx} = 1,4 \times M_{m\acute{a}x2} + 1,4 \times M_{m\acute{a}x4} = 23,201 \text{ kg.m}$$

$$V_{dx} = 1,4 \times V_{m\acute{a}x2} + 1,4 \times V_{m\acute{a}x4} = 42,183 \text{ kg}$$

Dimensionamento para momento fletor:

$$M_{dy} = 1,32 \text{ kN.m}$$

$$I = \frac{0,12\text{m} \times (0,12\text{m})^3}{12} = 1,728 \times 10^{-5} \text{m}^4 \quad y = \frac{0,12\text{m}}{2} = 0,06\text{m}$$

$$\sigma_{M_d,y} = \frac{M_{dy} \times y}{I} = 4,583 \text{ MPa}$$

$$M_{dx} = 0,8249 \text{ kN.m}$$

$$I = \frac{0,12\text{m} \times (0,12\text{m})^3}{12} = 1,728 \times 10^{-5} \text{m}^4 \quad x = \frac{0,12\text{m}}{2} = 0,06\text{m}$$

$$\sigma_{M_d,x} = \frac{M_{dx} \times x}{I} = 0,806 \text{ MPa}$$

Como condição de segurança, tem-se:

$$f_{t0,d} = 20,28 \text{ MPa} \quad f_{c0,d} = 11,452 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{Md,x}}{f_{wd}} + k_M \times \frac{\sigma_{Md,y}}{f_{wd}} \leq 1$$

$$k_M \times \frac{\sigma_{Md,x}}{f_{wd}} + \frac{\sigma_{Md,y}}{f_{wd}} \leq 1$$

Como a seção é retangular: $k_M = 0,5$

$$\frac{\sigma_{Md,x}}{f_{wd}} + k_M \times \frac{\sigma_{Md,y}}{f_{wd}} = 0,27 \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$k_M \times \frac{\sigma_{Md,x}}{f_{wd}} + \frac{\sigma_{Md,y}}{f_{wd}} = 0,435 \leq 1$$

$$\sigma_{Md,x} + k_M \times \sigma_{Md,y} = 3,097 \text{ MPa}$$

$$k_M \times \sigma_{Md,x} + \sigma_{Md,y} = 4,4986 \text{ MPa}$$

$$3,097 \text{ MPa} \leq 20,275 \text{ MPa}$$

$$4,986 \text{ MPa} \leq 11,45 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$

Dimensionamento para o cisalhamento:

$$V_{dy} = 239,234 \text{ kg}$$

$$V_{dx} = 42,183 \text{ kg}$$

$$f_{v0,d} = 1,478 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{V_d}{b \times h}$$

Logo:

Para V_{dy}

$$\tau_{dy} = \frac{3}{2} \times \frac{23923,4 \text{ N}}{120 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}} = 0,249 \text{ MPa}$$

Para V_{dx}

$$\tau_{dx} = \frac{3}{2} \times \frac{4218,3 \text{ kg}}{120 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}} = 0,044 \text{ MPa}$$

Onde:

$$\tau_d = \sqrt{(\tau_{dy})^2 + (\tau_{dx})^2} = 0,253 \text{ MPa}$$

$$0,253 \text{ MPa} < 1,478 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$

QUANTIDADE DE MATERIAIS:Tesoura:

5 tesouras

1 tesoura → 22,964 m

 $T_{tesoura} = 5 \times 22,964 \text{ m} = 114,82 \text{ m lineares}$

$$Q_{tesoura} = 98,6 \times (0,10\text{m} \times 0,15\text{m}) = 1,722 \text{ m}^3$$

Terças:

8 terças *comp* = 10,30 m $T_{terça} = 82,4 \text{ m lineares}$

$$Q_{terça} = 82,4 \times (0,12\text{m} \times 0,12\text{m}) = 1,187 \text{ m}^3$$

Total de madeira:

$$Q_{T,madeira} = Q_{tesoura} + Q_{terça} = 2,909 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{Q_{T,madeira} = 2,909 \text{ m}^3}$$

Telhas:

$$A_{telhado} = (3,913\text{m} \times 10,40\text{m}) \times 2 = 81,39 \text{ m}^2$$

Para 1,365 m² são necessárias 1 telhas

Para a cumeeira, considera-se 1 peças para 1,05m

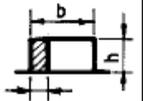
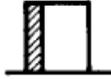
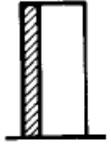
Considerando uma margem de 5% a mais tem-se:

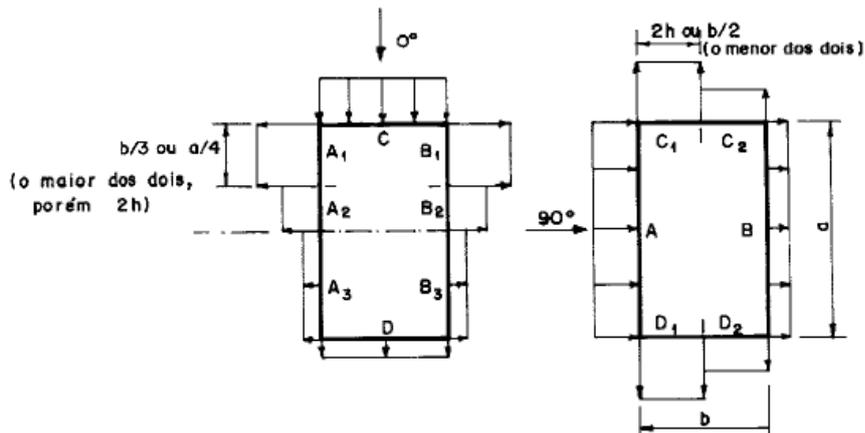
$$\mathbf{Q_{T,telhas} = 74 \text{ unidades}}$$

Com realização a fixação as telhas

Considera-se 4 parafusos por telha, o que dá um total de 263 parafusos.

ANEXO A: Tabela 4 da NBR 6123:1988

Altura relativa		Valores de C_e para								c_{pe} médio 
		$\alpha = 0^\circ$				$\alpha = 90^\circ$				
		A_1 e B_1	A_2 e B_2	C	D	A	B	C_1 e D_1	C_2 e D_2	
 $0,2 b$ ou h (o menor dos dois) $\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,8	-0,5	+0,7	-0,4	+0,7	-0,4	-0,8	-0,4	-0,9
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,8	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,0
 $\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,9	-0,5	+0,7	-0,5	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,1
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,9	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,6	-0,9	-0,5	-1,1
 $\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-1,0	-0,6	+0,8	-0,6	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-1,0	-0,5	+0,8	-0,3	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2



Notas: a) Para a/b entre $3/2$ e 2 , interpolar linearmente.

b) Para vento a 0° , nas partes A_3 e B_3 , o coeficiente de forma C_e tem os seguintes valores:

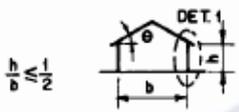
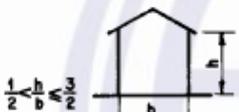
- para $a/b = 1$: mesmo valor das partes A_2 e B_2 ;
- para $a/b \geq 2$: $C_e = -0,2$;
- para $1 < a/b < 2$: interpolar linearmente.

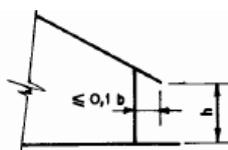
c) Para cada uma das duas incidências do vento (0° ou 90°), o coeficiente de pressão médio externo c_{pe} médio, é aplicado à parte de barlavento das paredes paralelas ao vento, em uma distância igual a $0,2 b$ ou h , considerando-se o menor destes dois valores.

d) Para determinar o coeficiente de arrasto, C_d , deve ser usado o gráfico da Figura 4 (vento de baixa turbulência) ou da Figura 5 (vento de alta turbulência - ver 6.5.3).

Fonte: ABNT (1988).

ANEXO B: Tabela 5 da NBR 6123:1988

Altura relativa	θ	Valores de C_e para				c_{pe} médio			
		$\alpha = 90^\circ$ (A)		$\alpha = 0^\circ$					
		EF	GH	EG	FH				
 $\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	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
 $\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	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				
 $\frac{2}{3} < \frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	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°	+0,5	-0,5	-0,8	-0,7				



DETALHE 1

Notas: a) O coeficiente de forma C_e na face inferior do beiral é igual ao da parede correspondente.

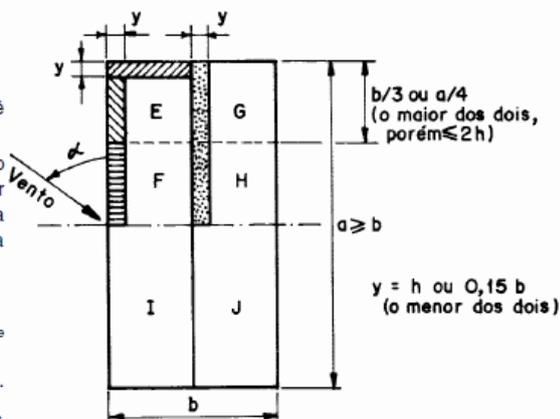
b) Nas zonas em torno de partes de edificações salientes ao telhado (chaminés, reservatórios, torres, etc.), deve ser considerado um coeficiente de forma $C_e = 1,2$, até uma distância igual à metade da dimensão da diagonal da saliência vista em planta.

c) Na cobertura de lanternins, c_{pe} médio = - 2,0.

d) Para vento a 0° , nas partes I e J o coeficiente de forma C_e tem os seguintes valores:

$a/b = 1$: mesmo valor das partes F e H; $a/b \geq 2$: $C_e = - 0,2$.

Interpolarm linearmente para valores intermediários de a/b .



Fonte: ABNT (1988).