

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**BRENO VICTOR BANDEIRA BARRA**

**JOÃO PAULO SINK GOMES PÓVOA**

**TELHADO VERDE: ANÁLISE DO IMPACTO DA  
SOBRECARGA NA ESTRUTURA**

**ANÁPOLIS / GO**

**2020**

**BRENO VICTOR BANDEIRA BARRA**  
**JOÃO PAULO SINK GOMES PÓVOA**

**TELHADO VERDE: ANÁLISE DO IMPACTO DA**  
**SOBRECARGA NA ESTRUTURA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: RHOGÉRIO CORREIA DE SOUZA ARAÚJO**

**ANÁPOLIS / GO: 2020**

## FICHA CATALOGRÁFICA

BARRA, BRENO VICTOR BANDEIRA/ PÓVOA, JOÃO PAULO SINK GOMES

Telhado Verde: Análise do impacto da sobrecarga na estrutura.

75P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2020).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- |                  |              |
|------------------|--------------|
| 1. Telhado Verde | 2. Estrutura |
| 3. Sobrecarga    | 4. Orçamento |
| I. ENC/UNI       | II. Bacharel |

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BARRA, Breno Victor Bandeira; PÓVOA, João Paulo Sink Gomes. Telhado Verde: Análise do impacto da sobrecarga na estrutura. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 75p. 2020.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Breno Victor Bandeira Barra

João Paulo Sink Gomes Póvoa

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Telhado Verde: Análise do impacto da sobrecarga na estrutura

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2020

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Breno Victor Bandeira Barra  
E-mail: brenovslbandeira@hotmail.com

---

João Paulo Sink Gomes Póvoa  
E-mail: jpsinkpovoa@gmail.com

**BRENO VICTOR BANDEIRA BARRA  
JOÃO PAULO SINK GOMES PÓVOA**

**TELHADO VERDE: ANÁLISE DO IMPACTO DA  
SOBRECARGA NA ESTRUTURA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

**APROVADO POR:**

---

**RHOGÉRIO CORREIA DE SOUZA ARAÚJO, Mestre  
(Unievangélica)  
(ORIENTADOR)**

---

**ANDERSON DUTRA E SILVA, Mestre (Unievangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**EDUARDO MARTINS TOLEDO, Mestre (Unievangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO, 30 de NOVEMBRO de 2020.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, devido a oportunidade que ele me deu para iniciar e finalizar esta graduação. Agradeço ao apoio dos meus pais, irmãs e demais familiares que estiveram ao meu lado, e não podendo esquecer o apoio dos meus amigos de faculdade, que estiveram sempre ao meu lado dividindo bons momentos e partilhando conhecimento, agradeço também meu amigo Rayan Kiodan por sempre ajudar a todos no dia a dia.

Breno Victor Bandeira Barra

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me dado saúde e força para chegar até aqui e sempre ter me abençoado durante as minhas conquistas. Aos meus familiares e amigos por estarem sempre ao meu lado e me auxiliando em busca dos meus objetivos. Ao meu pai que mesmo de longe sempre esteve ao meu lado com seus ensinamentos.

João Paulo Sink Gomes Póvoa

## **RESUMO**

O telhado verde viabiliza o contato do homem com a natureza, além de torna-lo um agente fundamental no processo de inclusão de projetos sustentáveis que asseguram a preservação do planeta. Logo, neste trabalho foi desenvolvido um estudo de caso com três propostas de telhados, sendo uma proposta com telhado convencional e outras duas propostas com telhado verde, em que foi comparado valores de sobrecargas e custos de materiais, além de dimensionamentos e orçamentos de estruturas de concreto armado. O dimensionamento da estrutura foi fundamentado na normativa NBR 6118:2014 – Projeto de Estrutura de Concreto e NBR 6120/1980 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Anteriormente foi realizado uma breve revisão bibliográfica quanto a importância do telhado verde, estrutura de concreto armado e seus componentes, além de apresentação sobre orçamento. Após realização de dimensionamentos e levantamentos orçamentários verificou-se que as propostas com telhado verde acarretam em um custo final à mais de aproximadamente 36%.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Telhado Verde. Estrutura. Sobrecarga. Orçamento.

## **ABSTRACT**

The green roof enables human contact with nature, in addition to making it a fundamental agent in the process of including sustainable projects that ensure the preservation of the planet. Therefore, in this work, a case study was developed with three roof proposals, one with a conventional roof and two others with a green roof, in which values of overloads and material costs were compared, in addition to dimensioning and budgeting of structural structures. reinforced concrete. The design of the structure was based on NBR 6118: 2014 - Concrete Structure Project and NBR 6120/1980 - Loads for the calculation of building structures. Previously, a brief bibliographic review was carried out regarding the importance of the green roof, reinforced concrete structure and its components, in addition to presentation on budget. After carrying out dimensioning and budget surveys, it was found that proposals with a green roof result in a final cost of more than approximately 36%.

### **KEYWORDS:**

Green roof. Structure. Overhead. Budget.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fachada leste casa no litoral catarinense.....	14
Figura 2 – Cobertura casa no litoral catarinense .....	23
Figura 3 – Casa das Guaracemas .....	24
Figura 4 – Piscina da Casa das Guaracemas.....	24
Figura 5 – Casa Viva .....	25
Figura 6 – Varanda Casa Viva.....	26
Figura 7 – Ecotelhado com suas respectivas camadas .....	27
Figura 8 – Aplicação manta asfáltica .....	29
Figura 9 – Camada de argila expandida .....	30
Figura 10 – Camada filtrante .....	31
Figura 11 – Camada de substrato .....	31
Figura 12 – Telhado verde.....	32
Figura 13 – Aplicação de água no concreto .....	36
Figura 14 – Cimento portland.....	36
Figura 15 – Agregado miúdo.....	37
Figura 16 – Agregado graúdo.....	37
Figura 17 – Laje Maciça.....	39
Figura 18 – Laje nervurada.....	39
Figura 19 – Laje treliçada.....	40
Figura 20 – Valores do coeficiente adicional $\gamma_n$ .....	41
Figura 21 – Classificação quanto às solicitações iniciais .....	42
Figura 22 – Estaqueamento de fundações .....	44
Figura 23 – Planta baixa do estudo de caso.....	47
Figura 24 – Planta de cobertura do estudo de caso.....	48
Figura 25 – Renderização térrea.....	50
Figura 26 – Renderização aérea.....	50
Figura 27 – Tabela classes de agressividade .....	58
Figura 28 – Tabela resistencia caracteristica.....	59
Figura 29 – Tabela cobrimento nominal .....	59
Figura 30 – Bitola dos blocos .....	60
Figura 31 – Bitola dos pilares.....	61
Figura 32 – Bitola das vigas .....	61

Figura 33 – Bitola das lajes .....	61
Figura 34 – Planta de forma pavimento térreo .....	62
Figura 35 – Planta de forma pavimento cobertura .....	63
Figura 36 – Planta de forma pavimento barrilete .....	64
Figura 37 – Deslocamento com pilares embutidos.....	65
Figura 38 – Deslocamento com pilares expostos .....	65

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação de Telhado Verde quanto a inclinação .....	28
Quadro 2 – Classificação de Telhado Verde quanto a intensidade .....	28
Quadro 3 – Composição de preço para orçamento.....	46
Quadro 4 – Custo de implantação.....	57
Quadro 5 – Resultado dimensionamento das lajes .....	66
Quadro 6 – Resultado dimensionamento das vigas de cobertura .....	67
Quadro 7 – Resultado dimensionamento da seção dos pilares.....	68
Quadro 8 – Resultado dimensionamento da fundação .....	68
Quadro 9 – Análise de carga e momento.....	69
Quadro 10 – Quantitativo de materiais - Estrutura.....	69
Quadro 11 – Custo da estrutura .....	70
Quadro 12 – Custo final .....	70

## LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Sobrecarga na estrutura – Proposta 1.....	51
Tabela 2 – Sobrecarga na estrutura – Proposta 2.....	52
Tabela 3 – Sobrecarga na estrutura – Proposta 3.....	53
Tabela 4 – Orçamento de implantação – Proposta 1 .....	54
Tabela 5 – Orçamento de implantação – Proposta 2 .....	55
Tabela 6 – Orçamento de implantação – Proposta 3 .....	56

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	15
1.2 OBJETIVOS .....	15
<b>1.2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>16</b>
1.3 METODOLOGIA .....	16
<b>2 PROJETO SUSTENTÁVEL .....</b>	<b>17</b>
2.1 CONCEITO .....	17
2.2 BUSCA PELA SUSTENTABILIDADE .....	18
2.3 VANTAGENS DE UM PROJETO SUSTENTÁVEL .....	19
2.4 ELABORAÇÃO DE UM PROJETO SUSTENTÁVEL .....	20
2.5 PROJETOS SUSTENTÁVEIS NO BRASIL .....	22
<b>2.5.1 Casa no litoral catarinense com uso sustentável da água e da energia .....</b>	<b>22</b>
<b>2.5.2 Casa das Guaracemas .....</b>	<b>23</b>
<b>2.5.2 Casa Viva – Projeto de Casa Container .....</b>	<b>25</b>
2.6 TELHADO VERDE.....	26
<b>2.6.1 Contextualização .....</b>	<b>26</b>
<b>2.6.2 Classificação.....</b>	<b>27</b>
<b>2.6.3 Sistema de Coberturas Verdes .....</b>	<b>28</b>
2.6.3.1 Sistema contínuo .....	29
2.6.3.1.1 <i>Camada de impermeabilização .....</i>	<i>29</i>
2.6.3.1.2 <i>Camada drenante .....</i>	<i>30</i>
2.6.3.1.3 <i>Camada filtrante .....</i>	<i>30</i>
2.6.3.1.4 <i>Camada de substrato.....</i>	<i>31</i>
2.6.3.1.5 <i>Camada vegetal.....</i>	<i>32</i>
2.6.3.2 Cobertura Verde Extensiva .....	32
2.6.3.3 Cobertura Verde Intensiva .....	33
<b>2.6.4 Manutenção e Suporte .....</b>	<b>33</b>
2.6.4.1 Retenção de água .....	33
<b>3 PROJETO ESTRUTURAL .....</b>	<b>34</b>

3.1	DESENVOLVIMENTO PROJETO ESTRUTURAL .....	34
3.2	CONCEITO DO CONCRETO .....	34
<b>3.2.1</b>	<b>Características do concreto</b> .....	<b>35</b>
3.3	ELEMENTOS ESTRUTURAIS .....	38
<b>3.3.1</b>	<b>Laje.</b> .....	<b>38</b>
3.3.1.1	Tipos de laje .....	38
3.3.1.1.1	<i>Laje maciça</i> .....	38
3.3.1.1.2	<i>Laje nervurada</i> .....	39
3.3.1.1.3	<i>Laje treliçada</i> .....	40
<b>3.3.2</b>	<b>Viga.</b> .....	<b>40</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Pilar.</b> .....	<b>41</b>
3.3.3.1	Pilares Internos, de borda e de canto .....	42
<b>3.3.4</b>	<b>Fundação.</b> .....	<b>42</b>
3.3.4.1	Tipos de fundação .....	43
<b>4</b>	<b>ORÇAMENTO</b> .....	<b>44</b>
4.1	A IMPORTÂNCIA DO ENGENHEIRO CIVIL NO ORÇAMENTO .....	45
<b>4.1.1</b>	<b>Tabela de composição de preço para orçamento.</b> .....	<b>45</b>
<b>5</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>47</b>
5.1	PROPOSTAS .....	47
5.2	SOBRECARGA NA ESTRUTURA .....	50
5.3	CUSTO DE IMPLANTAÇÃO .....	53
5.4	DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA .....	57
<b>5.4.1</b>	<b>Software.</b> .....	<b>57</b>
<b>5.4.2</b>	<b>Materiais.</b> .....	<b>57</b>
5.4.2.1	Concreto .....	57
5.4.2.1.1	<i>Classe de Agressividade</i> .....	58
5.4.2.1.2	<i>Resistência característica à compressão e cobrimento mínimo</i> .....	58
5.4.2.2	Aço .....	59
5.4.2.2.1	<i>Diâmetro para aço</i> .....	60
<b>5.4.3</b>	<b>Concepção estrutural</b> .....	<b>62</b>
<b>5.4.4</b>	<b>Análise pilares P4 e P6</b> .....	<b>64</b>
5.5	RESULTADO DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA .....	66

<b>5.5.1</b>	<b>Laje</b> .....	<b>66</b>
<b>5.5.2</b>	<b>Vigas de cobertura</b> .....	<b>66</b>
<b>5.5.3</b>	<b>Pilares</b> .....	<b>67</b>
<b>5.5.4</b>	<b>Fundação</b> .....	<b>68</b>
<b>5.6</b>	<b>QUANTITATIVO DE MATERIAIS</b> .....	<b>69</b>
<b>5.7</b>	<b>CUSTO DA ESTRUTURA</b> .....	<b>70</b>
<b>5.8</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>70</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>72</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>73</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O verde de uma bela paisagem, a aproximação da natureza e a suavidade de um ar puro é o cenário que o homem sempre buscou para ter uma vida com mais longevidade e tranquilidade. Quando analisamos as construções na Antiga Mesopotâmia, em 600 A.C., encontramos grandes criações que acolhiam em seus topos jardins suspensos, que traziam à natureza para perto da civilização.

Porém com o passar dos anos a onda cinza da urbanização, impulsionada pela globalização e industrialização, substituiu o cenário natural pelo cenário urbano. Em 1960, na Alemanha, começou a surgir preocupações quanto ao rápido declínio das áreas verdes no espaço urbano e a péssima qualidade do ambiente urbano, a partir de então o Governo intensificou o interesse nos telhados verdes e criou leis municipais, estaduais e federais que favoreciam a população, através de subsídios, para quem implantasse este sistema em sua casa. Seu expressivo crescimento foi estimulado por políticas ambientais que subsidiavam cada metro quadrado de cobertura verde a ser construída (PECK,1999).

O termo Telhado Verde é comumente utilizado para descrever telhados cobertos com vegetação. No entanto o sistema é muito mais amplo, pode ser composto por coberturas com painéis solares, coberturas brancas com alta emissividade e refletividade ou até mesmo telhados com telhas *shingle* de grande duração. O termo ideal a ser usado é “Telhado Verde com vegetação”, porém devido a sua ampla aplicação neste trabalho, será utilizado apenas o termo “Telhado Verde” (UGREEN, 2018).

O telhado verde consiste na implantação de uma determinada vegetação no topo de uma cobertura, juntamente com um sistema de camadas que auxiliam na vedação e impermeabilização do conjunto. No mercado há diversas opções de vegetação para o telhado verde, que podem variar de gramas rasteiras à plantas frutíferas, possibilitando uma série de resultados possíveis.

O telhado verde traz consigo uma função inovadora, que é a possibilidade de utilização do espaço verde no “telhado” como área de lazer. Unindo e criando conforto térmico e acústico ao ganho de mais um ambiente na edificação, passando a ser uma boa opção de lazer para do dia a dia, principalmente quando falamos de grandes centros urbanos, que convivem com grandes áreas impermeabilizadas por asfalto e construções. Permitindo um equilíbrio na temperatura dos ambientes da edificação, além de contribuir com a ação da energia térmica, que por meio da evapotranspiração auxilia o controle da umidade local. Se este tipo de telhado passar a ser utilizado em um maior número de edificações urbanas, teria

se vários efeitos positivos sendo dois deles, a diminuição das ilhas de calor e o auxílio da drenagem de águas pluviais.

Quando se projeta um telhado com esse tipo de características devemos lembrar da ação das cargas e somá-las ao cálculo estrutural, mesmo sendo um sistema considerado leve, existe sobrecarga na estrutura. Desenvolveremos então um estudo de comparação estrutural, juntamente com os custos, analisando a viabilidade econômica do telhado verde e um telhado convencional.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Um projeto sustentável tem como principal intuito preservar a natureza, atender a expectativa do homem e ainda não causar grandes impactos, visto isso, hoje o telhado verde é uma alternativa para quem quer ajudar o meio ambiente e ainda não abrir mão da estética. Pois como o espaço urbano sofre modificações constantes, desde o curso de sua existência, destacando as ininterruptas perdas de área verde, nada mais coerente que a preocupação em aliar e propagar as vantagens do telhado verde para dentro deste espaço urbanizado, de tal forma que através da sua aplicação seja minimizado os impactos urbanos e maximizado os ganhos para o ambiente.

Tendo a certeza que os danos causados ao eco sistema são irreversíveis, e que temos que saber lidar com a limitação dos recursos naturais, é de extrema importância ter consciência do que pode ser utilizado e reutilizado, visando soluções, cuja qual, preserve o meio ambiente e tenha menos impacto ao seu redor.

O telhado verde foi desenvolvido pensando no bem estar coletivo e nas muitas vantagens provenientes, logo para implementar este sistema e adquirir bons resultados é necessário conhecer o telhado verde e os efeitos estruturais que a sobrecarga desse tipo de construção trará.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Discutir a aplicação dessa técnica de cobertura "telhado verde", apresentando as características do sistema de execução e sua viabilidade econômica, desenvolvendo um estudo de caso realizando o dimensionamento dos elementos estruturais.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Classificar os telhados sendo considerado a inclinação, características do substrato vegetação e tipo de vegetação na superfície.
- Analisar os sistemas de cobertura verde, detalhando as camadas que compõe o telhado verde.
- Analisar os efeitos do telhado verde na construção civil.
- Explicar as ações e reações das cargas aplicadas na estrutura, com o auxílio do *Software Eberick*.
- Analisar a viabilidade econômica do telhado verde comparado a outras coberturas.

### 1.3 METODOLOGIA

Esta monografia é de natureza descritiva e explorativa. Mediante uma pesquisa minuciosa e analítica, realizada através de leitura e análise de artigos, sites e revistas, descrevemos características relevantes de um projeto sustentável, destacando seu conceito, evolução e elaboração, além de evidenciar projetos sustentáveis no Brasil com uso de descrição e imagens, sendo estas extraídas de sites, como por exemplo o portal da Leroy Merlin.

Utilizando esta mesma metodologia de leitura e pesquisa, apresentamos o contexto do telhado verde, sua classificação, e os tipos de sistemas, em virtude da pesquisa bibliográfica extraída de artigos como: cobertura verde: um uso sustentável na construção civil (RIGHI, KÖHLER, LIMA, NETO, MOHAMAD, 2016) e cobertura verde (ALMEIDA, 2008).

Lakatos (2001) comenta que pesquisa bibliográfica “abrange todas a bibliografia já tornada pública em relação ao tema de estudos”. e que a pesquisa documental, e suas características são a fonte de coleta de dados restrita a documentos, escritos ou não, constituindo o que se denomina de fontes primárias. Estas podem ser feitas no momento em que o fato ou o fenômeno ocorre, ou depois.

Em nosso estudo de caso, de natureza explorativa, é realizado uma análise estrutural de uma casa térrea (projetada pelos autores da monografia), cuja qual compara as ações e reações das cargas aplicadas na estrutura de um telhado convencional e outros dois tipos de telhado com cobertura verde. Esta análise estrutural é realizada através da aplicação do *software eberick*, o qual está de acordo com a ABNT NBR 6118.

## 2 PROJETO SUSTENTÁVEL

### 2.1 CONCEITO

Através do documento *Our Common Future* (Nosso Futuro Comum), publicado em 1987 pela *World Commission Environment and Development*, o desenvolvimento sustentável foi definido como o “desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as próprias necessidades”. Partindo deste conceito, que se tornou uma definição clássica, o desenvolvimento sustentável se categoriza em um processo de mudança, onde a exploração dos recursos, os investimentos financeiros e a orientação do desenvolvimento tecnológico estão em uma mesma direção harmoniosa e com potencial de suprir as necessidades e ambições humanas (BRANDON, 1999).

De acordo com Crepaldi (SOUZA, 2000) na década de 60 do século passado, o crescimento econômico era sinônimo de desenvolvimento, conceito este que era incompatível com a conservação ambiental e manutenção das qualidades de vida e ambiental. Entretanto este cenário mudou, e a forma de se pensar em sustentabilidade ganhou apoiadores em todas as áreas do planeta, assim como na construção civil, que vem adotando projetos e construções sustentáveis.

Os projetos sustentáveis são aqueles pensados para criar menor impacto ao meio ambiente durante a obra, manutenção ou demolição. Além disso, eles incluem soluções sustentáveis que podem ser utilizadas no dia a dia, como painéis solares ou cisternas (VIVADECORA, 2020).

Segundo Araújo (2003) um projeto sustentável é construído com alterações conscientes e que atenda a necessidade da edificação, habitação e do homem moderno, assim respeitando o meio ambiente e cada vez mais preservando os recursos naturais, podendo garantir uma qualidade de vida para as gerações de hoje e as futuras. Ainda de acordo com Araújo (2003), o principal objetivo de um projeto deste tipo é que enfrente e tenha solução para o problema que a sociedade atual passa, que neste caso é a urbanização, que vem excluindo o verde da paisagem, pois cada vez mais é apagado pelo cinza.

O projeto de arquitetura sustentável se opõe a ideia de que o edifício é uma obra de arte e o coloca como parte do habitat vivo, estabelecendo conexão ao clima, a região, a natureza e principalmente, ao planeta. Idealizando maneiras de construir com o menor

impacto ambiental e maiores ganhos sociais, sem que seja inviável economicamente (DELNERO, 2014).

## 2.2 BUSCA PELA SUSTENTABILIDADE

A busca pela sustentabilidade ganhou relevância num contexto em que ações empresariais são apontadas como principais causadores da degradação ambiental e social. Como sugere Sachs (2008), a sustentabilidade é o principal desafio do século XXI. Nesse contexto, a indústria da construção civil caracteriza-se como uma das principais consumidoras de recursos naturais e geradoras de resíduos, visto que a maioria dos insumos utilizados na construção civil é proveniente de fontes não renováveis (ORTEGA, 2014).

Segundo Araújo (2003) entre os anos 60 e 70, por parte da comunidade internacional, foram realizadas propostas para proteção ambiental, “à proteção ambiental, a preocupação com o meio ambiente foi tomando espaço nas discussões sobre o processo de desenvolvimento” (ARÁUJO, 2003 apud. SOUZA, 2000). O assunto surgiu por conta da escassez de petróleo, visto isso as empresas sentiram a necessidade em saber utilizar com sabedoria o que é dado pela natureza e não danificar o que resta.

Logo depois, ocorreram outras reuniões importantes de cunho mundial para discutir novas propostas para repensar a questão ambiental. No ano de 1972, foi realizado em Estocolmo a Primeira Conferência Mundial do Meio ambiente, cuja qual traçou planos e discutiu medidas para a questão da necessidade de racionalização do uso dos bens naturais. A proposta ambiental ganha ainda mais relevância nos anos 80, onde é colocada como prioridade o processo de planejamento urbano, onde é definido alternativas de restrição quanto a tomada dos recursos naturais, organização na ocupação do território e distribuição harmoniosa dos bens e da oferta de oportunidades e serviços urbanos. No ano de 1992, ocorre no Rio de Janeiro a Segunda Conferência Mundial do Meio Ambiente, conhecida como ECO 92, onde é acordado novas bases do Desenvolvimento Sustentável, tendo como discussão principal a garantia da qualidade de vida em conjunto com à qualidade ambiental, além de propostas que dá sustentação ao potencial ecológico (CNUMAD, 1996).

Em setembro de 2015, 193 estados membros adotaram os ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável) estabelecidos pela ONU (Organização das Nações Unidas), com o intuito de acabar com a pobreza, lutar pela desigualdade e injustiça, e combater as mudanças climáticas. Firmando que os países devem executar todos os 17 objetivos e 169 metas, até o ano de 2030 (VG RESIDUOS, 2018).

Em 2015, os países tiveram a oportunidade de adotar a nova agenda de desenvolvimento sustentável e chegar a um acordo global sobre a mudança

climática. As ações tomadas em 2015 resultaram nos novos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que se baseiam nos oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM). As Nações Unidas trabalharam junto aos governos, sociedade civil e outros parceiros para aproveitar o impulso gerado pelos ODM e levar à frente uma agenda de desenvolvimento pós-2015 ambiciosa. Essas decisões determinarão o curso global de ação para acabar com a pobreza, promover a prosperidade e o bem-estar para todos, proteger o meio ambiente e enfrentar as mudanças climáticas (ONU, 2016).

Os ODS impulsionaram a busca pela sustentabilidade no planeta, mas esses objetivos e metas traçadas para proteger o meio ambiente, só foram criadas por que alguns fatos alarmantes chamaram a atenção dos estados membros. Estes fatos são conhecidos como Fatos Principais, e estão disponíveis no portal Online da ONU, alguns deles são:

- A energia é o principal contribuinte para as mudanças climáticas, sendo responsável por cerca de 60% das emissões globais totais de gases do efeito estufa;
- A energia de fontes renováveis – vento, água, solar, biomas e energia geotermal – é inexaurível e limpa. A energia renovável, atualmente, constitui 15% do conjunto global de energia;
- 2,5 bilhões de pessoas no mundo não têm acesso à saneamento básico e quase 800 milhões de pessoas não têm acesso à água;
- Metade da humanidade – 3,5 bilhões de pessoas – vive nas cidades atualmente. Em 2030, quase 60% da população mundial viverá em áreas urbanas;
- As cidades no mundo ocupam somente 2% de espaço da Terra, mas usam 60 a 80% do consumo de energia e provocam 75% da emissão de carbono. A rápida urbanização está exercendo pressão sobre a oferta de água potável, de esgoto, do ambiente de vida e saúde pública. Mas a alta densidade dessas cidades pode gerar ganhos de eficiência e inovação tecnológica enquanto reduzem recursos e consumo de energia. Cidades têm potencial de dissipar a distribuição de energia ou de otimizar sua eficiência por meio da redução do consumo e adoção de sistemas energéticos verdes. Rizhao, na China, por exemplo, transformou-se em uma cidade abastecida por energia solar. Em seus distritos centrais, 99% das famílias já usam aquecedores de água com energia solar;
- Se as pessoas usassem lâmpadas de baixo consumo, o mundo economizaria 120 bilhões de dólares anualmente.

### 2.3 VANTAGENS DE UM PROJETO SUSTENTAVEL

Segundo o Conselho Internacional da Construção (CIB), o setor da construção civil é a atividade exercida pelo homem que mais consome recursos naturais e mais se utiliza energia, o que acarreta em consideráveis impactos ambientais. Segundo o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável o setor da construção civil consome 75% dos recursos naturais, 20% da água, além de gerar 80 milhões de toneladas de resíduos por ano. Visto tamanha necessidade de se minimizar os impactos ambientais causado pela construção civil é consideravelmente claro as vantagens que um projeto sustentável traz para o nosso cenário atual.

É possível elaborar um projeto sustentável sem necessidade de um investimento financeiro alto e ainda obter bons resultados. Com a utilização das técnicas passivas da boa e velha arquitetura é possível aproveitar da luz natural, a ventilação natural, e fazer captação da água das chuvas, obtendo então eficiência energética e hídrica. Além disso, em um projeto sustentável pode ser adicionado o uso de novas tecnologias, como é o caso do uso de energia solar, uso de sistemas de automação, instalação de telhado verde, aplicação de materiais sustentáveis inovadores e outros. Além da aplicação desses recursos, o projeto sustentável também se preocupa com a redução do desperdício dos materiais durante o processo de construção. (SUSTENTARQUI, 2019). Em decorrência da aplicação desses recursos é possível listar algumas vantagens que esse tipo de projeto nos traz, como:

- Redução dos impactos ambientais;
- Benefícios econômicas, através da redução do consumo de água e energia;
- Apresenta conforto térmico, acústico e visual;
- Reaproveita e reduz desperdício de materiais;
- Melhora a saúde física e mental de quem habita;
- Promove a consciência ambiental.

## 2.4 ELABORAÇÃO DE UM PROJETO SUSTENTAVEL

Segundo o PMBOK “um projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo. Os projetos e as operações diferem, principalmente, no fato de que os projetos são temporários e exclusivos, enquanto as operações são contínuas e repetitivas”. Projeto é a criação ou transformação de um determinado produto ou serviço, com um ponto de partida e um ponto de chegada bem estabelecido. Cada projeto apresenta suas características únicas e exclusivas, entretanto os modos de execução e fabricação do

projeto são conhecidos e constantes. Não existe uma forma única de se executar um projeto, pois cada projeto possui sua peculiaridade, logo muitos serão os caminhos possíveis que te levarão para o ponto de chegada.

Segundo Oliveira (1992, p.56) eleger um projeto, entre tantos outros, e um caminho para sua realização, exige o reconhecimento tanto de suas potencialidades como de suas limitações. A liberdade do projetista possibilita a aceitação ou a negação e a recusa de determinados valores. O projeto, revela, assim, a finalidade de intervir ou transformar uma situação, em uma determinada direção, afim de que se concretizem algumas intenções. E como toda intenção, revela, de certa forma, o caráter e os valores de quem cria ou põe em pratica (ISOLDI, 2007).

Para o *Green Building Council of Australia* (GBCA, 2007) as edificações sustentáveis são aquelas que conseguem minimizar os impactos negativos ao meio ambiente e seus ocupantes, devido a uma integração eficiente entre projeto, execução e os processos de operações. Esta eficiência é analisada através de “estatísticas dirigidas a eficiência energética, redução da emissão de gases causadores do efeito estufa, conservação da água, redução, reuso e reciclagem de resíduos, preservação da poluição, redução do consumo de recursos naturais, produtividade e saudabilidade dos ambientes e flexibilidade e adaptabilidade dos espaços.” (FELIX, 2008).

A construção Sustentável trata-se de um conjunto de alternativas adotadas antes, durante e após a execução da obra, com o intuito de garantir economia financeira, utilização consciente dos recursos naturais, evitando a poluição e garantindo maior conforto e qualidade de vida para os moradores ou usuários da edificação. Sendo assim, na fase de projeto deve-se prever a utilização de recursos reciclados ou menos impactantes, assim como sua procedência, priorizando materiais, mão-de obra e fornecedores locais (FRANÇA, 2017).

O projeto tem como desafio o bem estar dos clientes e a preservação ambiental, assim pensando em menos desperdícios de matérias primas e principalmente no que a natureza oferece, priorizando poucos gastos de água, aproveitando energia eólica e solar, não acumulando lixos e sempre que possível fazer uma reutilização e reciclagem de materiais e embalagens.

Para elaborar um projeto sustentável muitas são as perspectivas analisadas, em prol disso Sattler (2004) indica alguns fatores essenciais que uma edificação sustentável deve priorizar, são elas:

- Os princípios da sustentabilidade devem orientar diretamente o processo de desenvolvimento do projeto;
- Uma abordagem sistêmica deve ser adotada;
- O processo deve considerar, tanto quanto possível, ciclos locais para o fluxo de materiais e energia envolvida;

- O projeto deve tentar refletir os processos que ocorrem na natureza e aplicar seus princípios (projetar com a natureza);
- Como o ser humano e a sustentabilidade humana se constituem no principal objetivo de cada projeto, o uso de produtos que sabidamente apresentam ameaça à saúde humana e ao meio ambiente, em qualquer etapa do ciclo de vida, deve ser eliminado, ou se isso não for possível, minimizado;
- Como a sustentabilidade humana requer a preservação da natureza, aquilo que se aplica aos humanos deve ser aplicado às milhares de outras espécies com quem compartilham este planeta.

Em 1922, McDonough já expressava um ponto de vista, cuja qual, se assemelha ao de Sattler (2004), pois indicava que o homem deveria ter responsabilidade em projetar com harmonia à natureza, pensando na viabilidade dos sistemas naturais e os seus direitos de coexistir. McDonough (2002, p.181) indica que o processo de mudança entre a arquitetura atual para a arquitetura sustentável necessita de tentativas e erros, somente através de empenho, tempo e recursos, será corporizada no cenário atual de modo íntegro.

## 2.5 PROJETOS SUSTENTAVÉIS NO BRASIL

### 2.5.1 Casa no litoral catarinense com uso sustentável da água e da energia

Esta casa localizada na região do Cacupé, em Florianópolis é um projeto do escritório Pimont Arquitetura. Este projeto proporciona um conjunto de rasgos verticais que ostenta uma bela visão da paisagem de morros verdes a sua frente, garantindo aos hospedes um melhor conforto visual, além de ventilação cruzada, que garante conforto térmico ao ambiente. Utilizando outras técnicas da boa e velha arquitetura o projeto também se preocupou em aproveitar o máximo da iluminação natural. Já a laje plana é utilizada para coletar a água da chuva, onde posteriormente esta água é filtrada e transferida para a cisterna, locada no subsolo. Nesta mesma laje são dispostos painéis fotovoltaicos que produzem 80% da energia elétrica consumida na casa, e coletores solares que interagem com o sistema de aquecimento de água (CASA VOGUE, 2018).

**Figura 1 - Fachada leste casa no litoral catarinense**



Fonte: CASA VOGUE, 2018.

**Figura 2 – Cobertura casa no litoral catarinense**



Fonte: CASA VOGUE, 2018.

### **2.5.2 Casa das Guaracemas**

Localizada em Jurerê Internacional (SC), a Casa das Guaracemas é um projeto assinado pelo arquiteto José Ripper Kós, cuja qual ganhou o primeiro prêmio da Saint-Gobain 2012, na modalidade edificação construída.

Esta casa premiada chama a atenção por suas inúmeras aplicações sustentáveis. Ela faz usos de brises de madeira que permite ventilação cruzada, aproveita a luz natural e ainda possibilita controlar a incidência da luz solar. Faz uso de materiais isolantes em estado natural que auxilia no conforto térmico, e conseqüentemente reduz o consumo de energia elétrica. Foi instalado na piscina um sistema de reuso de água, onde através de uma das suas bordas é

possível fazer a coleta da água quando a piscina transborda, logo esta água é armazenada e reutilizada nos vasos sanitário e também no jardim. Na sua cobertura foi instalado telhado verde - utilizando areia da região e plantas nativas - favorecendo conforto térmico e acústico. Nesta mesma cobertura é feito o uso de captação solar que supre 50% do consumo de energia elétrica da residência, além de captação para aquecimento da água. Por fim o arquiteto voltou sua atenção para a permeabilidade do solo, atingindo-a com instalação de decks, concregrama e jardim (GREENTOPIA, 2017).

**Figura 3 – Casa das Guaracemas**



Fonte: GREENTOPIA, 2017.

**Figura 4 – Piscina da casa das Guaracemas**



Fonte GREENTOPIA, 2017.

### 2.5.3 Casa Viva – Projeto de Casa Container

No ano de 2016, o escritório Todos Arquitetura foi desafiado pela empresa Leroy Merlin a criar uma proposta arquitetônica com o objetivo de mostrar aos seus clientes soluções arquitetônicas em um projeto sustentável. Todos Arquitetura realizou a Casa Viva – Projeto de casa container, um projeto que apesar de simples se mostrou econômico, criativo e sustentável.

O destaque desse projeto é o reuso de containers, estes formam na casa sua estrutura, favorecendo a conscientização coletiva, redução do descarte desse resíduo, e minimizando os impactos ambientais. Alguns ambientes foram delimitados com cobogós e estão dispostos de forma que valorize a iluminação e ventilação natural. Na sua cobertura foi instalado um sistema de captação de água da chuva, aquecedor solar e sistema autossuficiente de iluminação para o jardim (Melo, 2017).

**Figura 5 – Casa Viva**



Fonte: LEROY MERLIN, 2016.

**Figura 6 – Varanda Casa Viva**



Fonte: LEROY MERLIN, 2016.

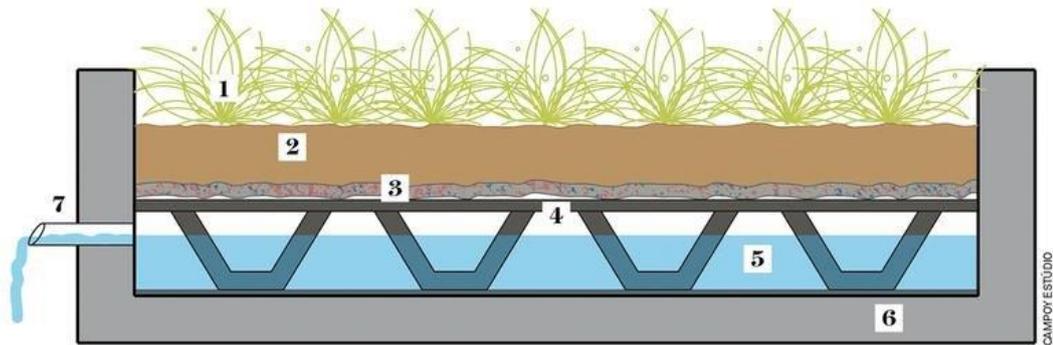
## 2.6 TELHADO VERDE

### 2.6.1 Contextualização

O Um planejamento urbanístico sustentável pode ser uma solução de pautas na economia de energia, racionalidade do consumo, redução das emissões de poluentes e na manutenção do ciclo hidrológico local otimizando assim todo o sistema executado (OLIVEIRA, 2009).

Os telhados verdes, ecotelhados, coberturas vivas ou coberturas verdes são estruturas que tem como principais características a vegetação aplicada nas superfícies das edificações, tendo como objetivo uma melhor impermeabilização e drenagem. É composta por uma camada de vegetação, uma de substrato e uma camada responsável pelo descarte racional da água (RIGHI, 2016).

**Figura 7 – Ecotelhado com suas respectivas camadas**



1. Vegetação 2. Substrato 3. Membrana de absorção 4. Módulo laminar  
5. Reservatório de captação de chuva 6. Impermeabilização 7. Dreno

Fonte: ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO, 2018.

É uma alternativa sustentável para as obras, sendo pouco explorado como opção nas construções brasileiras, o telhado verde vem oferecendo qualidade para as construções, apresentando benefícios termo acústico promovendo ambientes mais agradáveis reduzindo também o consumo de energia elétrica. Se apresentando assim, como uma boa alternativa de conforto e consciência com o meio ambiente.

Segundo Righi, (2016) o telhado verde não é uma estrutura independentemente do restante da construção, sendo recomendado a execução de sub-telhado, como apoio. Tendo o sub-telhado função igual ao telhado convencional que pode ser de fibrocimento, telha metálica, laje de concreto impermeabilizada, telha cerâmica ou geomembrana de PEAD (Polietileno de alta densidade).

### 2.6.2 Classificação

Neste estudo o telhado verde será classificado em duas formas sendo elas: a inclinação do telhado ou características da camada de substrato, tipo de vegetação e suas necessidades quanto a manutenção. De acordo com sua inclinação, serão três classificações: planas, inclinação moderada e inclinação acentuada.

**Quadro 1: Classificação de Telhado Verde Quanto a Inclinação.**

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>	<b>INCLINAÇÃO</b>
Plano	Até 5%
Inclinação Moderada	De 5% até 35%
Inclinação Acentuada	De 35% até 84%

Fonte: ADAPTADO DE NETO (2012).

Telhado verde extensivo é uma solução mais simplificada, composto na sua maioria por plantas de pequeno porte e rasteiras, sendo necessária menor camada de substrato e menos demanda de serviços de jardinagem em geral. É o tipo de cobertura de menor valor agregado.

Os telhados verdes intensivos tem uma marcante característica ser uma opção mais pesada e complexa, onde permite maior viabilidade de quantidade e variedade de plantas, tendo assim sua carga aumentada, suportando árvores de médio e grande porte. Demandam também maior quantidade de substrato e maior manutenção do jardim. É a solução de maior custo (PAIVA, 2018).

Semi-extensivos, é uma categoria intermediária entre a intensiva e extensiva, tendo o responsável pela obra a opção de plantas um pouco maiores que e extensiva, porém impactando em maior custo, manutenção e peso na estrutura. O Quadro 2 irá demonstrar as características de cada cobertura.

**Quadro 2: Classificação de Telhado Verde quanto à Intensidade.**

<b>ITENS</b>	<b>EXTENSIVO</b>	<b>SEMI-EXTENSIVO</b>	<b>INTENSIVO</b>
Manutenção	Baixa	Periodicamente	Alta
Irrigação	Não	Periodicamente	Regularmente
Plantas	Sedum, ervas e gramíneas.	Gramados, ervas e arbustos.	Gramados, arbustos e árvores.
Altura do Substrato	6 – 20 cm	12 – 25 cm	15 – 40 cm
Peso	60 – 150 kg/m <sup>2</sup>	120 – 200 kg/m <sup>2</sup>	180 – 500 kg/m <sup>2</sup>
Custo	Baixo	Médio	Alto
Uso	Jardim e gramado.	Jardim e Parque.	Parque, árvores e arbustos.

Fonte: ADAPTADO DE BIOCLIMATISMO (2016).

### 2.6.3 Sistemas de Coberturas Verdes

Após estudos realizados por estudiosos do mundo todo, novas técnicas de execução foram desenvolvidas, nos levando aos sistemas. Segue a disposição de alguns sistemas desenvolvidos.

### 2.6.3.1 Sistema contínuo

O sistema mais conhecido é chamado de contínuo ou completo, confeccionado sobre uma estrutura pré-existente já impermeabilizada, devendo ser previamente desenvolvida para suportar a sobrecarga acidental que será gerada. Estruturas essas que podem ser uma laje de concreto, tabulado de madeira ou telhas metálicas, tendo um projeto de drenagem para as águas das chuvas. São as seguintes camadas que compõem o sistema contínuo:

#### 2.6.3.1.1 Camada de impermeabilização:

Responsável pela proteção a estrutura das águas, tendo a principal função de estanqueidade de todo o sistema. Nessa parte da execução a aplicação do sistema deverá ser realizada com cuidado, qualquer falha nessa etapa do processo poderá causar patologias. O usual nessa etapa de impermeabilização é a manta asfáltica e manta de PCV (PAIVA, 2018).

**Figura 8 – Aplicação Manta Asfáltica**



Fonte: MASTER HOUSE, 2020.

### 2.6.3.1.2 *Camada drenante*

O escoamento da água, é usado brita ou argila expandida. Materiais que tem origem mineral com o canto arredondado também poderá ser usado, sendo arredondado exatamente para não prejudicar a camada de impermeabilização. Placas drenantes poderão ser utilizadas, tendo a função de armazenagem da chuva.

**Figura 9 – Camada de argila expandida**



Fonte: M2 ARQUITETURA INTERIORES & SUSTENTABILIDADE, 2018.

### 2.6.3.1.3 *Camada filtrante*

Elemento da estrutura verde que tem a função de dividir o substrato da camada drenante impedindo assim a transposição de raízes que podem afetar a base. Manta geotêxtil é o material mais comum nessa fase de aplicação. Exerce a função de filtragem, retendo pequenas partículas não obstruindo a passagem da água.

**Figura 10 – Camada Filtrante**

Fonte: M2 ARQUITETURA INTERIORES & SUSTENTABILIDADE, 2018.

#### 2.6.3.1.4 *Camada de substrato*

Trata-se da mistura dos componentes orgânicos e inorgânicos que tem a função de manter condições favoráveis para o desenvolvimento da vegetação, levando os nutrientes necessários, umidade e aeração, e suporte das raízes tendo a protegê-las contra a ação do vento. A composição e a espessura da camada de substrato escolhida devem ser compatíveis as particularidades das plantas. Uma cobertura extensiva, por exemplo, não precisa que a camada de substrato seja muito espessa e também os substratos muito ricos em nutrientes não contribuem tanto, visto que aceleram o crescimento da vegetação (PAIVA, 2018).

**Figura 11 – Camada de Substrato**

Fonte: M2 ARQUITETURA INTERIORES & SUSTENTABILIDADE, 2018.

### 2.6.3.1.5 *Camada vegetal*

Plantas escolhidas de acordo com o projeto do telhado, sendo considerado o projeto previamente realizado. Quanto a execução de projeto deverá ser observado o clima, e índices pluviométricos e solares na região de realização da obra, as plantas nativas são as mais recomendadas. No telhado da foto a seguir a gramínea é a planta principal.

Na seleção das plantas algumas variáveis devem ser observadas dentre elas está condições climáticas do local, mão de obra disponível para manutenção para que haja maximização nas condições de aparência previamente planejada. É desejável a escolha de plantas de baixo custo e de boa resistência aos extremos da seca. Segundo Almeida (2008) para coberturas extensivas serão principalmente usadas as Sedum, Sempervivum e Saxifraga.

**Figura 12 – Telhado Verde**



Fonte: M2 ARQUITETURA INTERIORES & SUSTENTABILIDADE, 2018.

### 2.6.3.2 Cobertura Verde Extensiva

Plantas da cobertura Verde extensiva terá que ser resistente à intensa radiação solar, ventos, falta de chuva, pouco suprimento em nutrientes, baixas temperaturas e pouco espaço para raízes. Variedade de plantas que crescem em severas localizações com escassez de nutrientes e baixa umidade, como, montanhas secas, costas, semidesertos ou secos prados. Principais variedades são as Sedum, Sempervivum e Saxifraga; todas pertencentes às espécies suculentas, como a família Crassulaceae, possuem metabolismo ácido, sendo uma via metabólica para a síntese dos carboidratos. Resumindo as plantas abrem seus estomas no

período noturno, absorvendo dióxido de carbono, armazenando com a forma de ácido málico. No período diurno, tendo a incidência de luz solar, o ácido málico sofre reações e é transformado em glicose (ALMEIDA, 2008).

#### 2.6.3.3 Cobertura Verde Intensiva

A partir de um apropriado sistema de cobertura vegetal, já desenvolvido e com suficiente crescimento médio, tendo raízes de maior volume de penetração, rica em nutrientes e água, facilita a formação de novas plantas mais desenvolvidas. Plantas selecionadas devem ser resistentes à radiação solar e ventos fortes. Optando pela ampla variedade de plantas naturalmente aumentará a quantidade de manutenção necessária.

#### 2.6.4 Manutenção e Suporte:

Quanto à manutenção é importante assegurar a funcionalidade quanto a estética da cobertura verde. A manutenção verde é dividida em três estágios, sendo eles:

- **Manutenção de Instalação:** o primeiro ano é crucial para o sucesso da “pega” bem sucedida nas plantas já plantadas nos locais previamente estabelecidos. É de extrema importância ter água suficiente para suprir as estações do ano com escassez de água. Se houver necessidade replantar devido plantas faltando ou morrendo por ervas daninhas é a saída para resolução do problema.
- **Desenvolvimento da manutenção:** para melhor suporte da manutenção, essa manutenção deverá ser igual a da manutenção, porém com menor intensidade.
- **Manter-se a manutenção:** após o pleno desenvolvimento das plantas, a cobertura vegetal necessitará de uma manutenção mais detalhada uma ou duas vezes ao ano. Retirando as ervas daninhas e aparando o perímetro da cobertura verde. No caso de gramíneos, deverá ser removido uma vez por ano. Telhados extensivos demandam maior manutenção no decorrer do ano.

##### 2.6.4.1 Retenção de água

Com a alta capacidade de retenção de água e o atraso no escoamento, a cobertura verde reduz a quantidade de água dentro do sistema de tubulação. Quantidade de água retida depende da capacidade máxima de retenção. Água escoada coeficiente específico do volume

de água retida pela superfície verde em relação ao total de água precipitada e da água escoada. A importância de se ter esse dado é que se no caso de houver subsídios municipais o telhado possa ser utilizado para esse fim (ALMEIDA, 2008).

### **3 PROJETO ESTRUTURAL**

Segundo (CRUZ, 2017) o projeto estrutural é o resumo detalhado de uma estrutura previamente dimensionada que seguirá diretrizes de um desenho de arquitetura, sendo adequados as normatizações vigentes, realizando análises dos esforços aplicados no conjunto final da arte “edificação”, que serão capazes de transmiti-los ao solo com segurança.

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014 – “Projeto de estruturas de concreto”, o projetista deverá atentar-se aos requisitos de qualidade impostos às estruturas de concreto, atendendo assim o projeto aos requisitos previamente estabelecidos em normas.

O objetivo do projeto é minimizar patologias futuras, e a execução da obra deverá sempre estar respeitando todo o projeto arquitetônico, estrutural, elétrico e hidrossanitário. Quanto a realização do projeto estrutural, deverão ser discutidas todas as tomadas de decisões com o elaborador do projeto arquitetônico, visando sempre a segurança do empreendimento.

#### **3.1 DESENVOLVIMENTO PROJETO ESTRUTURAL**

O projeto estrutural tem sua base no projeto arquitetônico, para a determinação de localização de vigas, pilares e outros elementos que fazem parte da estrutura, realizando a confecção de pré-dimensionamento sempre buscando atender as dimensões estéticas e limites da arquitetura, respeitando o desenho. Também é considerado, os níveis indicados na planta, realizando diretrizes das alturas dos elementos estruturais, os tamanhos de vãos das vigas e das lajes, direção dos pilares e também a interferência dos projetos elétrico e hidrossanitário (CRUZ, 2017).

Recomendações da literatura técnica NBR 6118:2014, indica que os critérios e parâmetros adotados pelo projeto deverão atender as condições mínimas de segurança estrutural. Sendo assim o projeto arquitetônico deve ser coerente com situações onde a execução do projeto estrutural seja viável e possível, no qual a arquitetura do empreendimento não se sobreponha a segurança da estrutura. Agora, considerando a estética da edificação, é preferível que os elementos estruturais fiquem embutidos nas alvenarias, mas sem causar prejuízos a eficiência da estrutura.

Um projeto estrutural é desenvolvido em quatro etapas:

- **Concepção estrutural:** Fase destinada a definir e lançar os elementos estruturais, definir os materiais, pré-dimensionar os elementos, e determinar as cargas que atuarão sobre a estrutura;
- **Análise estrutural:** Calcular os efeitos das cargas atuantes na estrutura, para obter deslocamentos e esforços nos elemento estruturais;
- **Dimensionamento e detalhamento:** Dimensionar e detalhar as seções e armaduras de todos os elementos estruturais através dos resultados obtidos na fase anterior;
- **Emissão de plantas:** Elaborar especificações de projetos e quantitativos de materiais é recomendado o uso de desenhos e tabelas.

## 3.2 CONCEITO DO CONCRETO

De acordo com as afirmativas de Oliveira (2016), o concreto é definido como um componente duro, condensado, tendo sua composição formada na maioria dos casos pela mistura de cimento, areia, pedra britada e água. O concreto também é considerado um material resultante da união entre pasta e fragmentos de agregados.

### 3.2.1 Características do concreto

O concreto é um produto utilizado na construção vindo da mistura adequada dos compostos: água, agregados e aglomerados.

- **Água:** é um importante componente do concreto, e tem as funções de gerar reação de hidratação no cimento e facilitar a trabalhabilidade do concreto. O resultado é o endurecimento do concreto e viabilidade em executar a estrutura.

**Figura 13 – Aplicação de água no concreto**



Fonte: MAPA DA OBRA, 2016.

- Aglomerantes: Quando utilizado no concreto possui função de unir os materiais, e quando misturado com água endurece rapidamente. Na maioria das construções brasileiras é utilizado o cimento Portland.

**Figura 14 – Cimento Portland**



Fonte: BLOK, 2019.

- Agregados: Partículas minerais que quando adicionado a mistura aumenta o volume, tendo uma das suas funções de reduzir os custos. Diferem-se em dois grupos distintos quanto à sua granulometria:
  - Agregado miúdo: Entre 0,075mm e 4,8mm. Exemplo: areias.

**Figura 15 – Agregado miúdo**



Fonte GLBTRANSPORTES, 2020.

- Agregado graúdo: maior que 4,8mm. Exemplo: pedras.

**Figura 16 – Agregado graúdo**



Fonte PEDREIRAEXPRESSA, 2020.

Através da aplicação destes materiais é possível criar a pasta, a argamassa, o concreto simples e o concreto armado, caso nessa última situação seja acrescentado aço na estrutura. Araújo (2014) destaca também, a possibilidade de uso de aditivos químicos e adições minerais com intuito de melhorar algumas propriedades do concreto.

- Pasta: Resultado da mistura entre cimento e água. Quando há água demasiada na mistura, denomina-se nata.
- Argamassa: É o resultado da mistura do cimento, água e agregado miúdo, resumindo é a pasta com agregado miúdo.

- Concreto simples: Tem em sua formação cimento, água, agregado miúdo e agregado graúdo, o que equivale a mistura da argamassa com o agregado graúdo. Apresenta boa resistência a compressão, porém baixa resistência a tração.
- Concreto armado: É a junção do concreto com armadura de aço, tendo como as principais funções a resistência aos esforços solicitantes e auxílio as vedações do meio “externo-interno” das edificações.

### 3.3 ELEMENTOS ESTRUTURAIS

#### 3.3.1 Laje

Lajes têm como características principais serem horizontais e planas, sendo resistente as forças normais aplicadas no plano, em alguns casos também resistentes a compressão, sendo essas consideradas estruturas em lajes especiais e também pouco convencionais.

A laje adotada em projetos deve ser adequada a região de execução da obra, atendendo assim todas as demandas. A escolha quanto ao tipo de laje a ser adotado é uma opção do cliente, arquiteto e calculista estrutural, por isso não existe uma definição de modelo de laje a ser usada, sendo a sistemática mais adequada e econômica (CRUZ, 2017).

Para cargas aplicadas em laje, deve ser considerado móveis, objetos, pessoas por m<sup>2</sup>, paredes e divisórias de cômodos, piso, contrapiso e o peso da laje. O carregamento do próprio peso é em geral aderido como carga distribuída uniformemente ao longo de toda a laje, encontrado a partir da equação determinada pela altura da laje e o peso específico do concreto armado (CRUZ,2017).

$$\text{Peso próprio da laje} = \text{Altura da laje} * \text{Peso específico do concreto armado}$$

##### 3.3.1.1 Tipos de laje

###### 3.3.1.1.1 Laje maciça

Segundo Bastos (2015), as lajes maciças são aquelas fabricadas in loco, em que toda a sua espessura é composta por concreto e malhas metálicas distribuídas em toda a superfície longitudinal da laje. Para a sua fabricação é utilizado formas de madeira compensada, onde é posicionado a armadura e lançado o concreto.

As vantagens deste tipo de laje se concentram na facilidade de execução e acabamento, além de resultar em dimensionamento com espessura pequena, variando entre 7 e 15 cm.

**Figura 17 – Laje Maciça**



Fonte: ATEX, 2017.

#### 3.3.1.1.2 *Laje nervurada*

De acordo com o item 14.7.7 da NBR 6118:2014, lajes nervuradas são aquelas “lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos esteja localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte.”

Este tipo de laje necessita de forma específica para moldar as nervuras. Estas nervuras removem o concreto desnecessário da camada de tração, gerando uma estrutura mais leve e conseqüentemente mais econômica.

**Figura 18 – Laje Nervurada**



Fonte: ATEX, 2017.

### 3.3.1.1.3 Laje treliçada

Bastos (2015) destaca que as lajes treliçadas foram desenvolvidas na Europa com o propósito de se tornarem mais viáveis economicamente, comparada a laje mais usual da época, a laje maciça.

A laje treliçada é composta por treliças armadas que são distribuídas espaçadas paralelamente no vão, os espaços vagos deixados pelas treliças são preenchidos por lajotas ou EPS (Poliestireno Expandido), que por fim recebem camada de concreto e armação complementar. Durante dimensionamento da laje treliçada pode ser verificada necessidade de acrescentar armadura positiva para resistir a tração resultante dos momentos negativos. O material adotado para encher o espaço vago não tem função estrutural, apenas de enchimento. Logo, por aplicar materiais leves no seu enchimento, a laje treliçada possibilita vencer grandes vãos com um menor peso próprio, minimizando sobrecarga na estrutura da edificação.

A laje treliçada é comercializada de acordo com o beta dimensionado em projeto. O beta representa a espessura final da laje, considerando altura do enchimento e camada de concreto.

**Figura 19 – Laje Treliçada**



Fonte: ATEX, 2017.

### 3.3.2 Viga

A NBR 6118:2014 no item 14.4.1 descreve as vigas como elementos lineares cuja o comprimento longitudinal ultrapassa três vezes a maior dimensão da seção transversal. O tópico 14.4.1.1 destaca que é predominante nas vigas a deformação por flexão. As vigas são responsáveis por apoiar as lajes, recebendo as ações desta através de cargas distribuídas,

podem também apoiar outras vigas, quando em um determinado encontro não é utilizado pilar, passando a receber uma carga concentrada (ADÃO, HEMERLY, 2010).

Para determinar a carga que a viga irá receber é necessário fazer somatório considerando o peso próprio da viga, as cargas de parede, cargas oriundas das lajes, cargas concentradas caso o encontro seja com outra viga e em alguns casos carga de pilar, caso esta seja uma viga de transição (ADÃO, HEMERLY, 2010).

Viga de transição é uma viga que recebe um ou mais pilares e transmite estas cargas para outros pilares. Na prática, é uma viga cada vez mais usada e deve ser evitada, quando possível, tendo em vista que é geralmente muito alta, causando problemas para o cálculo da estrutura e para o projeto de arquitetura (RABELO, 2012).

A dimensão mínima da viga estabelecido pela NBR 6118: 2014 no tópico 13.2.2, determina 12 cm para a menor base ( $b_w$ ) e 15 cm caso seja viga-parede. A altura deve ser definida de acordo com o cálculo da estrutura.

### 3.3.3 Pilar

A NBR 6118:2014 no item 14.4.1.2 descreve os pilares como elementos lineares de eixo reto, locados habitualmente na vertical e submetidos as forças normais de compressão. Caso a maior seção do pilar exceda 5 x a dimensão da menor seção ele é denominado como pilar parede e deve seguir as orientações destacada no tópico 18.5 da norma.

O tópico 13.2.3 da NBR 6118:2014 orienta que a menor dimensão para a seção transversal do pilar seja de 19 cm. Em casos especiais é possível reduzir esta seção até 12cm deste que seja adicionado o coeficiente “ $\gamma_n$ ” para multiplicar as ações apontadas em projeto. A NBR 6118:2014 desenvolveu uma tabela (figura 20) para evidenciar os valores do coeficiente  $\gamma_n$  para as determinadas circunstâncias. Apesar de possibilitar este ajuste especial, a norma afirma com tenacidade que não permite área de seção transversal inferior a 360 cm<sup>2</sup>.

**Figura 20 – Valores do coeficiente adicional  $\gamma_n$**

$b$ cm	$\geq 19$	18	17	16	15	14	13	12
$\gamma_n$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35

Onde:  
 $\gamma_n = 1,95 - 0,05 b$ ;  
 $b$  é a menor dimensão da seção transversal do pilar.  
 NOTA O coeficiente  $\gamma_n$  deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo nos pilares, quando de seu dimensionamento.

Fonte: NBR 6118:2014, 2014.

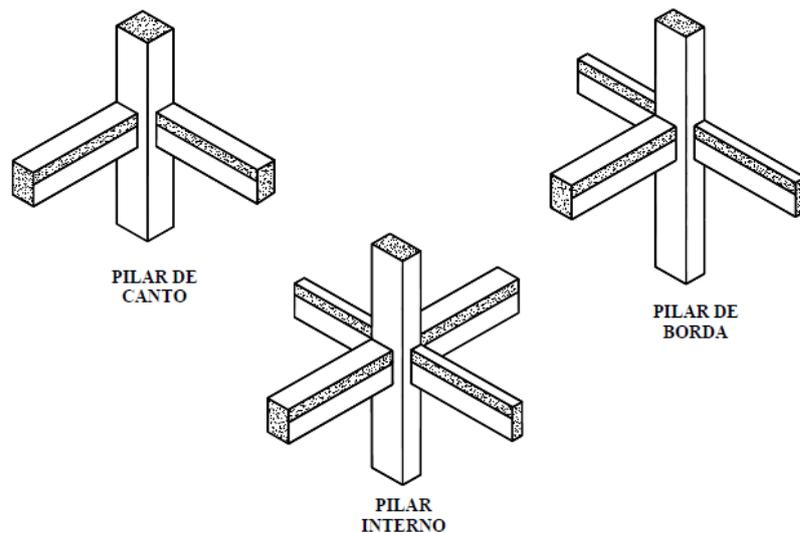
Para dimensionar os pilares é necessário analisar os esforços externos que ele está submetido, sendo ocasionado por forças normais, momentos fletores e forças cortantes, em decorrência das cargas de lajes, vigas e ações do vento (ADÃO, HEMERLY, 2010).

### 3.3.3.1 Pilares Internos, de borda e de canto

Quando considerados internos os pilares admitirão compressão simples, em que as excentricidades iniciais serão desprezadas. Já quando falamos de pilares de borda, solicitações iniciais correspondem a flexão composta normal, sendo neste caso permitida a excentricidade inicial em apenas uma direção. Quando usamos os pilares de canto a flexão é oblíqua, sendo nesta situação as excentricidades ocorrendo nas direções das bordas (SCADELAI. 2005).

Demonstrativo de tipos de pilares nas figuras a seguir:

**Figura 21 – Classificação quanto às solicitações iniciais**



Fonte: UNICAMP, 2005.

### 3.3.4 Fundação

Os elementos da fundação são responsáveis por receber toda a carga da edificação e transmiti-la ao solo. A fundação deverá possuir resistência suficiente para manter a estabilidade da estrutura evitando danos como torções, rupturas, rachaduras e trincas ou danos mais graves e irreversíveis ao longo do período que deveria ser a vida útil da estrutura.

Inúmeros aspectos são de relevância quanto a escolha do tipo de fundação ideal, por exemplo, características do solo, topografia, tipo de estrutura a ser executada, as estruturas

vizinhas ao novo empreendimento projetado, etc. Afirmativas de (TORRES, 2017), indicam que as fundações quando bem projetadas correspondem de 3% a 10% do custo total do empreendimento, contudo se mal projetado esse valor pode ser de 5 a 10 vezes maior da estrutura apropriada.

#### 3.3.4.1 Tipos de fundação

Existem vários tipos de fundação e a escolha do tipo a ser implementado no projeto é apontado de acordo com os resultados obtidos na sondagem do terreno. A sondagem do terreno tem a função de analisar as características do solo, como sua resistência a esforços, coesão e nível da água, e então o definir como bom ou ruim para enfim determinar a fundação ideal. A fundação ideal é aquela que demonstra eficiência, estabilidade e economia (ADÃO, HEMERLY, 2010).

Os tipos de fundação mais utilizados são as sapatas, estacas e os blocos. A NBR6122/1996 diz que as sapatas são “elemento de fundação superficial de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração nele produzidas não sejam resistidas pelo concreto, mas sim pelo emprego da armadura. Pode possuir espessura constante ou variável, sendo sua base em planta normalmente quadrada, retangular ou trapezoidal.” E os blocos como “elemento de fundação superficial de concreto, dimensionado de modo que as tensões de tração nele produzidas possam ser resistidas pelo concreto, sem necessidade de armadura. Pode ter suas faces verticais, inclinadas ou escalonadas e apresentar normalmente em planta seção quadrada ou retangular.”

Quando falamos dos elementos de fundações profundas se resume a transferência a carga ao terreno pela base ou pela transferência da superfície lateral ou ainda uma combinação das duas. A estaca é um elemento de fundação profunda, sua execução é feita exclusivamente por equipamentos específicos para essa aplicação, é evitado ao máximo a descida de pessoas. Quanto aos materiais aplicados são os seguintes: madeira, aço, concreto pré-moldado “in loco” ou pela combinação dos anteriores (MARAGON 2018).

**Figura 22 – Estaqueamento de fundações**



Fonte: BIANCO FUNDAÇÕES, 2020.

#### **4 ORÇAMENTO**

Segundo (SANTOS, 2012) a evolução da engenharia civil, fez surgir a necessidade de ser feito o levantamento monetário que envolve a construção civil estimando custos dos materiais, mão de obra, custos diretos e custos indiretos relacionados em cada empreendimento. Orçamento na construção tem o objetivo realizar um levantamento minucioso dos preços de todos os insumos integrantes de obra reduzindo assim as incertezas nas tomadas de decisões. Quando uma construtora presta serviço para órgãos públicos há a necessidade de participação em licitação. O preço proposto pela construtora não pode ser tão baixo, que não se possa realizar o empreendimento e nem tão alto a ponto de não ser ganhador. A avaliação do edital do objeto a ser licitado é de suma importância de modo a auxiliar no planejamento orçamentário com o objetivo de atingir as metas, procurando garantir maior competitividade no processo licitatório.

Toda análise orçamentária tem como base o princípio da atenção aos detalhes de todo o processo, sendo assim um gerenciamento dos passos da obra, dos projetos, planilhas orçamentarias, tanto analítica quanto as sintéticas, identificação dos itens de maior relevância na curva ABC e também ao cronograma físico-financeiro da obra.

O processo de gerenciamento é embasado no controle de orçamento de custos. Dois fatores importantes são o gerenciamento do tempo e do escopo, sem esquecer de outras seis gerencias que são importantes no processo gerencial: integração, comunicação, riscos,

aquisições, pessoal e qualidade. O orçamento é uma ferramenta fundamental, indicando os planos e metas traçadas em projeto pelos responsáveis a fim de dirimir os desperdícios da obra (ROCHA, 2010).

O orçamento deve ser um conjunto de objetivos empresariais, buscando sempre a perfeição no plano e controle dos resultados na obra. Portanto, é válido ressaltar que o orçamento não é limitado em apenas orientar os acontecimentos da obra, mas também para o controle ao término da execução do empreendimento.

#### 4.1 A IMPORTÂNCIA DO ENGENHEIRO CIVIL NO ORÇAMENTO

O engenheiro responsável deve avaliar o projeto e nortear os valores que irão compor a planilha orçamentaria e os itens e insumos que irão compor a execução da obra. É de responsabilidade do engenheiro analisar a área em que será executada a obra e as condições, e quais as especificidades contidas no projeto (SANTOS, 2012).

É imprescindível a presença do profissional de engenharia civil no processo de elaboração do orçamento de obras civis, após a análise dos projetos que serão disponibilizados. Os detalhes em números serão indicados por etapas, indicando o processo de execução.

##### 4.1.1 Tabela de composição de preço para orçamento

A tabela de composição de preços para orçamento (TCPO) é uma base para orçamento de construção, planejamento e controle de obras. É na TCPO que encontramos os parâmetros de quantitativos, produtividade e consumo das principais composições utilizados na construção civil. Para esclarecer melhor, segue um exemplo prático do orçamento de parede de blocos de concreto 14x19x19 cm, com 5 metros de comprimento e 3 metros de altura, correspondente a 15 m<sup>2</sup>, tendo base a TCPO (SANTOS, 2012).

**Quadro 3: Composição de preço para orçamento**

INSUMOS	CONSUMO	UNIDADE	PREÇO (P)	SUBTOTAL
Pedreiro	0,92	H	R\$ 4,65	R\$ 4,28
Servente	1,10	H	R\$ 3,81	R\$ 4,19
Areia	0,023	m <sup>2</sup>	R\$ 79,20	R\$ 1,82
Cal Hidratada	4,14	Kg	R\$ 0,34	R\$ 1,41
Cimento	3,24	Kg	R\$ 0,37	R\$ 1,20
Bloco de concreto 14x19x19 cm	13	UN	R\$ 1,92	R\$ 24,96
Leis Sociais			120%	R\$ 10,16
Benefícios e Despesas Indiretas			20%	R\$ 12,00
TOTAL (por m <sup>2</sup> )				R\$ 60,02
Parede com 15m <sup>2</sup> (3x5m)				R\$ 900,37

Fonte: SANTOS, 2012.

Segundo afirmativas de (SANTOS, 2012) existem outras formas além da TCPO de realizar levantamentos orçamentários, tabelas oficiais que são disponibilizados por órgãos governamentais, como Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE), Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) disponibilizado pela Caixa Econômica Federal, AGETOP (Agência Goiana de Transporte e Obras) disponibilizada pelo estado de Goiás e SBC (Sistema Boletim de Custos) disponibilizada por uma empresa privada que organiza suas composições de acordo com o decreto 92.100 que dispõe sobre a cronologia para orçamentação de obras.

## 5 ESTUDO DE CASO

Este estudo tem como finalidade analisar o impacto que a sobrecarga do telhado verde gera na estrutura de um edificação, examinando a viabilidade econômica da implantação desta cobertura.

Apresentada na figura 23, a planta baixa do projeto arquitetônico exhibe uma casa térrea unifamiliar de médio padrão com 224,29m<sup>2</sup> de área construída, sendo constituída com uma ampla garagem, sala de TV compartilhada à sala de estar, cozinha, área gourmet, dois quartos, uma suíte com closet, despensa, área de serviço, banheiro social e área destinada para sanitário. O projeto ainda apresenta área externa reservada para piscina e *deck* permeável. O projeto arquitetônico utilizado para o estudo de caso foi desenvolvido pelos autores da monografia em parceria com o Engenheiro Civil Alex Modesto. O projeto em questão está em processo de estudo e análise por parte dos proprietários.

**Figura 23 – Planta Baixa do estudo de caso**



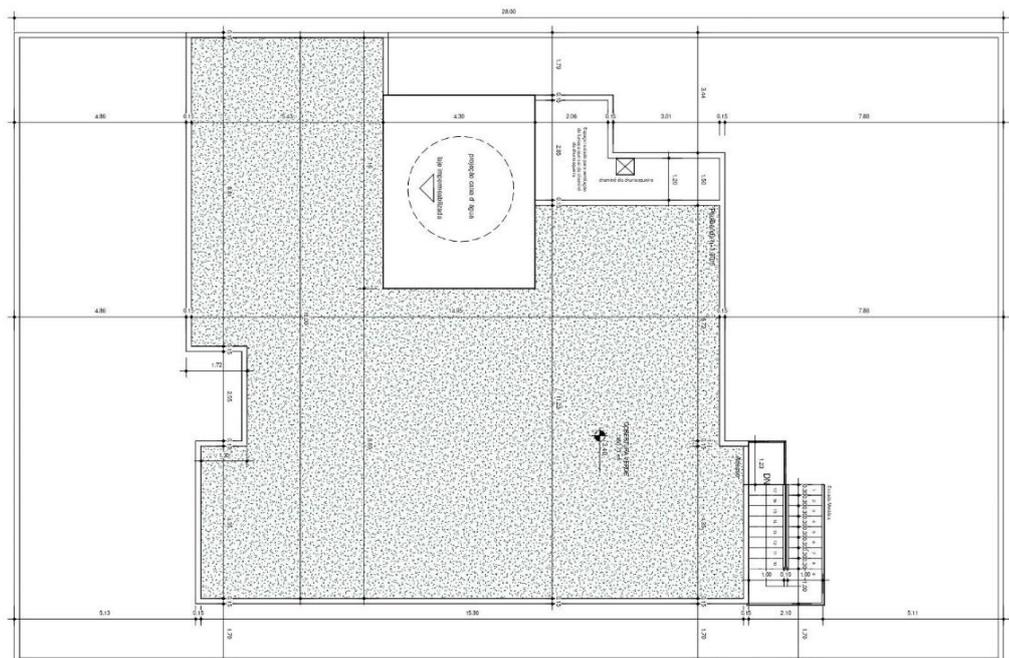
Fonte: Próprios autores, 2020.

### 5.1 PROPOSTAS

Para a análise estrutural desta planta são apresentados 3 propostas, sendo uma proposta com telhado convencional e outras duas propostas com telhado verde. Cada telhado proposto apresenta sua particularidade, sendo necessário analisar seu custo de implantação e o impacto que a sobrecarga de cada telhado gera no custo da estrutura.

- Proposta 1 - Telhado embutido convencional: Cobertura usual composta por telhas de fibrocimento 6mm, distribuídas em quedas de 2 águas, com inclinação de 8% em uma área total de 200,31m<sup>2</sup>.
- Proposta 2 - Telhado verde com camada drenante feita por argila expandida: Telhado verde que tem como característica a Argila Expandida desempenhando o papel de camada drenante. Nessa proposta a cobertura verde se tornará acessível ao público e a casa receberá um novo ambiente, o terraço. O terraço terá acesso pelo fundo da casa através de uma escada metálica que deverá ser instalada no local, conforme é apresentado na figura 24. O telhado verde ocupará uma área de 188,77m<sup>2</sup>, ou seja 11,54m<sup>2</sup> à menos que na proposta 1, pois para que se preserve a vegetação e as pessoas que circulam no terraço, o espaço (de 11,54m<sup>2</sup>) localizado próximo a chaminé da churrasqueira deverá ser isolado devido a fumaça que sairá em decorrência da utilização dessa. O espaço isolado não receberá a cobertura verde e por isso a laje deverá ser impermeabilizada neste local.

**Figura 24 – Planta de Cobertura do estudo de caso**



Fonte: Próprios autores, 2020.

As camadas do telhado verde na proposta 2 são compostas por:

- Camada impermeabilizante – Manta asfáltica;
  - Camada drenante – Argila expandida (espessura de 7 cm);
  - Camada filtrante e anti-raízes – Manta geotêxtil Bidin;
  - Substrato – Terra vegetal (espessura de 6 cm);
  - Vegetação – Grama esmeralda.
- 
- Proposta 3 - Telhado verde com camada drenante feita por brita 02: Telhado verde que tem como característica a Brita 02 desempenhando o papel de camada drenante. Nessa proposta a cobertura verde também se tornará acessível ao público através da criação do espaço do terraço, a qual também prevê instalação de uma escada metálica para acesso, a mesma escada apresentada na figura 2. Além disso, também é necessário isolamento do local próximo a chaminé da churrasqueira e cuidados com impermeabilização do local.

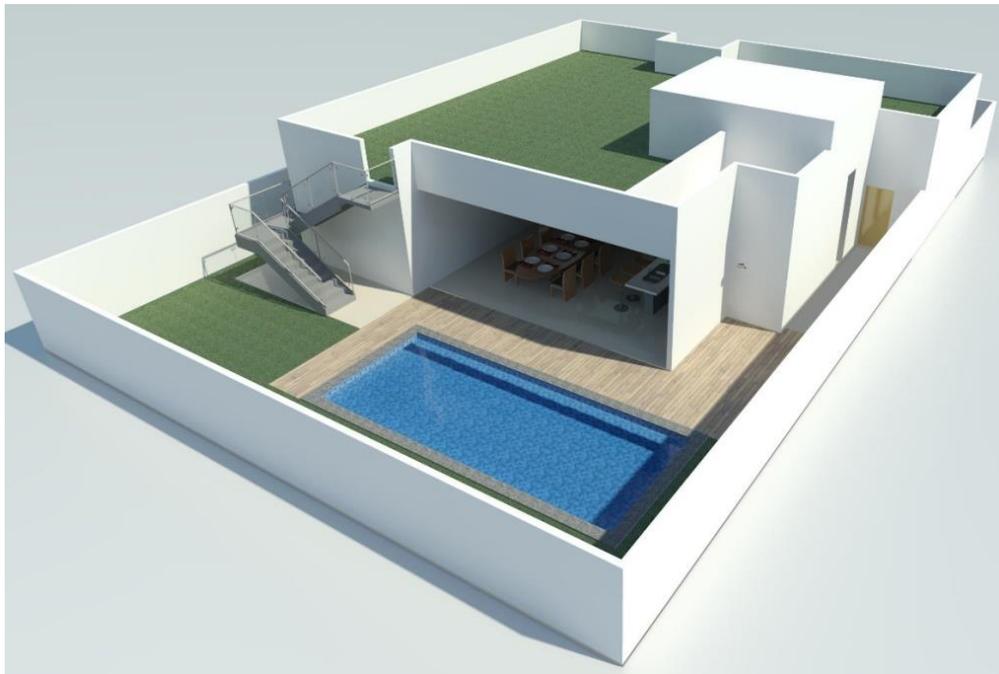
As camadas do telhado verde na proposta 3 são compostas por:

- Camada impermeabilizante – Manta asfáltica;
- Camada drenante – Brita 02 (espessura de 7 cm);
- Camada filtrante e anti-raízes – Manta geotêxtil Bidin;
- Substrato – Terra vegetal (espessura de 6 cm);
- Vegetação – Grama esmeralda.

As figuras 25 e 26 expõem a proposta arquitetônica atribuída para as propostas 2 e 3.

**Figura 25 – Renderização Térrea**

Fonte: Próprios autores, 2020.

**Figura 26 – Renderização aérea**

Fonte: Próprios autores, 2020.

## 5.2 SOBRECARGA NA ESTRUTURA

Para definir a sobrecarga que cada proposta de telhado exerce na estrutura, são realizadas pesquisas para quantificar o peso de cada componente. Os resultados obtidos são

fundamentados em *Datasheet* de fornecedores, Tabelas (UNICAMP e FGV), e na Norma NBR 6120/1980 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Os resultados obtidos são apresentados nas tabelas abaixo.

**Tabela 1 – Sobrecarga na Estrutura – Proposta 1**

ITEM	DESCRIÇÃO	FONTE	PESO (KGF/M <sup>2</sup> )
<b>1</b>	<b>Proposta 1</b>		
1.1	Telha fibrocimento - e= 6 mm	Datasheet – Brasilit	16,3
1.2	Estrutura pontaletada de madeira	Tabela UNICAMP	23,7
1.3	Peso Próprio da Laje - h= 12 cm	Autores	3
<b>Sobrecarga</b>			<b>43 = 150</b>

Fonte: Próprios autores, 2020.

Para a Proposta 1, o peso dos materiais descritos na Tabela 1 estimou sobrecarga igual a 43 Kgf/m<sup>2</sup>, entretanto por responsabilidade dos autores do estudo será adotado sobrecarga igual a 150Kgf/m<sup>2</sup>. O valor superestimado visa oferecer segurança e estabilidade à estrutura, considerando possível circulação de pessoas na laje para realizar manutenção no telhado e acessar o barrilete, além de prever estrutura saturada em épocas de chuvas intensas.

Tabela 2 – Sobrecarga na Estrutura – Proposta 2

ITEM	DESCRIÇÃO	FONTE	PESO (KGF/M <sup>2</sup> )
<b>1</b>	<b>Proposta 2</b>		
1.1	Manta asfáltica	<i>Datasheet</i> – Quartzolit	3
1.2	Argila expandida - e=7cm	<i>Datasheet</i> – Sinexpan	35
1.3	Manta geotêxtil Bidin	<i>Datasheet</i> – AMANCO	0,62
1.4	Terra vegetal úmida - e= 6cm	Tabela FGV	108
1.5	Grama Esmeralda	<i>Datasheet</i> - Portal das Gramas	22
1.6	Terraço com acesso ao público	NBR 6120/1980	300
1.7	Peso Próprio da Laje - h= 12cm	Autores	3
<b>VALOR TOTAL</b>			<b>471,62 = 480</b>

Fonte: Próprios autores, 2020.

A proposta 2 estima sobrecarga igual a 471,62 Kgf/m<sup>2</sup>, entretanto também é adotado valor maior, igual a 480 Kgf/m<sup>2</sup>.

O destaque dessa proposta está na análise da sobrecarga gerada pela Argila expandida e na utilização do Terraço. A Argila expandida se destaca por ser o único componente que difere dos demais componentes também aplicados na proposta 3, a qual é substituída por Brita 02. Segundo *Datasheet* da empresa Sinexpan é necessário 1,4 sacos de Argila expandida para cobrir 1 m<sup>2</sup> (com espessura igual a 7cm), sendo equivalente a uma sobrecarga de 35 kgf/m<sup>2</sup>.

Visto que ao implementar esta proposta há o surgimento do terraço, um espaço que visa ampliar o lazer e agregar valor ao imóvel, é necessário considerar a sobrecarga que este novo ambiente gera à estrutura, pois se trata de um local com grande acesso de pessoas, propício a aglomeração. Com base nesta afirmativa, a NBR 6120/1980 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações, determina acrescentar sobrecarga de 3 KN/m<sup>2</sup> quando se tem terraço com acesso de pessoas.

**Tabela 3 – Sobrecarga na Estrutura– Proposta 3**

ITEM	DESCRIÇÃO	FONTE	PESO (KGF/M <sup>2</sup> )
<b>1</b>	<b>Proposta 3</b>		
1.1	Manta asfáltica	<i>Datasheet – Quartzolit</i>	3
1.2	Brita 02 - e= 7cm	<i>Datasheet – Britagem Sol Nascente</i>	93,1
1.3	Manta geotêxtil Bidin	<i>Datasheet – AMANCO</i>	0,62
1.4	Terra vegetal úmida - e= 6cm	Tabela FGV	108
1.5	Grama esmeralda	<i>Datasheet - Portal das Gramas</i>	22
1.6	Terraço com acesso ao público	NBR 6120/1980	300
1.7	Peso Próprio da Laje - h= 12cm	Autores	3
<b>VALOR TOTAL</b>			<b>529,72 = 540</b>

Fonte: Próprios autores, 2020.

A proposta 3 estima sobrecarga igual a 529,72 Kgf/m<sup>2</sup>, porém é adotado valor maior, igual a 540 Kgf/m<sup>2</sup>.

Na proposta 3 também é adicionado sobrecarga destinada ao Terraço com acesso de pessoas, conforme previsto na NBR 6120/1980. A única diferença apresentada entre as propostas 2 e 3 está na troca dos materiais da camada drenagem, sendo que na proposta 2 é aplicado Argila Expandida (35 Kgf/m<sup>2</sup>) e na proposta 3, Brita 02 (93,1 Kgf/m<sup>2</sup>). Essa troca de materiais na camada drenante resulta em uma sobrecarga a mais de 58,1 Kgf/m<sup>2</sup> (diferença direta entre os materiais, sem levar em consideração os critérios de arredondamento, o qual a diferença passa a ser de 60Kgf/m<sup>2</sup>).

### 5.3 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO

Para alcançar uma análise de viabilidade econômica e eficaz é necessário incluir no cálculo o orçamento da implantação de cada proposta. A partir disso é possível comparar, analisar e discutir os valores das propostas, além de ser fundamental para elaborar um orçamento total, real e completo, quando esse por fim for somado ao orçamento estrutural.

Os orçamentos foram confeccionados tendo como base as planilhas SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), AGETOP (Agência Goiana de Transporte e Obras) e SBC (Sistema Boletim de Custos), todas do estado de Goiás dos meses de agosto de 2020, abril de 2019 e setembro de 2020 respectivamente, que são as

últimas disponibilizadas pelos órgãos competentes. Para os orçamentos de todas as propostas foram considerados além dos materiais, todos os quantitativos de mão de obra para execução de cada serviço. Cabe ressaltar que, não foi acrescido valor do BDI (Benefícios e Despesas Indiretas) nos itens que compõem os orçamentos.

Todos os quantitativos dos orçamentos foram levantados dos projetos previamente executados, sendo assim, as três propostas realizadas seguem a seguinte ordem de execução:

- Serviços preliminares;
- Serviços Técnico Profissional;
- Estrutura de concreto (fundação, vigas, pilares e laje);
- Telhado (Convencional ou Telhado Verde).

Assim, apresenta-se a seguir uma tabela orçamentária para cada proposta.

**Tabela 4 – Orçamento de Implantação – Proposta 1**

ITEM	DESCRIÇÃO	FONTE	UND	QTD	PREÇO UNITÁRIO R\$	PREÇO TOTAL R\$
<b>1</b>	<b>Proposta 1</b>					
1.1	Fabricação e instalação de estrutura pontaletada de madeira para telhados com até 2 águas.	SINAPI	M <sup>2</sup>	200,31	14,95	2.994,63
1.2	Telhamento com telha ondulada de fibrocimento e = 6 mm.	SINAPI	M <sup>2</sup>	200,31	37,93	7.597,76
1.3	Cumeeira para telha ondulada de fibrocimento, e = 6 mm.	SINAPI	M	15,30	43,32	662,80
1.4	Calha em chapa de aço galvanizado número 24.	SINAPI	M	71,70	106,93	7.666,88
1.5	Engenheiro civil junior com encargos complementares.	SINAPI	H	23	90,34	2.077,82
<b>VALOR TOTAL</b>					<b>20.999,89</b>	

Fonte: Próprios autores, 2020.

Para a Proposta 1, cuja cotação se baseia em um telhado convencional, considerado de baixo custo, o valor de implantação é estimado em R\$ 20.999,89.

Tabela 5 – Orçamento de Implantação – Proposta 2

ITEM	DESCRIÇÃO	FONTE	UND	QTD	PREÇO UNITÁRIO R\$	PREÇO TOTAL R\$
<b>1</b>	<b>Proposta 2</b>					
	Impermeabilização de					
1.1	superfície com manta asfáltica.	SINAPI	M <sup>2</sup>	188,77	136,86	25.835,06
	Proteção mecânica de					
1.2	superfície horizontal com argamassa.	SINAPI	M <sup>2</sup>	11,54	58,51	675,21
1.3	Argila expandida, granulometria 2215.	SINAPI	M <sup>3</sup>	13,21	202,12	2.670,01
1.4	Execução de dreno com manta geotêxtil bidin 400.	SINAPI	M <sup>2</sup>	188,77	10,82	2.042,49
1.5	Plantio de grama em placas.	SINAPI	M <sup>2</sup>	188,77	7,36	1.389,35
1.6	Terra vegetal.	SINAPI	M <sup>3</sup>	11,33	126,42	1.432,34
1.7	Escada de acesso Girau- estrutura largura= 1,00m.	SBC	M	6,90	769,50	5.309,55
1.8	Engenheiro civil júnior com encargos complementares.	SINAPI	H	23	90,34	2.077,82
<b>VALOR TOTAL</b>						<b>41.431,83</b>

Fonte: Próprios autores, 2020.

Para a Proposta 2 a cotação de implantação se baseia em um telhado verde, o qual, os custos de materiais e mão de obra apresentam valor resultante de R\$ 41.431,83. Caso seja comparado ao orçamento da Proposta 1, em que o valor estimado é de R\$ 20.999,89, é notório o acréscimo relevante de 97,30%, o que equivale a R\$20.431,94.

**Tabela 6 – Orçamento de Implantação – Proposta 3**

ITEM	DESCRIÇÃO	FONTE	UND	QTD	PREÇO UNITÁRIO R\$	PREÇO TOTAL R\$
<b>1</b>	<b>Proposta 3</b>					
1.1	Impermeabilização de superfície com manta asfáltica.	SINAPI	M <sup>2</sup>	188,77	136,86	25.835,06
1.2	Proteção mecânica de superfície horizontal com argamassa.	SINAPI	M <sup>2</sup>	11,54	58,51	675,21
1.3	Brita N° 02	AGETOP	M <sup>3</sup>	13,21	59,13	781,11
1.4	Execução de dreno com manta geotêxtil bidin 400.	SINAPI	M <sup>2</sup>	188,77	10,82	2.042,49
1.5	Plantio de grama em placas.	SINAPI	M <sup>2</sup>	188,77	7,36	1.389,35
1.6	Terra vegetal.	SINAPI	M <sup>3</sup>	11,33	126,42	1.432,34
1.7	Escada de acesso Girau-estrutura largura= 1,00m.	SBC	M	6,90	769,50	5.309,55
1.8	Engenheiro civil júnior com encargos complementares.	SINAPI	H	23	90,34	2.077,82
<b>VALOR TOTAL</b>						<b>39.542,93</b>

Fonte: Próprios autores, 2020.

Na Proposta 3 a cotação também se baseia em um telhado verde, em que o valor de implantação estimado é de R\$ 39.542,93. A diferença de 1.888,90 reais, a menos, se comparado à proposta 2, é resultado da única diferença existente entre as propostas, o material utilizado na camada drenante. A substituição da Argila expandida, que segundo a SINAPI, custa R\$ 202,12 por m<sup>3</sup>, por Brita 02, custando R\$ 59,13 por m<sup>3</sup>, resultou em uma economia de 4,56%, entre as propostas.

O quadro 4 exhibe o custo de implantação para cada proposta, destacando acréscimo das Propostas 2 e 3, quando comparadas ao telhado convencional (Proposta 1).

**Quadro 4: Custo de Implantação**

<b>Proposta</b>	<b>Valor Total R\$</b>	<b>Acréscimo R\$</b>	<b>Acréscimo %</b>
Proposta 1	20.999,89	-	-
Proposta 2	41.431,83	20.431,94	97,30
Proposta 3	39.542,93	18.543,04	88,30

Fonte: Próprios autores, 2020

## 5.4 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA

### 5.4.1 Software

O *Software* Eberick versão V6, da empresa AutoQi, foi o escolhido para realizar o cálculo estrutural do projeto. *Software* muito utilizado por engenheiros estruturais, o qual está configurado de acordo com as normas da NBR 6118:2014. A versão utilizada permite apenas cálculo estrutural em concreto armado.

Além disso, o *Software* apresenta aba de configurações que permite ao projetista fazer alterações de acordo com a necessidade do projeto, logo o dimensionamento da estrutura será realizado conforme a personalização do projetista e ainda respeitando as instruções normativas da NBR 6118:2014.

### 5.4.2 Materiais

O concreto e o aço são os principais materiais utilizados na construção civil, e quando ambos atuam juntos na estrutura formam o concreto armado. O concreto armado é o sistema estrutural escolhido para desenvolver a análise estrutural da edificação, obedecendo às orientações contidas na NBR 6118:2014.

#### 5.4.2.1 Concreto

É o sistema estrutural mais utilizado dentro da construção civil, estima-se que seu consumo anual equivale a uma tonelada por habitante, perdendo apenas para a água em questão de uso. (Pinheiro, Muzardo & Santos, 2004). Os dados elevados são justificados quando é destacado suas características. O concreto quando executado em boas condições e de acordo com as normas vigentes, apresenta resistência a água, fogo, choque, vibrações,

efeitos térmicos, e desgastes mecânicos, além de possibilitar execução de diferentes formas de estrutura.

#### 5.4.2.1.1 Classe de Agressividade

A classe de agressividade apresentada na NBR 6118:2014, tem como objetivo dividir os tipos de ambientes, para definir os riscos de deterioração dos elementos estruturais, resultante das ações químicas de cada ambiente. Para definir a classe de agressividade de cada projeto é necessário consultar a Tabela Classes de agressividade ambiental presente na norma (figura 27).

Neste estudo é definido classe de agressividade II - Moderada, por se tratar de um projeto localizado em zona urbana.

**Figura 27 – Tabela Classes de Agressividade**

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>a, b</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>a</sup>	Grande
		Industrial <sup>a, b</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>a, c</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

<sup>a</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>b</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

<sup>c</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118:2014, 2014.

#### 5.4.2.1.2 Resistência característica à compressão e cobrimento mínimo

Para assegurar durabilidade e segurança na estrutura é fundamental verificar qual classe de resistência do concreto e qual seu cobrimento mínimo deve ser adotado para o projeto. A tabela apresentada na NBR 6118:2014 (figura 28) indica a relação água/cimento e a resistência mínima de concreto a ser utilizado para cada situação.

Figura 28 – Tabela Resistencia Característica

Concreto <sup>a</sup>	Tipo <sup>b, c</sup>	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

<sup>a</sup> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.  
<sup>b</sup> CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.  
<sup>c</sup> CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118:2014, 2014.

Por se tratar de um projeto de Concreto Armado com classe de agressividade II, a Tabela indica que a resistência mínima à compressão é de 25 MPa, e para o dimensionamento do projeto são adotados  $F_{ck}$  igual a 30MPa. Seguindo o mesmo critério de classe de agressividade, a tabela mostrada na figura 29 indica que o cobrimento mínimo empregado para as vigas e pilares devem ser de 30 mm, ou seja, 3 cm.

Figura 29 – Tabela Cobrimento Nominal

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV <sup>c</sup>
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje <sup>b</sup>	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo <sup>d</sup>	30		40	50
Concreto protendido <sup>a</sup>	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

<sup>a</sup> Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.  
<sup>b</sup> Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.  
<sup>c</sup> Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.  
<sup>d</sup> No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

Fonte: NBR 6118:2014, 2014.

#### 5.4.2.2 Aço

Visto que, o concreto armado caracteriza a estrutura mais utilizada na construção civil, é notado o casamento perfeito formado entre os materiais, no qual o concreto é responsável por resistir a compressão e o aço tem a função de resistir aos esforços de tração. O concreto não possui características de resistência à tração necessária para receber os esforços de uma edificação, sendo limitado a receber os esforços de compressão, logo, para as regiões sujeitas aos esforços de tração é necessário adicionar o aço.

Quando o aço é dimensionado e detalhado corretamente, ele resiste à maioria das solicitações, fornece ductilidade e ainda aumenta resistência à compressão do concreto armado (PINHEIRO, 2007).

#### 5.4.2.2.1 Diâmetro para aço

Conforme mencionado no tópico 6.4.1, o *Software* permite configurações para personalizar o projeto de acordo com as necessidades do projetista. Pensando na viabilidade econômica e logística de acesso às armaduras no Município, adotou-se as bitolas para os blocos de fundação destacadas na Figura 30, para os pilares mostrados na Figura 31, vigas na Figura 32, e lajes figura 33.

**Figura 30 – Bitola dos Blocos**



Fonte: EBERICK, 2020.

**Figura 31 – Bitola dos Pilares**

Longitudinais		Transversais	
<input type="checkbox"/>	8.0	<input type="checkbox"/>	7.0
<input checked="" type="checkbox"/>	10.0	<input type="checkbox"/>	8.0
<input checked="" type="checkbox"/>	12.5	<input type="checkbox"/>	10.0
<input checked="" type="checkbox"/>	16.0	<input type="checkbox"/>	12.5
<input checked="" type="checkbox"/>	20.0	<input type="checkbox"/>	16.0
<input type="checkbox"/>	22.2	<input checked="" type="checkbox"/>	5.0
<input type="checkbox"/>	25.0	<input type="checkbox"/>	6.0
<input type="checkbox"/>	32.0	<input checked="" type="checkbox"/>	6.3

Fonte: EBERICK, 2020.

**Figura 32 – Bitola das Vigas**

Longitudinais		Transversais	
<input type="checkbox"/>	6.3	<input type="checkbox"/>	7.0
<input checked="" type="checkbox"/>	8.0	<input type="checkbox"/>	8.0
<input checked="" type="checkbox"/>	10.0	<input type="checkbox"/>	10.0
<input checked="" type="checkbox"/>	12.5	<input type="checkbox"/>	12.5
<input type="checkbox"/>	16.0	<input type="checkbox"/>	16.0
<input type="checkbox"/>	20.0	<input checked="" type="checkbox"/>	5.0
<input type="checkbox"/>	22.2	<input type="checkbox"/>	6.0
<input type="checkbox"/>	25.0	<input checked="" type="checkbox"/>	6.3

Fonte: EBERICK, 2020.

**Figura 33 – Bitola das Lajes**

Longitudinais			
<input type="checkbox"/>	3.2	7.0	32.0
<input type="checkbox"/>	3.4	<input checked="" type="checkbox"/>	8.0
<input type="checkbox"/>	4.0	<input checked="" type="checkbox"/>	10.0
<input type="checkbox"/>	4.2	<input checked="" type="checkbox"/>	12.5
<input type="checkbox"/>	4.6	<input checked="" type="checkbox"/>	16.0
<input checked="" type="checkbox"/>	5.0	<input type="checkbox"/>	20.0
<input type="checkbox"/>	6.0	<input type="checkbox"/>	22.2
<input checked="" type="checkbox"/>	6.3	<input type="checkbox"/>	25.0

Fonte: EBERICK, 2020.

### 5.4.3 Concepção estrutural

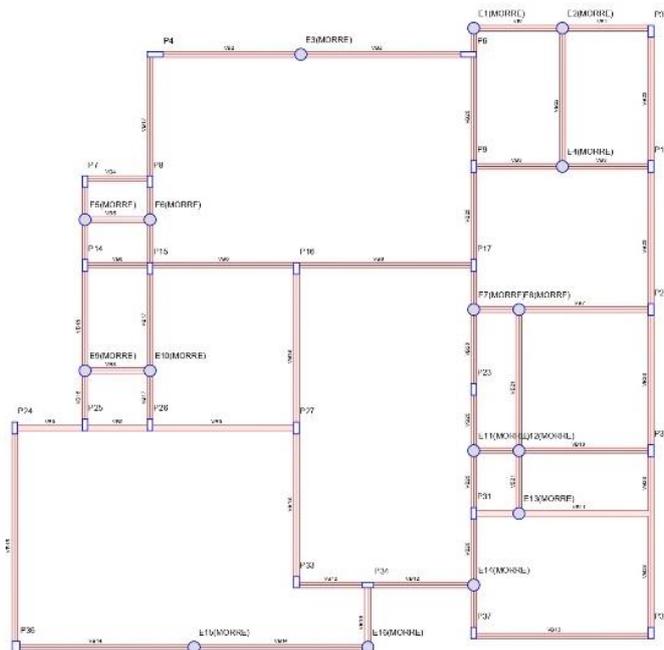
A concepção estrutural é um dos passos mais importantes para realizar um projeto estrutural eficiente, pois seleciona e direciona a locação dos elementos estruturais a serem aplicados. É de fundamental importância pensar em uma estrutura que seja viável para execução, estética, estável e econômica, formando um sistema estrutural apto a receber as cargas resultantes das ações atuantes e direcioná-las ao solo de fundação.

Pensando nisso, os pilares foram primeiramente lançados nos cantos, buscando criar pórticos bi-apoiados. Em seguida foi posicionado os pilares de extremidade, laçando os embutidos nas paredes, buscando disposições aproximadas entre 4 a 5 metros entre eixos de pilares, para proporcionar vigas trabalhando em vãos menores, resultando em vigas de menor seção e menor taxa de armadura. Entretanto, por se tratar de um projeto de médio padrão se é esperado lajes com grandes vãos (acima de 5 metros), o qual resultará em uma estrutura de sustentação mais robusta para vencer estas distâncias.

A figura 34 mostra o lançamento da estrutura no Pavimento Térreo, sendo composto por estacas isoladas, pilares que nascem e vigas baldrame. A fundação escolhida é do tipo estaca escavada.

Para todos os pavimentos os pilares e estacas isoladas são lançados na cor azul e as vigas na cor vermelha.

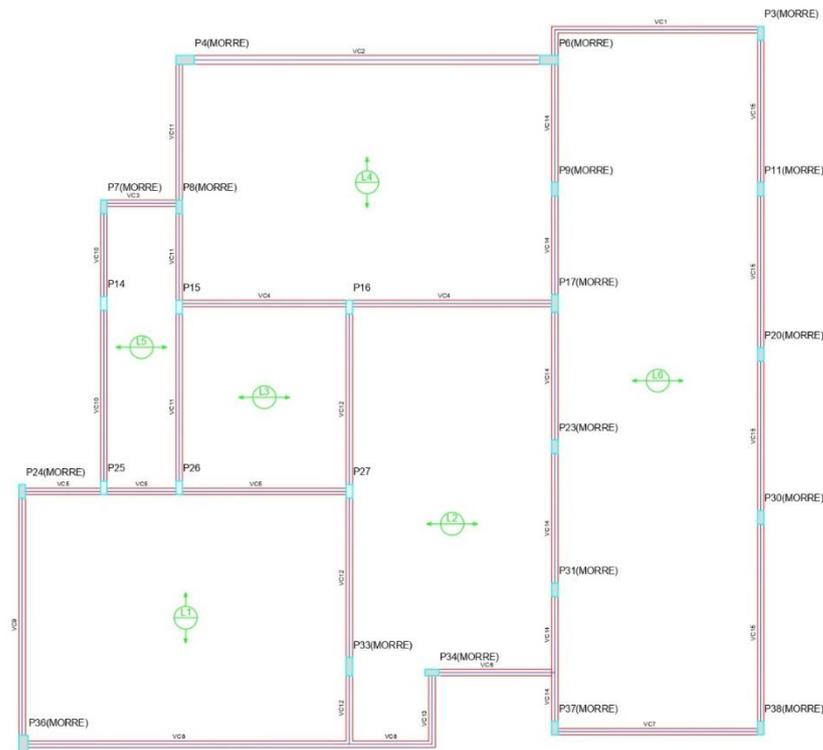
**Figura 34 – Planta de forma pavimento térreo**



Fonte: Próprios autores, 2020.

A figura 35 apresenta o Pavimento Cobertura, que se destaca os pilares que morrem ou continuam para o barrilete, as vigas de cobertura e as lajes treliçada com seus sentidos definidos. Para o desenvolvimento do estudo foi adotado, inicialmente, utilização de Laje treliçada com  $h=11$  cm.

**Figura 35 – Planta de forma pavimento cobertura**



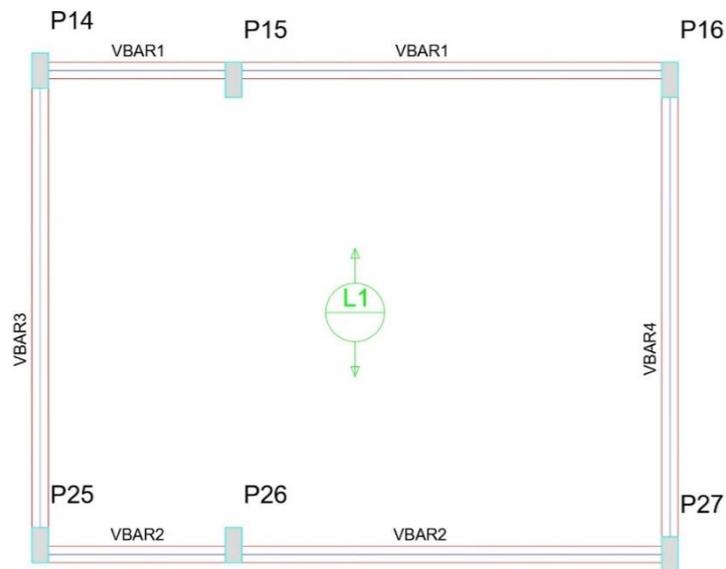
Fonte: Próprios autores, 2020.

Por fim o Pavimento Barrilete é apresentado na figura 36. O barrilete é responsável por armazenar o conjunto de tubulação da instalação hidráulica, incluindo caixa d'água.

Para estimar sobrecarga no barrilete foi considerado consumo médio diário de água igual a 200 litros por pessoa. Por se tratar de uma residência com 3 quartos, podendo ocupar até 6 pessoas (2 pessoas por quarto), em que o reservatório de água atenda até 2 dias sem o abastecimento regular por parte da empresa fornecedora, é calculado um consumo de 2.400 litros, na qual é adota caixa d'água de 3.000 litros. Como a densidade da água é  $1\text{kg/l}$ , considera-se o peso do reservatório igual a  $3.000\text{Kgf}$  distribuído em uma área de  $30,00\text{m}^2$  (área do barrilete). A sobrecarga resultante será de  $100\text{Kgf/m}^2$ , porém por critério de segurança será adotado  $500\text{Kgf/m}^2$  em todas as propostas.

A figura 36 destaca os pilares que morrem, as vigas do pavimento e a laje com seu sentido identificado.

**Figura 36 – Planta de forma pavimento barrilete**



Fonte: Próprios autores, 2020.

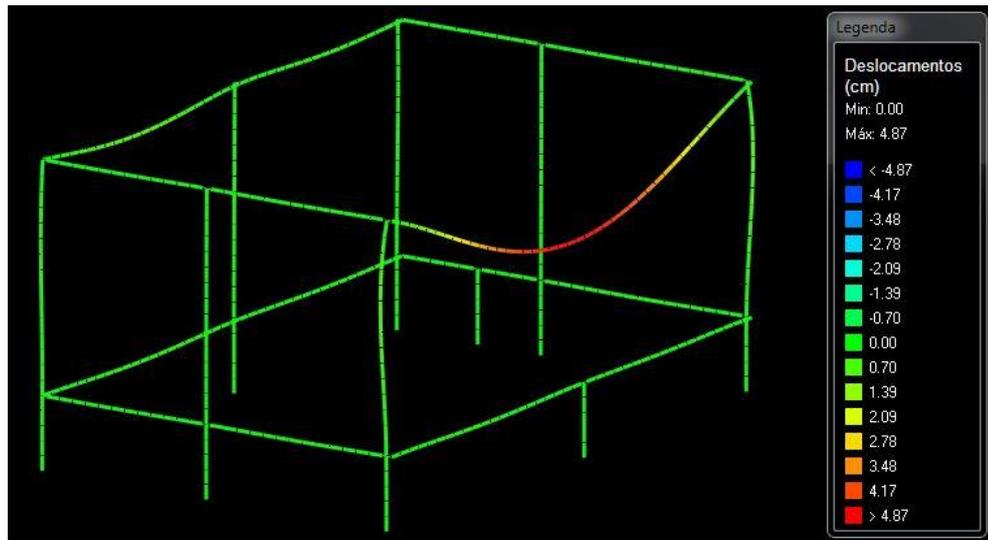
#### 5.4.4 Análise pilares P4 e P6

É válido ressaltar que os pilares P4 e P6 responsáveis por sustentar a Viga VC 2, foram locados no projeto fora do sentido da parede, portanto nesses locais haverá um ressalto do pilar. Durante análise de concepção estrutural verificou que o pórtico é responsável por sustentar a laje L4, tendo o menor vão de 5,31m. Caso os pilares P4 e P6 fossem locados embutidos na parede eles iriam trabalhar ao contrário do sentido da viga VC2, ou seja, o menor lado dos pilares estariam apoiando a viga. O fato da viga VC2 ser a responsável por receber diretamente o carregamento da Laje L4, acarretaria em seções de pilares e áreas de aço maiores.

Através de interações realizadas no *Software*, lançando apenas a estrutura responsável por sustentar a laje L4, em que é adotado sobrecarga de menor valor entre as propostas (Proposta 1 - 150 Kgf/m<sup>2</sup>), e seções mínimas admitidas inicialmente no projeto, 14x30 cm, obteve o seguinte resultado:

- Deslocamento máximo da viga VC2 igual a 4,87 cm, quando os pilares P4 e P6 trabalharam fora do sentido da viga, conforme é apresentado na figura 37.

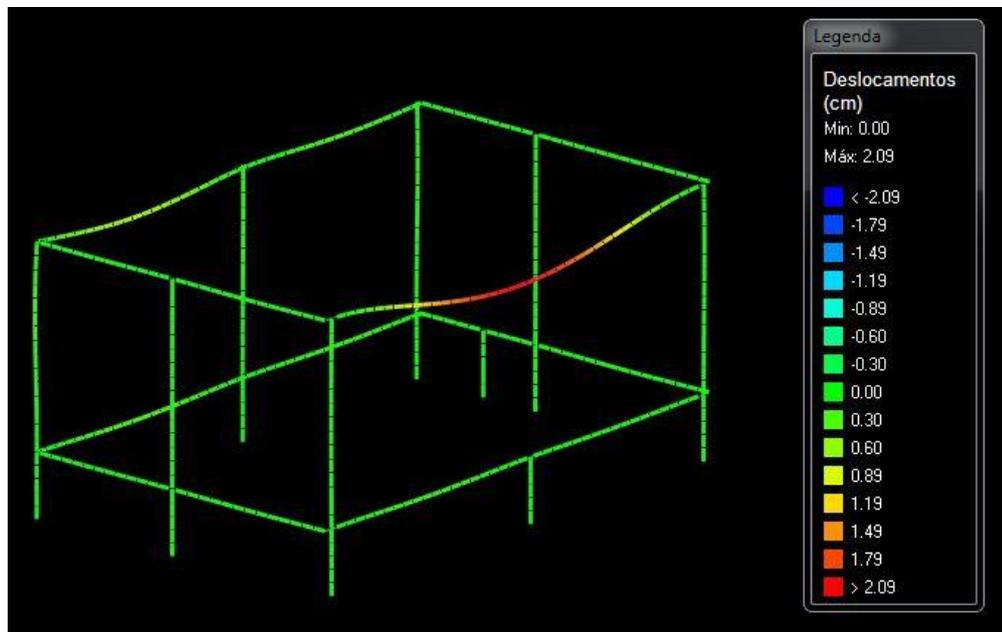
**Figura 37 – Deslocamento com pilares embutido**



Fonte: Próprios autores, 2020

- Deslocamento máximo da viga VC2 igual a 2,09 cm, quando os pilares P4 e P6 trabalharam no sentido da viga, conforme mostra a figura 38.

**Figura 38 – Deslocamento com pilares expostos**



Fonte: Próprios autores, 2020.

Para construir uma estrutura estável para a proposta 1, com os pilares P4 e P6 localados fora do sentido da Viga VC2, são necessário seções de pilares igual a 14x60 cm para ambos, assim como armaduras de 24Ø12,5, o que equivale a Área de aço efetivo de 28,27cm<sup>2</sup> para cada pilar (P4 e P6), tornando inviável economicamente este modelo.

## 5.5 RESULTADO DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA

Após finalizar as etapas de concepção estrutural e análise estrutural, o *software* proporcionou o dimensionamento, detalhamento e emissão de pranchas da estrutura.

### 5.5.1 Laje

Visto que na concepção estrutural é empregado utilização de lajes treliçada em toda a estrutura, o *Software* dimensionou as alturas das lajes e armadura conforme especificado. Considerando a altura dimensionada para cada laje e em cada proposta, o quadro 1 compara os resultados obtidos.

**Quadro 5 – Resultado dimensionamento das Lajes**

	<b>PROPOSTA 1 - 150KGF/M<sup>2</sup></b>	<b>PROPOSTA 2 - 480KGF/M<sup>2</sup></b>	<b>PROPOSTA 3 - 540KGF/M<sup>2</sup></b>
<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>h (cm)</b>	<b>h (cm)</b>	<b>h (cm)</b>
L3 = L5	11	11	11
L2 = L6	11	15	15
L4	15	19	23
L1	15	23	28

Fonte: Proprios autores, 2020

Devido ao pequeno vão de atuação das lajes L3 e L5 (1,65m e 3,72m), é obtido menor espessura (beta) para estas, comparando-as às demais lajes da estrutura. Mesmo na Proposta 3, na qual a sobrecarga é superior, as lajes se mantêm estáveis com a espessura de 11 cm, pois as forças aplicadas trabalham em uma pequena distância.

A laje L1, responsável por cobrir vão de 5,58 m, apresentam resultados de maior distorção dentre as demais lajes quando se é adicionado a sobrecarga do telhado verde. Para a Proposta 1 a laje L1 é dimensionado com altura de 15 cm, quando a sobrecarga é elevada para 540Kgf/m<sup>2</sup>, conforme Proposta 3, há um acréscimo considerável de 13 cm, resultando em uma altura de 28 cm.

### 5.5.2 Vigas de cobertura

O quadro 6 compara os resultados de dimensionamento para as vigas de cobertura, encarregadas de sustentar as lajes citadas à cima.

**Quadro 6 – Resultado dimensionamento das Vigas de Cobertura**

	<b>PROPOSTA 1 - 150KGF/M<sup>2</sup></b>	<b>PROPOSTA 2 - 480KGF/M<sup>2</sup></b>	<b>PROPOSTA 3 - 540KGF/M<sup>2</sup></b>
<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>SEÇÃO (CM)</b>	<b>SEÇÃO (CM)</b>	<b>SEÇÃO (CM)</b>
VC1 = VC3 = VC5 = VC6 = VC7 = VC9 = VC10 = VC11 = VC13 = VC15	14X30	14X30	14X30
VC2	14X40	20X40	20X40
VC4	14X30	14X30	14X40
VC8	14X40	14X50	14X50
VC12	14X40	14X60	14X60
VC14	14X30	14X40	14X40

Fonte: Próprios autores, 2020

Em projeto ficou definido que os pórticos formados pelas vigas VC2 e VC8 estariam sujeitos a receber as cargas distribuídas oriundas das lajes a qual eles apoiam. Ocasionalmente são as lajes L1 e L4 (L1 descarregando na viga VC8 e L4 na viga VC2), as quais são as lajes que apresentam maiores vãos, e conseqüentemente maiores dimensões. Logo, para promover uma estrutura estável e conter a flexão formada nas vigas, essas chamam a atenção devido ao alto valor obtido para seção transversal e área de aço.

### 5.5.3 Pilares

O quadro 7 compara o resultado do dimensionamento da seção dos pilares entre as Propostas 1, 2 e 3. Os pilares foram dispostos inicialmente com seção transversal de 14x30 cm, entretanto devido atuação de ações e cargas na estrutura, o dimensionamento indicou necessidade de aumentar a seção transversal de determinados pilares.

**Quadro 7 – Resultado dimensionamento da seção dos pilares**

	<b>PROPOSTA 1 - 150KGF/M<sup>2</sup></b>	<b>PROPOSTA 2 -480KGF/M<sup>2</sup></b>	<b>PROPOSTA 3 - 540KGF/M<sup>2</sup></b>
<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>SEÇÃO (CM)</b>	<b>SEÇÃO (CM)</b>	<b>SEÇÃO (CM)</b>
P3 = P7 = P8 = P9 = P11 = P14 = P15 = P16 = P20 = P23 = P24 = P25 = P26 = P27 = P30 = P31 = P34 = P37 = P38	14X30	14X30	14X30
P04 = P06	14X40	20X40	20X40
P17 = P33	14X30	14X40	14X40
P36	20X30	20X40	20X50

Fonte: Próprios autores, 2020

Os pilares P4, P6, P17, P33 e P36 são os únicos pilares a divergir a seção transversal entre as propostas. O pilar P36, locado na garagem, responsável por sustentar o maior vão de laje, resultou na maior seção entre os pilares. Na proposta 3, com sobrecarga igual a 540Kgf/m<sup>2</sup> o pilar P36 apresenta seção de 20x50 cm, com área de seção transversal de 1000cm<sup>2</sup>, equivalente a 2,7 vezes a área de aço mínima determinado pela NBR6118:2014, no valor de 360cm<sup>2</sup>.

#### 5.5.4 Fundação

Visto que as estacas escavadas constituem a fundação do projeto, o Quadro 8 compara os resultados do dimensionamento da fundação entre as propostas.

**Quadro 8 – Resultado dimensionamento da Fundação**

	<b>PROPOSTA 1 - 150KGF/M<sup>2</sup></b>	<b>PROPOSTA 2 -480KGF/M<sup>2</sup></b>	<b>PROPOSTA 3 - 540KGF/M<sup>2</sup></b>
<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>SEÇÃO (CM)</b>	<b>SEÇÃO (CM)</b>	<b>SEÇÃO (CM)</b>
E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9	Ø30	Ø30	Ø30
P3, P7, P8, P9, P11, P14, P15, P16, P17, P20, P23, P24, P25, P26, P27, P30, P31, P33, P34, P37, P38	65X65	65X65	65X65
P4, P6, P36	65X65	170X65	170X65

Fonte: Próprios autores, 2020

Para as estacas isoladas, em todas as propostas, o dimensionamento do projeto determinou escavações com diâmetro de 30 cm.

Para as demais estacas é destacado aquelas responsáveis por sustentar os pilares P4, P6 e P36. Pois para esses pilares nas propostas 2 e 3, em que a sobrecarga da estrutura é maior, o cálculo estrutural determinou blocos com seção também maiores, igual a 170x65 cm, o qual indica necessidade de 2 estacas, distribuídas equidistantes. Resultado proveniente da sobrecarga que os pilares recebem desde a origem, a laje. O Quadro 9 expõe a variação de carga máxima e momento máximo que esses pilares sofreram em cada proposta.

**Quadro 9 – Análise de carga e momento**

DESCRIÇÃO	PROPOSTA 1 - 150KGF/M <sup>2</sup>		PROPOSTA 2 - 480KGF/M <sup>2</sup>		PROPOSTA 3 - 540KGF/M <sup>2</sup>	
	CARGA MÁXIMA (TF)	MOMENTO MÁXIMO (KGF*M)	CARGA MÁXIMA (TF)	MOMENTO MÁXIMO (KGF*M)	CARGA MÁXIMA (TF)	MOMENTO MÁXIMO (KGF*M)
P4	7	700	10.3	1.600	11	1.700
P6	8.9	800	12.9	1.800	13.8	2.000
P36	8.9	800	12.2	1.500	13.3	2.300

Fonte: Próprios autores, 2020

## 5.6 QUANTITATIVO DE MATERIAIS

O quadro 10 apresenta valores do quantitativo de materiais destinados a execução da estrutura em cada proposta. Os valores foram emitidos pelo *Software*, e estão em conformidade ao cálculo estrutural.

**Quadro 10 – Quantitativo de materiais - Estrutura**

PROPOSTA	PESO AÇO CA50 – KG	PESO AÇO CA60 – KG	CONCRETO - M <sup>3</sup>	ÁREA DE FORMA - M <sup>2</sup>
Proposta 1	1.435,3	369,2	35,93	364,39
Proposta 2	1.820,5	405,8	40,4	383,26
Proposta 3	1.936,3	404,7	41,86	385,06

Fonte: Próprios autores, 2020

O quadro 10 inclui o peso do aço positivo destinado as lajes, entretanto não considera quantitativo para treliças, EPS e camada de concreto para as lajes. Devido a Tabela SINAPI estipular orçamento de laje onde já é incluso treliça, EPS e concreto, o quadro 5 será adotada

para fazer o orçamento destes, pois a SINAPI separa e descreve as lajes de acordo com o Beta calculado, ou seja a espessura.

### 5.7 CUSTO DA ESTRUTURA

Utilizando a Tabela SINAPI como principal fonte, o quadro 11 exhibe o custo total para executar a estrutura de concreto armado para cada proposta. Os valores estipulados consideram materiais e mão de obra, em que é destacado acréscimo em reais e percentual das Propostas 2 e 3, quando comparadas a Proposta 1.

**Quadro 11 – Custo da Estrutura**

<b>PROPOSTA</b>	<b>VALOR TOTAL R\$</b>	<b>ACRÉSCIMO R\$</b>	<b>ACRÉSCIMO %</b>
Proposta 1	64.192,16	-	-
Proposta 2	74.267,84	10.075,68	15,70
Proposta 3	75.565,18	11.373,02	17,72

Fonte: Próprios autores, 2020

### 5.8 RESULTADO E DISCUSSÕES

Ao unir os valores obtidos no orçamento de implantação juntamente ao orçamento de execução da estrutura, é criado um orçamento final, real e completo, o qual a partir desse é possível fazer análise de viabilidade econômica para cada proposta de telhado.

O Quadro 12 expõe os valores totais para executar os projetos propostos, analisando o acréscimo de valor entre a proposta baseada em um telhado convencional, Proposta 1, com as Propostas 2 e 3, que caracterizam o telhado verde.

**Quadro 12 – Custo final**

<b>PROPOSTA</b>	<b>VALOR TOTAL R\$</b>	<b>ACRÉSCIMO R\$</b>	<b>ACRÉSCIMO %</b>
Proposta 1	85.192,05	-	-
Proposta 2	115.699,67	30.507,62	35,81
Proposta 3	115.108,11	29.916,06	35,12

Fonte: Próprios autores, 2020

Apesar da estrutura dimensionada para sustentar a sobrecarga da Proposta 3 demandar maior quantidade de concreto e aço, esta apresentou custo final menor comparado a Proposta 2 (R\$ 591,96), pois a argila expandida elevou o custo final da Proposta 2.

É visível que o telhado verde possui um orçamento maior do que o telhado convencional (aproximadamente 36%), uma vez que demanda uma estrutura mais robusta para a realização desse modelo de telhado. Nesse sentido, junto ao aumento financeiro destinado ao telhado verde podemos somar os benefícios que esse projeto sustentável disponibiliza, como bem-estar por proporcionar uma sensação térmica mais harmônica, o ganho de uma área de lazer que dialoga com o conforto promovido pelo verde da grama esmeralda. KENIGER (2013) afirma acerca dos resultados da exposição do indivíduo à natureza como benefícios psicológicos, cognitivos, fisiológicos e sociais, dentre outros.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do avanço tecnológico das civilizações, o meio ambiente foi sem dúvidas o maior afetado pelo progresso. Assim, é de fundamental importância a implementação de medidas sustentáveis que revertam o processo de degradação ambiental. Sendo assim, é inegável o papel da engenharia civil na construção e elaboração de propostas de intervenção que busque o equilíbrio entre desenvolvimento urbano e sustentabilidade.

Desse modo, pensando na responsabilidade ambiental, também delegada ao engenheiro civil, traçamos um projeto – telhado verde - que alicerça uma base sólida para implementação da sustentabilidade no cenário urbano, contribuindo para a qualidade de vida, sensação térmica mais agradável, além do melhoramento acústico. Nesse sentido, é fato que o telhado verde é um excelente recurso a ser utilizado, pois atende perfeitamente a demanda atual de harmonia entre natureza e construção civil.

Portanto, nesse trabalho levantamos os materiais a serem aplicados na elaboração desse projeto sustentável, apresentando 3 propostas, uma delas convencional, sem a perspectiva ambiental aplicada e outras duas que cumprem com esse objetivo. Assim, montamos tabelas com os orçamentos que cada uma das propostas oferecem, sendo que a proposta convencional parece a princípio ser vantajosa quando se pensa apenas no valor final, no entanto a longo prazo a implementação das outras duas propostas que seguem a linha do telhado verde podem ser mais interessante, pois contará com um novo ambiente, já que planejamos construção de escada que dará acesso a essa área de lazer, além de contribuir com o meio ambiente e também reduzir o gasto de energia elétrica com ar condicionado, uma vez que o telhado verde tem esse grande benefício de proporcionar um ambiente mais ameno.

Ademais, com base no estudo de caso destrinchado nesse trabalho, podemos concluir que o orçamento total, somando o telhado verde com a estrutura de concreto, possui as suas variações quando comparadas com o telhado convencional. Em vista disso, a execução da proposta do telhado verde com camada drenante feita por argila tem acréscimo de R\$ 30.507,62 quando comparada com a estrutura convencional. Já a proposta do telhado verde com camada drenante feita por brita revela um aumento de R\$ 29.916,06 em relação a construção convencional. Logo, é a expectativa e os objetivos do indivíduo que definirá qual dos modelos propostos serão seguidos, uma vez que a aplicação do telhado verde atende perfeitamente o conceito de bem-estar aliado ao pensamento sustentável.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118:2014. **Projeto e Execução de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014;

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6120/1980 - **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980;

BIANCHI, Renato. ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO (org.). **Telhado verde: como montar o seu usando sistemas prontos**. 2017. Disponível em: <<https://arquiteturaeconstrucao.abril.com.br/sustentabilidade/como-montar-o-seu-telhado-verde-usando-sistemas-prontos/>>. Acesso em: 03 abr. 2020

CASAVOGUE. **Casa no litoral catarinense faz uso sustentável da água e da energia**. 2018. Disponível em: <<https://casavogue.globo.com/Arquitetura/Casas/noticia/2018/05/casa-no-litoral-catarinense-faz-uso-sustentavel-da-agua-e-da-energia.html>> Acesso em: 05 abr. 2020.

CORRENTI, Luan. **TELHADO VERDE: DA BABILÔNIA AOS DIAS ATUAIS**. Disponível em: <[https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo\\_telhado\\_verde.pdf](https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_telhado_verde.pdf) 2017.> Acesso em: 06 jun 2020.

CREPALDI, Priscila. **Projeto Urbano Sustentável como Referencial Teóricoconceitual para Critérios e Diretrizes Para Análise de Projetos e Empreendimentos de Impacto Urbanístico**. Disponível em:<<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.473.2819&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 29 mai 2020.

\_\_\_\_\_. **PROJETO URBANO SUSTENTÁVEL COMO REFERENCIAL TEÓRICO: conceitual para critérios e diretrizes para análise de projetos e empreendimentos de impacto urbanístico**. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 3, 2012, São Carlos. **ENECS**. São Carlos.:2012. p. 2-12. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.473.2819&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2020.

FRANÇA, Poliana. <[http://revistapensar.com.br/engenharia/pasta\\_upload/artigos/a149.pdf](http://revistapensar.com.br/engenharia/pasta_upload/artigos/a149.pdf) 2017>. Acesso em: 29 mai. 2020.

FELIX, Luis Fernando Carvalho. **O processo de projeto de uma edificação sustentável: contrinuições relativas ao programa arquitetônico**. 2008. 166 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/17865/000722578.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 05 abr. 2020.

- FERREIRA, Geovane Rodrigues; PAIVA, Bruno Antônio de. **TELHADO VERDE: análise do impacto da sobrecarga gerada sobre o custo da estrutura de uma obra.** Revista Gestão, Inovação e Negócios, Anápolis.
- FREITAS, Antônio Henrique Correa de; FRANÇA, Poliana Miranda; FRANÇA, Tamiris Miranda. **Construção Sustentável: benefícios e desafios.** 2020. 15 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdades Kennedy, Belo Horizonte, 2020.
- GREEN ROOF: SUSTAINABLE USE IN CONSTRUCTION.** Santa Maria: Edição 04, 2016.
- GREENTOPIA. **Casa das Guaracemas.** 2017. Disponível em: <http://greentopia.com.br/casa-das-guaracemas/>. Acesso em: 05 abr. 2020.
- HENEINE, Maria Cristina Almeida de Souza. **Cobertura Verde.** 2008. 49 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- ISOLDI, Rosilaine André. **TRADIÇÃO, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE: desafios e perspectivas do projeto sustentável em arquitetura e construção.** 2007. 334 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <file:///C:/Users/Breno/Downloads/000944041.pdf> Acesso em: 05 abr. 2020.
- LEROY MERLIN. **Casa Viva.** 2016. Disponível em: <<https://www.leroymerlin.com.br/institucional/leroy-merlin-promove-mostra-itinerante-casa-viva-com-solucoes-sustentaveis>> Acesso em: 05 abr. 2020.
- MASTER HOUSE (comp.). **Impermeabilização com manta asfáltica e eliminar a infiltração.** 2020. Disponível em: <<https://www.masterhousesolucoes.com.br/impermeabilizacao-manta-asfaltica/>> Acesso em: 03 abr. 2020.
- MELO, Patricia. **Casa Contêiner na Mostra Casa Viva da Leroy Merlin.** 2017. Disponível em: <<https://blogremobilia.com/2017/06/28/casa-viva-leroy-merlin/>> Acesso em: 05 abr. 2020.
- M2 ARQUITETURA & INTERIORES. **Telhados verdes.** 2018. Disponível em: <<https://www.m2arquiteturaeinteriores.com/post/2018/06/04/sobre-o-tal-telhado-verde.>> Acesso em: 03 abr. 2020.
- ONU. **17 OBJETIVOS PARA TRANSFORMAR NOSSO MUNDO.** 2016. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/>. Acesso em: 05 abr. 2020
- ORTEGA, Sebastião Gerson. **SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL: significados, práticas e ideologia.** Organizações e Sustentabilidade, Londrina, v. 2, n. 1, p. 112-137, 26 jun. 2014.
- \_\_\_\_\_. Disponível em:<file:///C:/Users/pc/Downloads/17570-85033-1-PB%20(1).pdf 2014>. Acesso em: 29 mai.2020.

\_\_\_\_\_. **Reaproveitamento de água vira Lei em Niterói.** Disponível em: <<https://ecotelhado.com/reaproveitamento-de-agua-vira-lei-em-niteroi-2/>> Acesso em: 01 ago. 2020.

\_\_\_\_\_. **Telhado Verde Ecológico/Teto Verde.** Disponível em: <<https://ecotelhado.com/sistema/tehado-verde/>> Acesso em: 15 set. 2020.

QUINTELLA, Maria Tereza. **TELHADOS CRIATIVOS:** a origem dos telhados verdes. A Origem dos Telhados Verdes. 2012. Disponível em: <<http://telhadosciativos.blogspot.com/2012/03/origem-dos-telhados-verdes.html>> Acesso em: 01 mar. 2020.

SADDI, Karielle Garrido; MOURA, Rúbia Oda. **COBERTURAS VERDES:** análise do impacto de sua implantação sobre a redução do escoamento superficial. 2010. 73 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010. Cap. 2.

SILVA, Diesley Rênis Soares da; CRUZ, Jônatas Martins. **Estudo comparativo de dimensionamento estrutural de um edifício em concreto armado entre dois softwares.** TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 130p. 2017.

SILVA, Fernando. **Como tornar uma obra mais sustentável?** Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=23&Cod=2282>> Acesso em: 01 ago. 2020.

SUSTENTARQUI. **10 razões para fazer arquitetura sustentável.** 2019. Disponível em: <<https://sustentarqui.com.br/10-razoes-para-fazer-arquitetura-sustentavel/>> Acesso em: 05 abr. 2020.

UGREEN. **Telhado Verde:** o guia completo. O Guia Completo. 2018. Disponível em: <<https://www.ugreen.com.br/tehado-verde/>> Acesso em: 17 abr. 2020

VIVADECOR (org.). **Conheça 12 exemplos de projetos sustentáveis e estimule sua criatividade.** 2019. Disponível em: <<https://www.vivadecora.com.br/pro/arquitetura/projetos-sustentaveis/#:~:text=Projetos%20sustent%C3%A1veis%20s%C3%A3o%20aqueles%20pensados,como%20pain%C3%A9is%20solares%20ou%20cisternas>> Acesso em: 05 abr. 2020