



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA  
CENTRO DAS CIÊNCIAS EXATAS E DAS TECNOLOGIAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MARCUS VINÍCIUS SILVA PEREIRA**

**SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO  
OESTE DA BAHIA (UFOB): ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E  
ECONÔMICA PARA A INSTALAÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO  
ESTACIONAMENTO**

**BARREIRAS-BA**

**2025**

**MARCUS VINÍCIUS SILVA PEREIRA**

**SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO  
OESTE DA BAHIA (UFOB): ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E  
ECONÔMICA PARA A INSTALAÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO  
ESTACIONAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil da Universidade  
Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial  
à obtenção do grau de engenheiro civil.

Orientador: Dr. Kuelson Randello Dantas Maciel

**BARREIRAS-BA**

**2025**

## FICHA CATALOGRÁFICA

---

P436 Pereira, Marcus Vinícius Silva.

Sustentabilidade energética na Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB): estudo de viabilidade técnica e econômica para a instalação de energia solar no estacionamento. / Marcus Vinícius Silva Pereira. – 2025.

110f.

Orientador: Prof. Dr. Kuelson Rândello Dantas Maciel.  
Monografia (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. Barreiras, BA, 2025.

1. Energia solar; 2. Geração distribuída; 3. Sistema Fotovoltaico; 4. Viabilidade econômica. I. Maciel, Kuelson Rândello Dantas. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia - Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. III. Título.

CDD 624

---

**MARCUS VINÍCIUS SILVA PEREIRA**

**SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO  
OESTE DA BAHIA (UFOB): ESTUDO DE VIABILIDADE PARA A  
INSTALAÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO ESTACIONAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil da Universidade  
Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial  
à obtenção do grau de engenheiro civil.

Orientador: Dr. Kuelson Randello Dantas Maciel

Aprovada em: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

**Banca Examinadora**

Dr. Kuelson Randello Dantas Maciel (Orientador)  
Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)

Dr. Pedro Cláudio dos Santos Vieira  
Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)

Ms. Claudio Alex de Oliveira Pires  
Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço à toda minha família, especialmente aos meus pais Welton e Lucíola, minha irmã Letícia e minha vó Cleonice, que sempre me apoiaram para conquistar todos meus objetivos desde o primeiro momento da graduação. À minha companheira Anne Karolyne por todo apoio e paciência, principalmente nessa trajetória final. Meus irmãos de vida, colegas e amigos, que cooperaram com meu bem-estar durante toda essa jornada.

Expresso minha sincera gratidão ao meu orientador, Dr. Kuelson Rândello Dantas Maciel, pelo apoio técnico, orientação dedicada e incentivo constante que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Agradeço a todos os servidores e colegas que integram e integraram a Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), campus Barreiras, com menção especial aos professores do curso de Engenharia Civil, cujos ensinamentos e orientações foram fundamentais para minha formação ao longo do período de graduação.

## RESUMO

A geração de energia elétrica a partir da energia solar tem se destacado por ser uma alternativa limpa e renovável, alinhada aos princípios de sustentabilidade. No entanto, a implantação de sistemas fotovoltaicos exige um investimento inicial elevado, que pode não estar ao alcance de todos os empreendimentos, tornando necessária uma avaliação cuidadosa de viabilidade econômica. O estudo aborda a viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema de energia solar fotovoltaica no estacionamento da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), em Barreiras-BA. Destaca-se o potencial brasileiro para a geração solar, especialmente na região Nordeste, que possui altos índices de irradiação solar. A proposta consiste em instalar painéis fotovoltaicos bifaciais sobre estruturas metálicas de cobertura nos estacionamentos da universidade, promovendo a geração de energia limpa e renovável, além de proporcionar conforto térmico aos usuários e proteção aos veículos. A metodologia envolve o levantamento técnico detalhado da área, uso de tecnologias como drones para mapeamento, dimensionamento do sistema fotovoltaico com softwares especializados e análise estrutural das coberturas metálicas com software Cypecad. O estudo também contempla a composição de custos baseada em bancos de dados oficiais (como o SINAPI) e a avaliação de indicadores econômicos, como Valor Presente Líquido (VPL), Payback descontado e Taxa Mínima de Atratividade (TMA), para assegurar a viabilidade financeira do projeto. Com base nos resultados obtidos, verificou-se a necessidade de 1.338 módulos fotovoltaicos conectados a 335 inversores para suprir o consumo energético da instituição. Além disso, será indispensável a utilização de perfis metálicos para compor a estrutura de suporte dos módulos solares. A partir da análise dos indicadores financeiros, constatou-se que a implantação do estacionamento solar na UFOB, campus Barreiras-BA, proporcionará um aumento significativo na geração de energia, com retorno do investimento estimado em 3 anos e 8 meses. Esse projeto, além de beneficiar diretamente a universidade, pode servir como modelo replicável para escolas públicas, centros esportivos e demais instituições em diferentes regiões do país.

**Palavras-chave:** Energia solar, geração distribuída, Sistema Fotovoltaico, Viabilidade econômica.

## LISTA DE SÍMBOLOS

$V_0$  – velocidade básica do vento

$V_k$  – velocidade característica do vento

$S_1$  – fator topográfico do terreno

$S_2$  – fator de rugosidade do terreno e dimensões da edificação

$S_3$  – fator estatístico

$q$  – pressão hidrodinâmica

$R_x$  – receita líquida

$I_0$  – investimento

$n$  – período de avaliação considerado em anos

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil.....	19
Figura 2 - Mapa de radiação solar no brasil .....	20
Figura 3 - Projeção da contribuição fotovoltaica até 2031 no Brasil .....	21
Figura 4 - Inversor String e o Microinversor diferença no rendimento.....	23
Figura 5 - Composição de um módulo fotovoltaico bifacial .....	24
Figura 6 - Estacionamento da Universidade Federal do Paraná (UFPR) .....	25
Figura 7 - Denominações dos efeitos de vento nas edificações .....	31
Figura 8 - Isopletas de velocidade básica em $m/s$ .....	31
Figura 9 - Fator topográfico $S1$ .....	32
Figura 10 - Seções transversais dos perfis U e U enrijecido .....	37
Figura 11 - Elementos da treliça plana .....	38
Figura 12 - Sistemas treliçados.....	39
Figura 13 - Ligações parafusadas(a) e soldadas (b) .....	40
Figura 14 - Fluxograma do procedimento experimental .....	44
Figura 15 - Captação aérea dos estacionamentos da UFOB: a) Centro de convivência e RU; b) Biblioteca; c) Prédio de aulas dois (PD); d) Laboratórios.....	45
Figura 16 - Vistas do estacionamento da UFOB em diferentes setores: a) Biblioteca; b) Biblioteca; c) prédio 2; d) Prédio 2; e) Prédio 2; f) Laboratórios.....	47
Figura 17 - Conta de energia padrão da Neonergia Coelba.....	49
Figura 18 - Interface do software .....	50
Figura 19 - Seleção de normas no Cypecad .....	51
Figura 20 - Definição da categoria de uso .....	51
Figura 21 - Definição das hipóteses adicionais da estrutura .....	52
Figura 22 - Definição das ligações .....	52
Figura 23 - Grades e níveis.....	53
Figura 24 - Vinculação com exterior.....	54
Figura 25 - Descrição do material .....	54
Figura 26 - Disposição da peça .....	55
Figura 27 – Lançamento de cargas .....	56
Figura 28 - Opções de introdução de cargas nas barras .....	56
Figura 29 - Verificação de elementos após cálculo da estrutura .....	57
Figura 30 - Verificação de elementos da mesma família .....	57

Figura 31 - Visualização 3D.....	58
Figura 32- Dimensionamento da fundação.....	59
Figura 33 - Ortofoto da Universidade Federal do Oeste da Bahia .....	62
Figura 34 - Levantamento da área de cada setor do estacionamento da UFOB: a) CCU; b) Biblioteca; c) Prédio 2; d) Laboratórios. ....	63
Figura 35 - Medidas das vagas realizadas com trena .....	64
Figura 36 - Medidas horizontal de uma vaga realizada com auxílio do mapeamento aéreo .....	65
Figura 37 - Medidas vertical de uma vaga realizada com auxílio do mapeamento aéreo .....	65
Figura 38 - Mapa de isopletas representando as velocidades básicas do vento, sinalizada a localização de Barreiras-BA .....	67
Figura 39 - Fator topográfico S1 .....	68
Figura 40 - Fator S2.....	68
Figura 41 - Fator topográfico S3 .....	69
Figura 42 - Layout da estrutura para 4 vagas de carros de passeio .....	70
Figura 43 - Detalhe da disposição de perfis sobre a viga.....	71
Figura 44 - Sobrecarga normativa: vista frontal (a) e vista 3d (b) .....	72
Figura 45 - Detalhe das solicitações da sobrecarga normativa 1.....	73
Figura 46 - Sobrecarga normativa 2: vista frontal (a) e vista 3d (b) .....	74
Figura 47 - Detalhe das solicitações da sobrecarga normativa 2.....	74
Figura 48 - Carga dos painéis solares: vista frontal (a) e vista 3d (b).....	75
Figura 49 = Detalhe das solicitações da carga dos painéis solares.....	76
Figura 50 - Deslocamentos máximos da estrutura ocasionados pelo carga dos painéis solares .....	77
Figura 51 - Aplicação da ação de vento: vista frontal (a) e vista 3d (b).....	77
Figura 52 - Efeito do vento nos elementos estruturais .....	78
Figura 53 - Deslocamentos máximos da estrutura ocasionados pelas ações do vento ...	78
Figura 54 - Carga da defesa metálica .....	79
Figura 55- Carga de impacto aplicada no centro da viga. ....	80
Figura 56 - Deslocamento causado pela carga de impacto.....	80
Figura 57 - Verificação dos elementos estruturais .....	81
Figura 58 - Deslocamento máximo da estrutura considerando a combinação integrada de todas as cargas atuantes. ....	82

Figura 59 - Ligações da edificação: a) ligação pilar/base; b) ligação pilar/viga inferior; c) ligação pilar/viga de cobertura; e d) ligação viga de cobertura/perfis de fixação .....	82
Figura 60 - Estrutura tipo do estacionamento.....	83
Figura 61 - Dimensionamento das características das fundações .....	84
Figura 62 - Detalhamento construtivo das fundações .....	84
Figura 63 - Detalhamento construtivo das fundações .....	85
Figura 64 - Disposição dos painéis no estacionamento em frente ao centro de convivência universitária .....	87
Figura 65 - Disposição dos painéis no estacionamento em frente ao centro de biblioteca .....	88
Figura 66 - Disposição dos painéis no estacionamento em frente ao Prédio dois.....	88
Figura 67 - Disposição dos painéis no estacionamento em frente ao Prédio Laboratório .....	89
Figura 68 - Irradiação normal direta no local da edificação.....	90
Figura 69 - Economia mensal prevista .....	92

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores dos coeficientes de ponderação das ações $\gamma_f = \gamma_{f1} \gamma_{f3}$ .....	29
Tabela 2 - Valores dos fatores de combinação $\psi_0$ e de redução $\psi_1$ e $\psi_2$ para as ações variáveis.....	30
Tabela 3 - Parâmetros meteorológicos .....	34
Tabela 4 - Fator de rajada.....	34
Tabela 5 - Valores mínimos do fator estatístico $S_3$ .....	35
Tabela 6 - Levantamento de área e número de vagas de cada setor do estacionamento da UFOB .....	63
Tabela 7 - Resumo dos aços da estrutura tipo .....	85
Tabela 8 - Resumo de perfis da estrutura tipo.....	86
Tabela 9 - - Resumo de ligações da estrutura tipo.....	86
Tabela 10 - Quantidade de módulos fotovoltaicos previstos para cada estacionamento de acordo com o espaço disponível.....	87
Tabela 11– Potência total produzida – Médias mensais.....	90
Tabela 12 – Potência total produzida com perdas – Médias mensais .....	91
Tabela 13 – Características do dimensionamento .....	91
Tabela 14 – Projeção de 30 anos de geração sem perdas. ....	92
Tabela 15 – Especificações do painel e inversores definidos.....	93
Tabela 16 – Quantitativos de componentes do sistema de energia solar.....	94
Tabela 17 – Orçamentos gerais dos fornecedores X, Y e Z do sistemas de energia solar. ....	95
Tabela 18 – Quantitativos de perfis e ligações para todo estacionamento .....	96
Tabela 19 – Orçamentos dos fornecedores de estruturas metálicas .....	97

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	14
1.2 JUSTIFICATIVA .....	15
1.3 HIPÓTESES .....	16
1.4 OBJETIVOS .....	16
1.4.1. Objetivos específicos .....	16
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	17
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>18</b>
2.1. ENERGIA SOLAR .....	18
2.1.1. Desenvolvimento da energia solar no Brasil .....	18
2.1.2. Produção de Energia no Território Brasileiro .....	19
2.1.3. Componentes dos sistemas fotovoltaicos .....	21
2.1.4. Módulos bifaciais .....	23
2.1.5. Garagem solar .....	24
2.1.6. Estudos sobre aplicação de estacionamento em painel solar .....	26
2.2. DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA METÁLICA .....	27
2.2.1. ESTADOS LIMITES .....	27
2.2.2. Ações permanentes .....	28
2.2.3. Ações variáveis .....	29
2.2.4. Combinação das ações .....	35
2.2.5. ELEMENTOS ESTRUTURAIS .....	36
2.2.5.1 Terças .....	36
2.2.5.2. PERFIS TRELIÇADOS .....	37
2.2.6. TIPOS DE LIGAÇÕES .....	39
2.3. COMPOSIÇÃO DE CUSTOS E VIABILIDADE ECONÔMICA .....	40
2.3.1 INDICADORES ECONÔMICOS .....	41
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>44</b>
3.1 ETAPA 1: ESTACIONAMENTO DA UFOB EM BARREIRAS-BA .....	45
3.2 ETAPA 2: DIMENSIONAMENTO DOS PAINÉIS SOLARES PARA COBERTURA DO ESTACIONAMENTO .....	48
3.3 ETAPA 3: DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA METÁLICA .....	50
3.4 ETAPA 4: COMPOSIÇÃO DE CUSTOS E VIABILIDADE ECONÔMICA .....	59

<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>61</b>
4.1 LEVANTAMENTO DA ÁREA DO ESTACIONAMENTO DA UFOB .....	61
4.2 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA METÁLICA .....	66
4.2.1 Ação do vento.....	67
4.2.2 Dimensionamento no software Cypecad.....	70
4.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	86
4.4 COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO E DA ESTRUTURA METÁLICA.....	94
4.5 RESULTADOS DA VIABILIDADE ECONÔMICA.....	98
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>103</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>105</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Ao refletir sobre o cenário energético atual, é evidente que a energia solar fotovoltaica se destaca não apenas por sua abundância, mas também por ser uma das alternativas mais limpas e sustentáveis disponíveis. O Brasil se destaca mundialmente na geração de energia solar por contar com níveis elevados de irradiação em grande parte de seu território, o que favorece amplamente o aproveitamento dessa fonte renovável (SILVA, H. M. F.; ARAÚJO, F. J. C, 2022).

Essa tecnologia desponta como uma das alternativas mais promissoras para suprir as demandas energéticas globais, mitigando impactos ambientais e acelerando a transição para uma matriz descarbonizada (SANTOS et al., 2019). O Brasil apresenta alta incidência solar em todas as regiões, com destaque para o Nordeste, que concentra os maiores índices de irradiação do país, conforme demonstrado por estudos técnicos e acadêmicos sobre o potencial energético regional (PEREIRA, 2019).

A Bahia destaca-se nacionalmente como um dos principais polos para o desenvolvimento das energias renováveis. Estudos realizados na última década demonstram que o estado apresenta condições naturais excepcionais para a geração solar e eólica, com índices de irradiação superiores à média nacional e ventos constantes ao longo do ano (PEREIRA, 2019; SANTOS et al., 2019). O Nordeste, por sua vez, responde por uma parcela significativa da geração distribuída brasileira, impulsionado por condições naturais favoráveis e investimentos crescentes no setor (BEZERRA, 2023; SANTOS et al., 2019).

Esse crescimento é reflexo de políticas de incentivo e do aumento do interesse do setor privado, que expandiu a capacidade regional em ritmo acelerado nos últimos anos. Nesse contexto, instituições de ensino superior têm adotado sistemas fotovoltaicos em estacionamentos, combinando eficiência energética e otimização espacial. A Universidade de São Paulo (USP), por exemplo, implantou uma usina de 1,2 Mwp em São Carlos, que gera economia anual de 420 mil reais e reduz emissões em 1.200 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (USP, 2022). Projetos similares na Universidade Federal de Pernambuco e na Universidade Federal do Ceará reforçam o papel das universidades como incentivadoras dessa cultura de geração própria, assim colabora diretamente com a sustentabilidade (PINHO et al., 2021).

Um dos aspectos estratégicos do projeto de sustentabilidade energética na UFOB é a integração de painéis fotovoltaicos no estacionamento universitário, combinando geração de

energia renovável com a otimização do espaço físico. Essa iniciativa não apenas contribui para o aumento da transição energética da instituição, mas também oferece benefícios complementares, como proteção térmica para veículos. O presente estudo tem como foco principal avaliar a viabilidade técnica e econômica dessa implantação, abrangendo dimensionamento do sistema fotovoltaico com base no consumo energético da universidade, a análise estrutural da cobertura do estacionamento, e a avaliação financeira por meio de metodologias consolidadas como Valor Presente Líquido (VPL), Payback descontado e Taxa Mínima de Atratividade (TMA), assim garantindo que o projeto atenda tanto aos critérios de sustentabilidade quanto à eficiência econômica.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A sustentabilidade energética tornou-se uma prioridade global diante dos desafios ambientais e da crescente demanda por fontes de energia limpa. A energia fotovoltaica desponta como uma solução eficaz, alinhando preservação ambiental e produção baseada em recursos renováveis. No caso de instituições públicas, como universidades, os sistemas fotovoltaicos integrados a estacionamentos representam uma alternativa estratégica, pois combinam eficiência energética com a otimização de áreas já existentes, ao mesmo tempo em que promovem benefícios econômicos.

Esta pesquisa nasce da observação do estacionamento da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), onde é evidente a ausência de estruturas de cobertura que protejam os veículos da intensa radiação solar característica da região de Barreiras-BA. Este calor latente, ao aquecer os veículos estacionados, compromete o conforto de ocupação e afeta diretamente o bem-estar dos usuários, sobretudo em dias de alta temperatura, que são comuns devido à localização geográfica da cidade.

A Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), localizada em uma região com alta incidência solar durante todo o ano, apresenta condições ideais para a implementação de um estacionamento solar. Barreiras-BA, município-sede da universidade, possui uma média de irradiação solar de 5,8 kWh/m<sup>2</sup>/dia (CRESESB,2023), sendo amplamente favorável à eficiência energética dos painéis fotovoltaicos. Além de gerar energia renovável, a cobertura solar do estacionamento oferece benefícios adicionais, como a proteção térmica dos veículos, melhorando o conforto e a usabilidade do espaço.

A instalação de módulos fotovoltaicos no estacionamento da UFOB reflete um compromisso com a sustentabilidade e a inovação tecnológica. Além disso, diante do contexto

de demanda existente por energia elétrica e por espaços funcionalmente otimizados, a proposta garante que a UFOB esteja alinhada às tendências observadas em outras instituições de ensino superior, como a USP e a UFPE, consolidando seu papel como modelo de transição energética no estado da Bahia.

Diante disso, é fundamental realizar uma análise cuidadosa para avaliar a viabilidade do projeto, essa avaliação ajudará a determinar se o investimento é viável e quanto tempo levará para que os benefícios gerados pela economia de energia justifiquem o valor investido. A presente pesquisa visa, portanto, não apenas atender às necessidades energéticas da universidade, mas também contribuir para iniciativas ambientais estratégicas em âmbito regional e nacional.

### 1.3 HIPÓTESES

A implantação de um sistema de energia solar no estacionamento proporcionará benefícios econômicos a Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), e ao mesmo tempo atender à necessidade de produzir energia renovável, reduzindo significativamente seus gastos com a conta de eletricidade e trazendo conforto a quem utiliza o estacionamento.

### 1.4 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade da implantação de um sistema de energia solar no estacionamento da UFOB em cobertura metálica com placa de energia solar, abordando os aspectos técnicos e econômicos.

#### 1.4.1. Objetivos específicos

- Realizar um levantamento técnico das condições físicas do estacionamento, a fim de entender a viabilidade da instalação de painéis solares.
- Avaliar o potencial de geração de energia fotovoltaica do estacionamento, junto a condição da UFOB, localização geográfica e características do espaço e realizar o dimensionamento do sistema de energia solar.
- Dimensionamento de estruturas metálicas a serem utilizadas no estacionamento para recebimento dos painéis solares.

➤ Avaliar o custo de implantação e dimensionamento do sistema, verificando benefícios imediatos e em longo prazo.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em cinco capítulos. O capítulo 1 apresenta a introdução, contextualizando a importância da energia solar fotovoltaica e sua aplicabilidade na Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), além de expor os objetivos, justificativas e hipóteses do estudo.

No capítulo 2 é realizada uma revisão da literatura com foco nos conceitos fundamentais da energia solar, sistemas fotovoltaicos, módulos bifaciais, estrutura metálica para cobertura de estacionamentos e estudos prévios sobre a aplicação da energia solar em áreas de estacionamento, ressaltando seu potencial técnico e econômico.

O capítulo 3 detalha a metodologia adotada, incluindo o levantamento técnico do estacionamento da UFOB com o uso de drones, o dimensionamento do sistema fotovoltaico por meio de softwares especializados, o cálculo estrutural das coberturas metálicas e a composição de custos com análise de viabilidade econômica utilizando indicadores financeiros.

No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos, tais como o levantamento das áreas do estacionamento, o pré-dimensionamento dos painéis solares e da estrutura metálica, bem como a avaliação econômica que embasa a viabilidade do projeto. Por fim, o capítulo 5 traz as conclusões do estudo, destacando as contribuições para a sustentabilidade na universidade, e sugere direções para trabalhos futuros, seguido pelas referências bibliográficas utilizadas ao longo do trabalho.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo tem como objetivo apresentar os conceitos fundamentais, princípios técnicos e estudos relacionados à energia solar fotovoltaica e sua aplicação em estacionamentos, servindo como base teórica para o desenvolvimento da pesquisa. Inicialmente, são abordados aspectos históricos e o panorama atual da energia solar no Brasil, destacando o crescimento exponencial da capacidade instalada e as políticas públicas que impulsionaram essa expansão. Em seguida, discute-se a estrutura e o funcionamento dos sistemas fotovoltaicos, incluindo módulos bifaciais e os componentes essenciais para a geração de energia. Por fim, são explorados os estudos e aplicações de coberturas metálicas para estacionamentos, analisando o dimensionamento estrutural e a viabilidade econômica da implantação de sistemas fotovoltaicos integrados nesses espaços.

### 2.1. ENERGIA SOLAR

#### 2.1.1. Desenvolvimento da energia solar no Brasil

A energia solar fotovoltaica tem apresentado um crescimento expressivo na última década, ganhando cada vez mais destaque no cenário mundial (SILVA, 2017). No Brasil, esse avanço é evidenciado pelo aumento significativo da capacidade instalada, que saltou de poucos megawatts para vários gigawatts em menos de uma década, tornando o país um dos mercados mais promissores para essa tecnologia (MIRANDA, 2015).

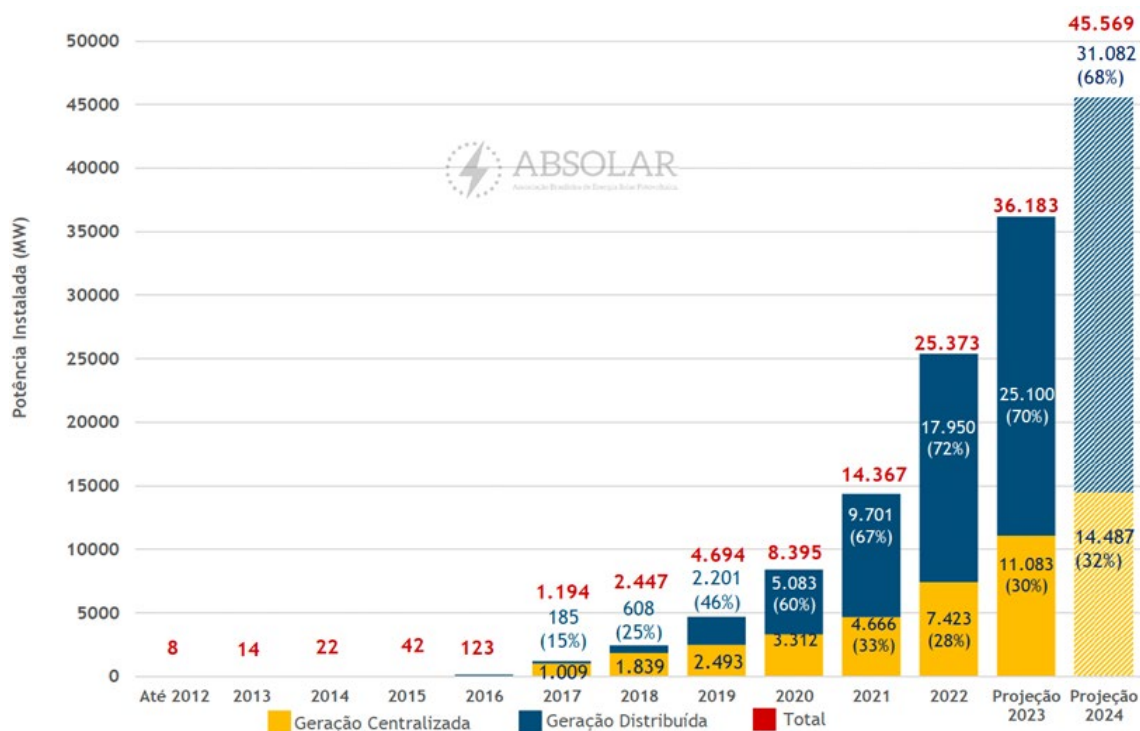
A evolução da energia solar no Brasil foi impulsionada tanto por políticas públicas quanto por avanços tecnológicos e redução dos custos dos equipamentos (SANTOS et al., 2019). A regulamentação da geração distribuída, especialmente após a Resolução Normativa nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica, permitiu que consumidores gerassem sua própria eletricidade, contribuindo para a ampliação da participação da energia solar na matriz elétrica nacional (SILVA, 2023). Estudos recentes também destacam o papel dos leilões de energia e das linhas de crédito específicas para projetos solares como fatores cruciais para o crescimento do setor (NOGUEIRA, 2022).

A análise do cenário brasileiro revela que a energia solar fotovoltaica ainda não alcançou seu potencial máximo, mas apresenta tendência de crescimento contínuo. Santos et al. (2019) projetam que, até 2025, a potência instalada de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no país poderá atingir cerca de 75,6 GWp, representando aproximadamente 12,3% da demanda total de energia elétrica no Brasil. Essa evolução é corroborada por trabalhos acadêmicos que destacam

a importância da energia solar para a diversificação da matriz elétrica nacional e para a promoção da sustentabilidade energética (SILVA,2017).

A Figura 1 ilustra o crescimento da energia solar fotovoltaica no Brasil ao longo dos anos, evidenciando a trajetória ascendente e o rápido avanço dessa tecnologia no país. Segundo Santos et al. (2019), o crescimento anual da capacidade instalada segue tendência global, com incrementos expressivos a cada ano, especialmente em sistemas de geração distribuída.

Figura 1 - Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil.



Fonte: ANEEL, Adaptado pela ABSOLAR. (2023)

Trabalhos recentes destacam que a participação da energia solar na matriz elétrica nacional tende a crescer continuamente, consolidando-a como uma das principais fontes de geração de energia elétrica do país (SILVA, 2017). Embora as perspectivas para os próximos anos apontem para uma estabilização do ritmo de crescimento, espera-se que a energia solar continue expandindo sua importância na matriz elétrica brasileira (SANTOS et al., 2019).

### 2.1.2. Produção de Energia no Território Brasileiro

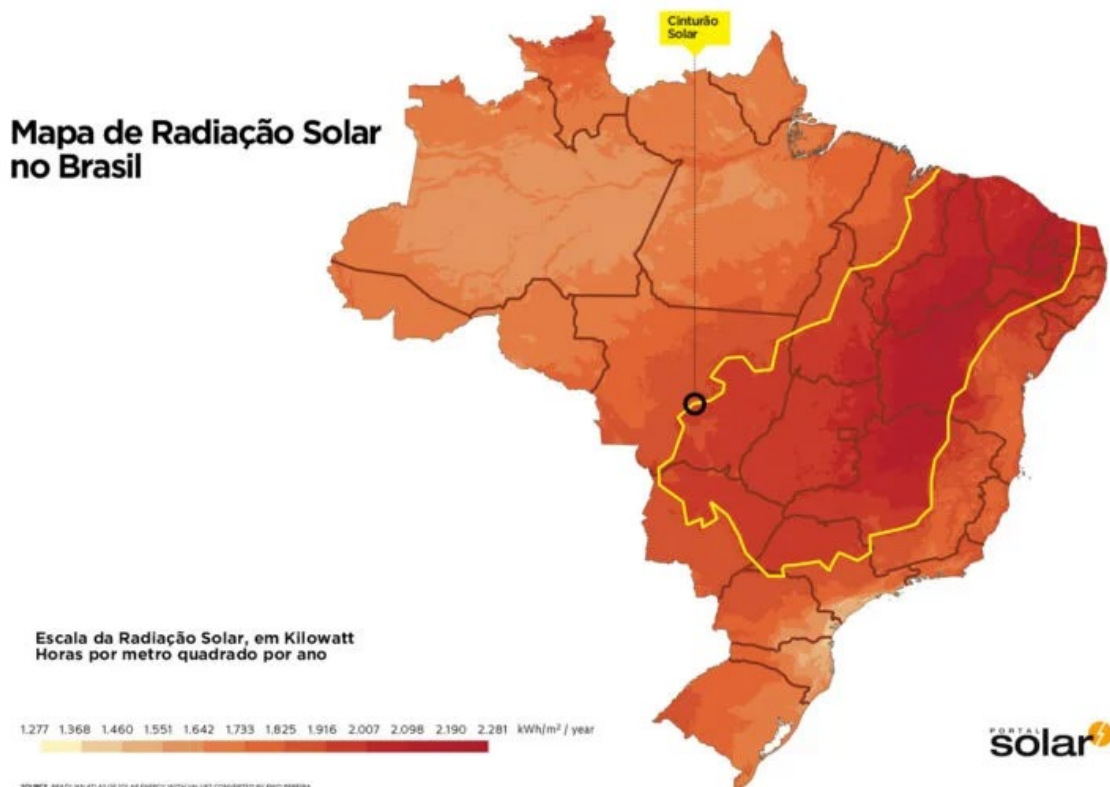
Conforme Jardim (2007), a energia solar apresenta um potencial global imenso, com sua capacidade excedendo a demanda energética mundial. Este fenômeno já é evidente em diversos países, incluindo o Brasil, onde a fonte solar tem ganhado cada vez mais espaço. As

projeções para o futuro indicam um crescimento substancial da contribuição da energia solar fotovoltaica na geração de eletricidade em escala mundial, refletindo não apenas avanços técnicos, mas também uma mudança paradigmática em direção a fontes de energia mais sustentáveis e renováveis (BEZERRA, 2021).

A energia solar fotovoltaica no Brasil tem registrado um crescimento significativo nos últimos anos, consolidando-se como uma das principais fontes renováveis na matriz energética do país. Nos últimos períodos, a capacidade instalada dessa tecnologia aumentou expressivamente, refletindo o avanço e a adoção em larga escala dessa fonte de energia sustentável (NAZARE, 2023).

O território brasileiro apresenta condições excepcionais para o aproveitamento da energia solar, especialmente em regiões como o Cinturão Solar, que abrange áreas do Nordeste até o Pantanal (Figura 2). Essa região, na qual faz parte a Universidade Federal do Oeste da Bahia, se destaca por níveis de irradiação solar superiores aos observados em muitos países europeus, onde a energia solar já é amplamente utilizada (PEREIRA et al., 2017).

Figura 2 - Mapa de radiação solar no Brasil



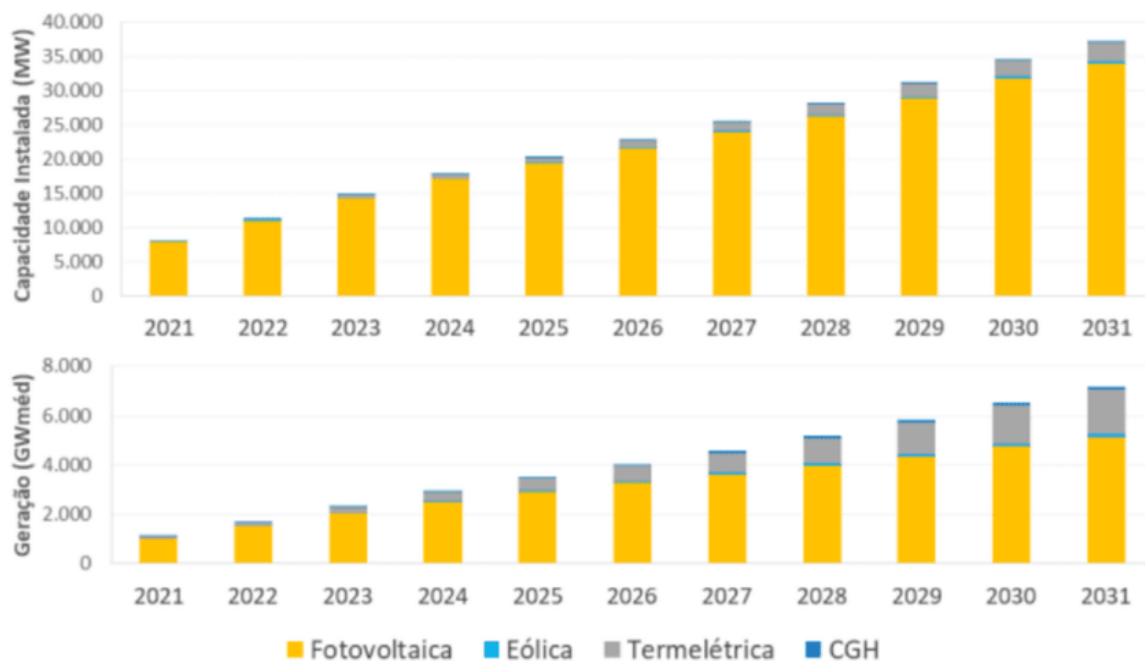
Fonte: FABESP (2019)

A integração de sistemas fotovoltaicos em edificações urbanas, conectados à rede elétrica pública, surge como uma estratégia eficiente para diversificar a matriz energética e

reduzir perdas na transmissão e distribuição de energia. Essa abordagem permite que a geração ocorra próxima aos pontos de consumo, otimizando a eficiência do sistema elétrico (RÜTHER, 2004).

O crescimento acelerado da energia solar no Brasil, como apresentado na Figura 3, tem sido impulsionado por fatores como incentivos governamentais, redução nos custos dos equipamentos e maior conscientização ambiental. Esse avanço reflete não apenas uma transformação no cenário energético nacional, mas também uma tendência global em direção a fontes de energia mais limpas e sustentáveis, conforme destacado em estudos recentes sobre o mercado brasileiro (SANTOS et al., 2019).

Figura 3 - Projeção da contribuição fotovoltaica até 2031 no Brasil



Fonte: Ministério de Minas e Energia (2021)

Além disso, pesquisas apontam que a regulamentação e a adoção de políticas públicas favoráveis à energia solar têm desempenhado papel fundamental nesse processo, contribuindo para a rápida expansão da capacidade instalada e para a consolidação da fonte como estratégica para a matriz elétrica brasileira (SILVA, 2017).

### 2.1.3. Componentes dos sistemas fotovoltaicos

Os sistemas de energia solar fotovoltaica são compostos por diversos componentes essenciais que trabalham em conjunto para converter a luz solar em eletricidade utilizável. Os

principais componentes de um sistema fotovoltaico incluem os módulos solares, inversores, estruturas de suporte e, em alguns casos, sistemas de armazenamento de energia (PINHO e GALDINO, 2014).

Os módulos solares, também conhecidos como painéis fotovoltaicos, são considerados o “coração do sistema”. Eles são responsáveis pela conversão direta da luz solar em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico. Esses módulos são compostos por células solares, geralmente feitas de silício, que geram corrente contínua quando expostas à luz solar (SILVA, 2017). A dominância do silício cristalino no setor é notável, com os painéis deste material representando aproximadamente 85% do mercado de módulos fotovoltaicos (PINHO e GALDINO, 2014). Essa prevalência reflete não apenas a eficácia da tecnologia, mas também sua maturidade e aceitação na indústria solar.

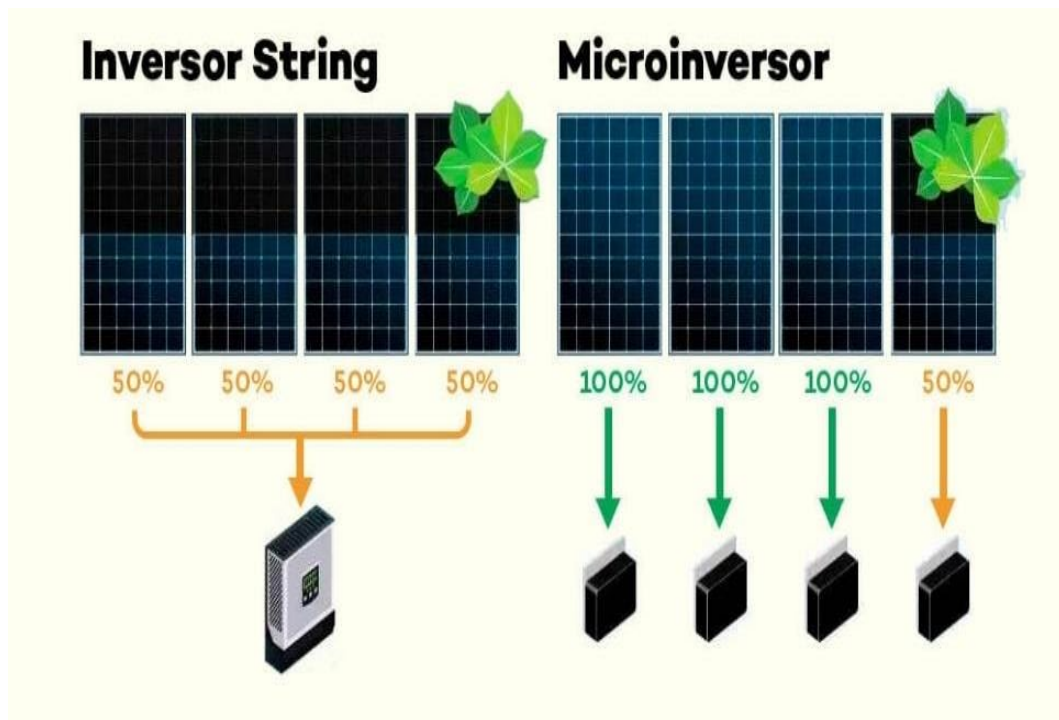
O inversor é outro componente crucial, pois converte a corrente contínua gerada pelos módulos em corrente alternada, compatível com a rede elétrica e os aparelhos domésticos. Os inversores modernos não apenas realizam essa conversão, mas também otimizam o desempenho do sistema e fornecem dados de monitoramento (SILVA, 2017).

Além dos inversores tradicionais (string), os microinversores surgem como uma alternativa tecnológica com vantagens específicas. Enquanto os inversores convencionais operam em configuração centralizada, onde o desempenho do sistema é limitado pelo painel de menor eficiência, os microinversores atuam de forma distribuída, otimizando individualmente cada módulo fotovoltaico (NOGUEIRA, 2022).

Essa arquitetura permite maior eficiência energética em condições de sombreamento parcial ou desuniformidade entre os painéis, como demonstrado na Figura 4. Estudos recentes destacam que sistemas com microinversores podem apresentar ganhos de produtividade significativos em comparação com sistemas convencionais, especialmente em ambientes residenciais com obstruções variáveis (SANTOS et al., 2019).

No entanto, trabalhos acadêmicos apontam que os microinversores possuem custo inicial mais elevado e maior complexidade de instalação, sendo mais adequados para sistemas residenciais ou pequenas instalações, enquanto inversores string ou híbridos mantêm vantagens econômicas em usinas de grande porte (PEREIRA, 2019).

Figura 4 - Inversor String e o Microinversor diferença no rendimento



Fonte: Neosolar (2023)

Em sistemas conectados à rede, um medidor bidirecional é utilizado para contabilizar a energia produzida e consumida, permitindo a implementação do sistema de compensação de energia, onde o excedente produzido pode ser injetado na rede e compensado posteriormente (PEREIRA, 2019).

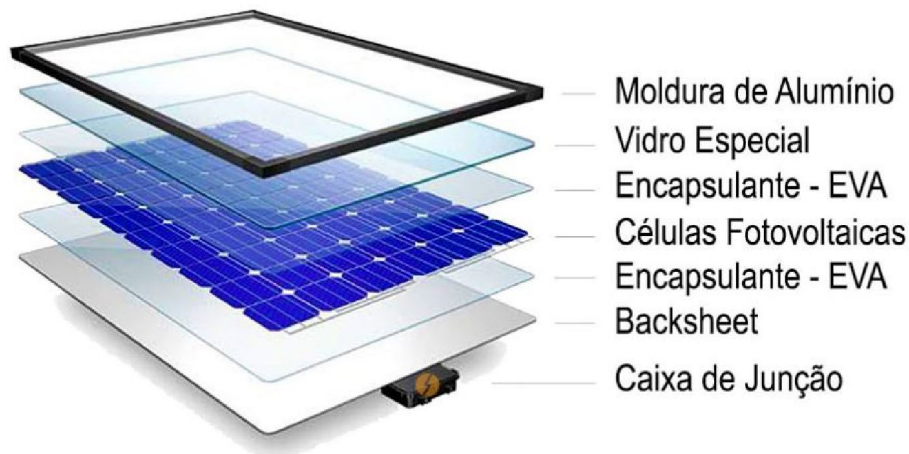
#### 2.1.4. Módulos bifaciais

Os painéis solares bifaciais representam uma evolução significativa na tecnologia fotovoltaica, caracterizando-se por captar radiação solar em ambas as faces. Conforme demonstrado em estudos recentes, esses módulos utilizam células especiais que permitem a absorção da luz direta na face frontal e da radiação refletida (efeito Albedo) na face traseira, podendo aumentar a produção energética em 10–25% comparado a módulos convencionais sob condições reais de operação (BADRAN, 2024). Em sistemas de grande escala, como usinas solares, o ganho bifacial pode atingir 15,12–17,31% em comparação com painéis monofaciais, mesmo considerando degradação anual marginalmente superior (BADRAN, 2024).

Historicamente, os painéis bifaciais (Figura 5) foram aplicados em projetos integrados a ambientes urbanos e agrícolas, como coberturas verdes e rodovias, onde a reflexão superficial é otimizada (EPJ PHOTOVOLTAICS, 2024). Seu desempenho ótimo ocorre quando instalados em estruturas elevadas, permitindo maior captação da luz refletida pelo solo, com ganhos

energéticos documentados entre 5,5% e 7,5% em sistemas fixos e até 25–30% em configurações que aproveitam albedo natural ou artificial (EPJ PHOTOVOLTAICS, 2024).

Figura 5 - Composição de um módulo fotovoltaico bifacial



Fonte: RGN – Soluções em energia (2020)

O avanço da tecnologia de painéis bifaciais está diretamente relacionado à redução dos custos dos materiais empregados em sua fabricação. Segundo análises de mercado apresentadas em estudos acadêmicos recentes, o preço do vidro solar, utilizado como encapsulante traseiro nos painéis bifaciais, registrou queda significativa nos últimos anos, contribuindo para tornar essa tecnologia mais acessível e economicamente viável (CARVALHO, 2022).

Essa redução de custos, aliada à maior eficiência energética e à durabilidade proporcionada pela estrutura de vidro duplo, tem impulsionado a adoção dos painéis bifaciais em grandes usinas solares, especialmente em instalações que aproveitam superfícies refletoras e estruturas elevadas (GOTTARDO, 2022).

#### 2.1.5. Garagem solar

Os carports solares emergem como uma solução inteligente que alia geração de energia limpa à proteção de veículos, demonstrando especial eficácia em estacionamentos de grande fluxo. Estudos recentes comprovam que essas estruturas podem reduzir em até 5°C a temperatura interna dos veículos estacionados, além de gerar excedentes energéticos significativos (VIANA, 2024). Essa dupla funcionalidade tem impulsionado sua adoção em centros comerciais e espaços públicos (Figura 6)

Figura 6 - Estacionamento da Universidade Federal do Paraná (UFPR)



Fonte: Época (2020)

A análise de viabilidade de implementação de placas fotovoltaicas no estacionamento da Universidade Tuiuti do Paraná, em Curitiba, mostrou que a construção de carports solares é financeiramente viável. O projeto apresentou um payback de 5 anos e uma taxa interna de retorno (TIR) de 33,82%, evidenciando atratividade econômica e benefícios significativos para a instituição (BURMESTER et al. , 2023). Além disso, a pesquisa destacou a importância de uma base teórica robusta, fundamentada em literatura científica e práticas de instalação, para garantir o sucesso da implementação.

Em outra análise, realizada em uma instituição de ensino superior pública no Espírito Santo, foram investigadas as percepções da comunidade acadêmica sobre a instalação de um estacionamento solar. Os resultados apontaram amplo apoio à iniciativa, além de comprovar a viabilidade financeira e os benefícios ambientais do projeto. O estudo também reforçou a importância de alinhar as decisões institucionais às expectativas da comunidade, promovendo sustentabilidade e eficiência econômica (DE SOUZA et al., 2024).

A implementação de sistemas fotovoltaicos on-grid como cobertura de estacionamentos, utilizando carports solares, também foi avaliada em um supermercado na cidade de Franca-SP. O estudo demonstrou economia mensal aproximada de R\$ 6.741,54 na

conta de energia, além de satisfação dos clientes com a cobertura do estacionamento. O trabalho concluiu que o carport solar é uma solução viável, capaz de gerar energia limpa e renovável, ao mesmo tempo em que proporciona sombra aos veículos (RIBEIRO et al., 2022).

#### 2.1.6. Estudos sobre aplicação de estacionamento em painel solar

A implementação de estacionamentos solares em instituições de ensino superior no Brasil tem sido objeto de estudos que comprovam sua viabilidade técnica, econômica e ambiental. Pereira et al. (2019), ao analisar uma planta piloto de estacionamento solar na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), destacam que a geração fotovoltaica em estacionamentos pode atender demandas energéticas locais, inclusive para recarga de veículos elétricos, além de contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa e fomentar atividades de pesquisa e inovação no ambiente universitário (PEREIRA, 2019). O estudo ressalta que a integração de sistemas fotovoltaicos em estacionamentos representa uma solução estratégica para o setor público, promovendo eficiência energética e sustentabilidade.

A conversão da energia solar em eletricidade tem se destacado como prioridade em projetos de sustentabilidade, especialmente pela necessidade de alternativas limpas e renováveis. No estudo de Santos (2023), foi realizada a análise de viabilidade técnica e econômica para a implantação de um estacionamento solar na Unidade de Pronto Atendimento (UPA) de Barreiras-BA. O projeto compreendeu o dimensionamento da cobertura com módulos fotovoltaicos integrados, que proporcionam sombra e suprimento energético ao hospital. O estudo concluiu que seriam necessárias 180 placas solares conectadas a 3 inversores para suprir a demanda da instituição. Os resultados financeiros demonstram que o investimento tem retorno previsto em 3 anos e 10 meses, apresentando-se como solução replicável a outras instituições públicas e com impacto direto no atendimento à sustentabilidade e à economia local (SANTOS, 2023).

Outro caso relevante é o da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), onde Dantas (2020) realizou uma análise detalhada do desempenho do sistema fotovoltaico instalado no estacionamento do Centro de Tecnologia. O sistema, com capacidade instalada de 99 kWp, foi monitorado entre 2016 e 2019, demonstrando resultados expressivos em termos de geração de energia e eficiência operacional. Dantas destaca que o projeto não apenas contribuiu para a redução dos custos com energia elétrica, mas também serviu como referência para a promoção de infraestrutura sustentável e formação de profissionais comprometidos com a sustentabilidade (DANTAS, 2020).

Além disso, estudos de caso em outras instituições, como o realizado por Vale (2018) na Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), reforçam a viabilidade econômica da instalação de estacionamentos solares. O autor apresenta dois cenários de geração de energia elétrica por meio de coberturas fotovoltaicas, evidenciando que a energia excedente pode ser injetada na rede, gerando créditos e reduzindo significativamente o valor da conta de energia. Os resultados mostram que a adoção dessa tecnologia em estacionamentos universitários é capaz de proporcionar benefícios financeiros e ambientais, alinhando-se às políticas de incentivo à geração distribuída no setor público (VALE, 2018).

## 2.2. DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA METÁLICA

### 2.2.1. ESTADOS LIMITES

A norma brasileira responsável por estabelecer os critérios para o dimensionamento e verificação dos estados limites em estruturas metálicas é a NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios (ABNT, 2024), que regulamenta o projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto em edificações. De acordo com essa norma, uma edificação atinge o estado limite quando deixa de satisfazer os requisitos mínimos para seu desempenho adequado, sendo esse conceito dividido em dois principais tipos: estado limite último (ELU) e estado limite de serviço (ELS).

O estado limite último (ELU) está relacionado à segurança estrutural, indicando a situação em que a estrutura atinge sua capacidade máxima de resistência, podendo ocorrer colapso, perda de estabilidade ou falha de elementos estruturais, conforme a NBR8800, (ABNT, 2024). Quando o ELU é alcançado, a estrutura pode ficar inutilizável, exigindo intervenções corretivas severas, como reforço ou demolição. Para garantir a segurança, a seguinte condição deve ser satisfeita (Eq. 1):

$$S_d \leq R_d \quad (1)$$

Onde  $S_d$  representa os esforços solicitantes de cálculo que podem levar ao estado limite, enquanto  $R_d$  corresponde aos esforços resistentes de cálculo nesse mesmo estado.

Por outro lado, o estado limite de serviço (ELS) refere-se à condição em que a estrutura apresenta perda de funcionalidade, seja por deformações excessivas, fissuras, vibrações ou outros efeitos que, embora não comprometam imediatamente a segurança, podem afetar o conforto, a durabilidade ou a estética da edificação (PINHEIRO, 2005). Mesmo manifestações

iniciais, como trincas ou falhas visuais, devem ser tratadas com atenção, pois podem evoluir para situações mais graves. A norma estabelece valores máximos permitidos para esses efeitos, sendo necessário que (Eq. 2):

$$S_{ser} \leq S_{lim} \quad (2)$$

Em que  $S_{ser}$  representa as variáveis dos efeitos solicitantes, calculadas pelas combinações de ações em situação de serviço, e  $S_{lim}$  são os valores limites estabelecidos pela norma para esses efeitos. Assim, a observância dos estados limites, conforme preconiza a NBR 8800 (ABNT, 2024), assegura tanto a segurança quanto o desempenho funcional das estruturas metálicas ao longo de sua vida útil.

### 2.2.2. Ações permanentes

Conforme estabelecido pela NBR 8800 (ABNT, 2024), ações permanentes são definidas como aquelas que atuam de forma contínua ou com variação insignificante ao longo da vida útil da estrutura. Estas se subdividem em:

- Diretas: correspondem às cargas intrínsecas da estrutura e dos elementos fixados nela, como peso próprio de vigas, pilares, lajes, alvenarias, revestimentos e sistemas prediais (NBR 8800 (ABNT, 2024)).

- Indiretas: relacionadas a esforços decorrentes de efeitos secundários, como recalques de fundações, retração do concreto em elementos mistos, variações térmicas e imperfeições geométricas (NBR 8800 (ABNT, 2024); PINHEIRO, 2021).

Para o cálculo preciso dessas ações, a NBR 6120 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações (ABNT, 2019) fornece valores característicos de cargas para materiais convencionais, como concreto, aço, alvenaria e sistemas de cobertura. Em casos de projetos que envolvam materiais inovadores (e.g., painéis fotovoltaicos, telhas sandwich ou estruturas leves não convencionais), a norma recomenda a consulta a ensaios laboratoriais, catálogos técnicos de fabricantes ou estudos específicos validados por entidades competentes.

A atualização da NBR 6120 (ABNT,2019) incorporou novos parâmetros, como cargas de sistemas sustentáveis (telhados verdes, painéis solares) e orientações para estruturas modulares, reforçando a necessidade de precisão no levantamento de cargas para garantir a segurança e o desempenho das edificações. Além disso, a NBR 8800 (ABNT, 2024) destaca a importância de considerar incertezas de projeto, como variações não previstas em materiais ou alterações de uso da edificação, por meio de coeficientes de ponderação adequados.

### 2.2.3. Ações variáveis

Conforme a NBR 8800 (ABNT,2024), ações variáveis são aquelas que apresentam variações significativas em intensidade, direção ou localização ao longo da vida útil da estrutura. Essas cargas estão associadas ao uso da edificação e a agentes externos, sendo classificadas em:

- Cargas de uso: sobrecargas em pavimentos (escritórios, áreas comerciais), peso de equipamentos móveis e cargas dinâmicas (tráfego de veículos).
- Cargas ambientais: vento, variações térmicas, pressões hidrostáticas/hidrodinâmicas e ações sísmicas (em regiões de risco).
- Cargas excepcionais: impactos, explosões ou eventos climáticos extremos (NBR 8800 (ABNT, 2024); PINHEIRO, 2021).

A norma estabelece que os valores característicos dessas ações devem ser determinados com base na NBR 6120 (ABNT, 2019), que atualiza critérios para vento, sobrecargas e fatores de combinação. A NBR 8800 (ABNT, 2024) mantém a sistemática de combinações últimas e de serviço, porém atualiza os coeficientes de ponderação (Tabela 1) e fatores de combinação (Tabela 2) para refletir avanços em segurança estrutural e cenários climáticos mais rigorosos.

Tabela 1 - Valores dos coeficientes de ponderação das ações  $\gamma_f = \gamma_{f1} \gamma_{f3}$

Combinações	Ações permanentes ( $\gamma_p$ ) <sup>a, f</sup>						
	Diretas, consideradas separadamente					Diretas agrupadas <sup>b</sup>	Indiretas
	Peso próprio de estruturas de aço e de equipamentos	Peso próprio de estruturas pré-moldadas, de madeira e de elementos construtivos industrializados	Peso próprio de estruturas moldadas <i>in loco</i> e empuxos permanentes	Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	Peso próprio de elementos construtivos em geral		
Normais	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,35 (1,00)	1,40 (1,00)	1,50 (1,00)	1,35 (1,00)	1,20 (0)
Especiais ou de construção	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,40 (1,00)	1,25 (1,00)	1,20 (0)
Excepcionais	1,10 (1,00)	1,15 (1,00)	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,30 (1,00)	1,15 (1,00)	0 (0)
Combinações	Ações variáveis ( $\gamma_q$ ) <sup>a, f</sup>						
	Consideradas separadamente					Agrupadas <sup>c</sup>	
	Efeito da temperatura		Ação do vento	Ações truncadas <sup>d</sup>	Demais ações variáveis		
Devido à variação térmica da atmosfera	Gerada por equipamentos <sup>e</sup>						
Normais	1,20	1,50	1,40	1,20	1,50	1,50	
Especiais ou de construção	1,00	1,30	1,20	1,10	1,30	1,30	
Excepcionais	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

<sup>a</sup> Os valores entre parênteses correspondem aos coeficientes para as ações permanentes favoráveis à segurança; ações variáveis e excepcionais favoráveis à segurança não podem ser incluídas nas combinações.

<sup>b</sup> As ações permanentes diretas podem ser todas agrupadas com os coeficientes apresentados nesta coluna, em função do tipo de combinação.

<sup>c</sup> As ações variáveis que não são favoráveis à segurança podem ser todas agrupadas com os coeficientes apresentados nesta coluna, em função do tipo de combinação (o efeito da temperatura devido à variação térmica da atmosfera pode ser considerado isoladamente, com seu próprio coeficiente de ponderação).

<sup>d</sup> Ações truncadas são consideradas ações variáveis cuja distribuição de máximos é truncada por um dispositivo, de modo que o valor dessa ação não possa superar o limite correspondente. O coeficiente de ponderação mostrado nesta Tabela se aplica a este valor-limite.

<sup>e</sup> O efeito da temperatura gerada por equipamentos deve ser considerado ação causada pelo uso e ocupação.

<sup>f</sup> No caso de equipamentos (móveis ou fixos) que suportam ou içam cargas, o peso próprio do equipamento deve ser considerado como ação permanente e a carga suportada ou içada, como ação variável.

Tabela 2 - Valores dos fatores de combinação  $\psi_0$  e de redução  $\psi_1$  e  $\psi_2$  para as ações variáveis

Ações		$\gamma_{f2}$ <sup>a,f</sup>		
		$\psi_0$	$\psi_1$ <sup>d</sup>	$\psi_2$ <sup>e</sup>
Ações variáveis causadas pelo uso e ocupação <sup>g</sup>	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo nem de elevadas concentrações de pessoas <sup>b</sup>	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo ou de elevadas concentrações de pessoas <sup>c</sup>	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas, garagens e coberturas	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
	Vigas de rolamento de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	0,7	0,6	0,4

<sup>a</sup> Ver 4.8.5.3-c).

<sup>b</sup> Edificações residenciais de acesso restrito.

<sup>c</sup> Edificações industriais, comerciais, de escritórios e de acesso ao público.

<sup>d</sup> Para estado-limite de fadiga (ver o Anexo H), usar  $\psi_1$  igual a 1,0.

<sup>e</sup> Para combinações excepcionais em que a ação principal for sismo, admite-se adotar para  $\psi_2$  o valor zero.

<sup>f</sup> Para ações truncadas, adotar  $\psi_0 = \psi_1 = \psi_2 = 1,0$

<sup>g</sup> Inclui o efeito da temperatura gerado por equipamentos

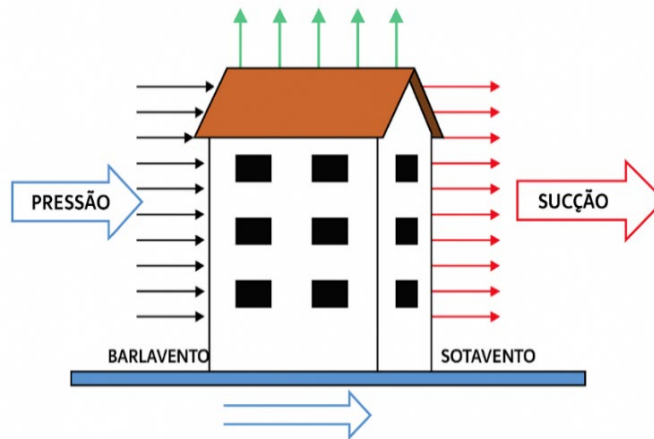
Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2024)

### 2.2.3.1 Ação dos ventos

Segundo Pinheiro (2021), a ação do vento representa uma das solicitações dinâmicas mais relevantes em estruturas metálicas, demandando uma análise detalhada para prevenir problemas como flambagem, fadiga e deslocamentos excessivos. A NBR 8800 (ABNT, 2024) define que estruturas com altura inferior a 5 vezes a menor dimensão horizontal podem ser classificadas como rígidas, permitindo a consideração do vento como ação estática equivalente, desde que atendidos os critérios de rigidez e distribuição de massas,

Para projetos em conformidade, a norma estabelece que os parâmetros de pressão e sucção do vento devem ser obtidos exclusivamente da NBR 6123 - Forças devidas ao vento em edificações (ABNT, 2023), que atualiza métodos de cálculo, fatores topográficos e coeficientes de segurança. Essa versão incorpora diretrizes para estruturas em regiões com ventos extremos e exige a combinação das ações de vento com outras cargas variáveis nos cenários mais críticos, conforme ilustrado na Figura 7.

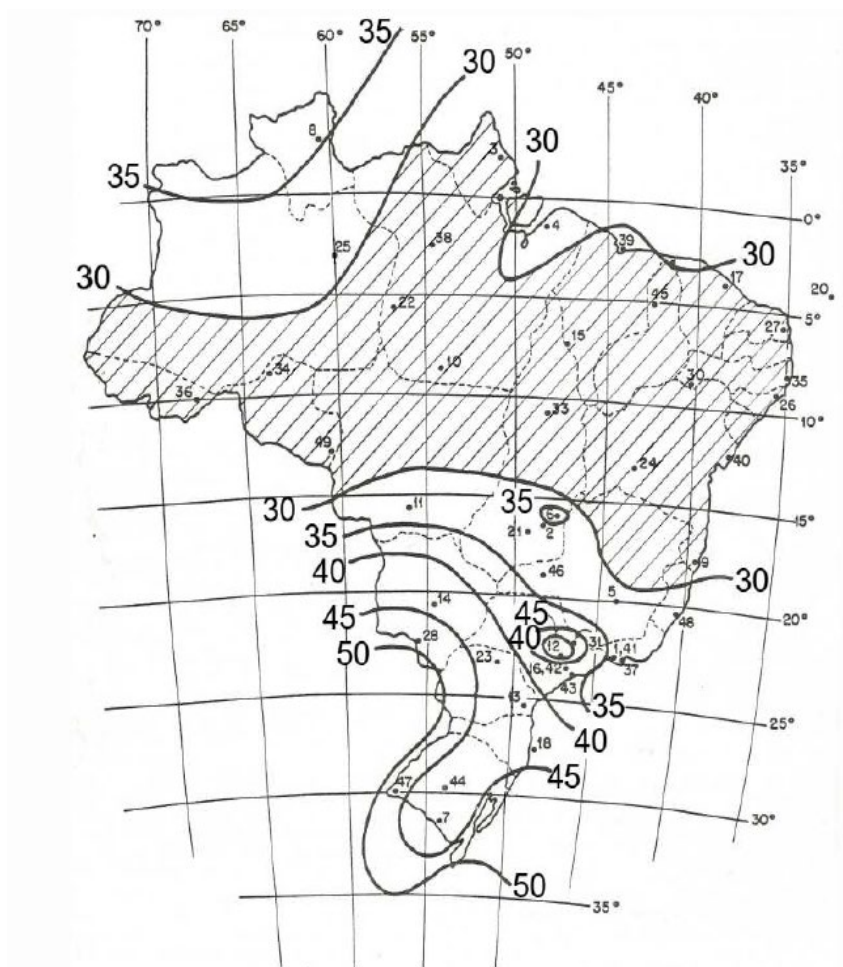
Figura 7 - Denominações dos efeitos de vento nas edificações



Fonte: Autor (2025)

A velocidade básica do vento ( $V_0$ ), é definida com base na região onde será construída, pelo mapa das isopletas de velocidade do vento da NBR 6123 (ABNT, 2023), como mostra a Figura 8.

Figura 8 - Isopletas de velocidade básica em  $m/s$



Fonte: NBR 6123 (ABNT, 2023)

Para o cálculo da velocidade característica do vento ( $V_k$ ), que é um parâmetro fundamental no dimensionamento de estruturas, adota-se a seguinte expressão, conforme preconizado pela NBR 6123/2023:

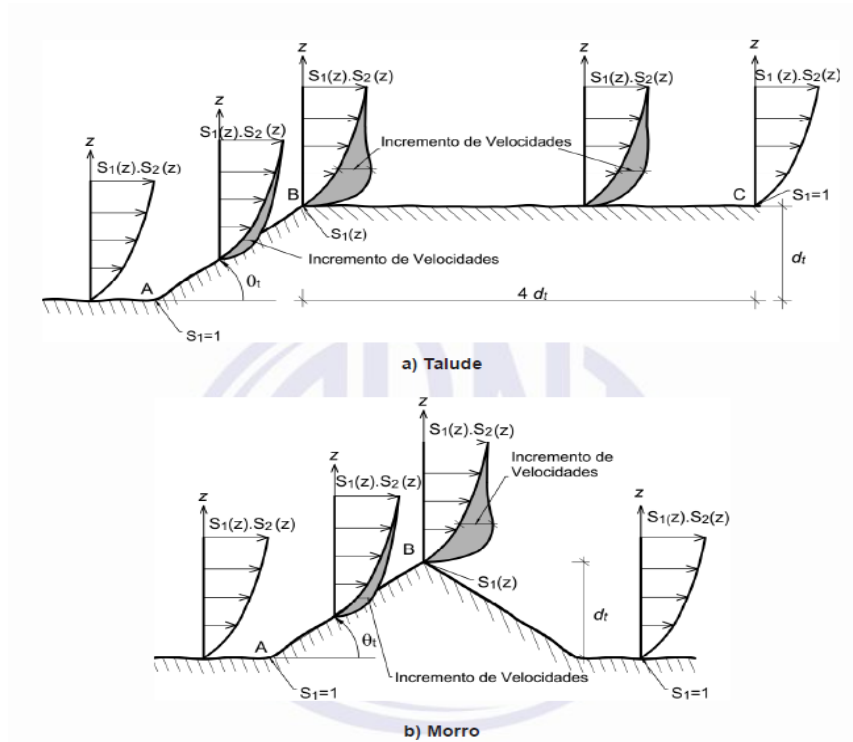
$$V_k = V_0 S_1 S_2 S_3 \quad (3)$$

Nessa equação,  $V_0$  representa a velocidade básica do vento, definida como a velocidade de uma rajada de 3 segundos, excedida em média uma vez a cada 50 anos, a 10 metros de altura, em terreno plano e aberto. As demais variáveis,  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$ , são fatores de ajuste que modulam essa velocidade básica em função das condições específicas do local e da edificação, sendo detalhados na sequência, conforme a NBR 6123 (ABNT, 2023).

- Fator topográfico ( $S_1$ ):

Conforme a NBR 6123 (ABNT, 2023), a influência da topografia do terreno na velocidade do vento é incorporada por meio do fator topográfico. Este fator ajusta a velocidade básica do vento em função das particularidades do relevo local, como declives, encostas ou topos de morros, impactando diretamente o carregamento eólico sobre a edificação, como ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Fator topográfico  $S_1$



Fonte: NBR 6123 (ABNT, 2023)

- Fator rugosidade do terreno e dimensões da edificação ( $S_2$ ):

Este fator é crucial para ajustar a velocidade do vento considerando a rugosidade do terreno no entorno da edificação, suas dimensões (altura e largura) e a altura em que a análise é realizada. A NBR 6123 (ABNT, 2023) categoriza os diferentes tipos de terreno em classes específicas, as quais determinam a forma como a velocidade do vento varia com a altura em função dos obstáculos existentes. A rugosidade do terreno é classificada em cinco categorias.

- Categoria I: Terrenos lisos com extensão superior a 5 km na direção do vento, como mar calmo, lagos e pântanos sem vegetação.
- Categoria II: Áreas abertas com obstáculos isolados inferior ou igual 1,0 m de altura, incluindo zonas costeiras planas, campos de aviação e fazendas sem cercas.
- Categoria III: Terrenos com obstáculos esparsos com cota média 3,0 m de altura, como subúrbios residenciais, granjas e áreas rurais com muros.
- Categoria IV: Regiões com obstáculos numerosos com cota média igual a 10 m de altura, abrangendo parques arborizados, cidades pequenas e zonas industriais.
- Categoria V: Áreas com obstáculos altos e densos igual ou superior 25 m de altura, como centros urbanos, florestas densas e complexos industriais avançados.

Segundo a NBR 6123 (ABNT, 2023), a velocidade do vento é calculada considerando intervalos de tempo específicos para medição de rajadas, que variam conforme as dimensões da estrutura. Para edificações ou elementos com até 20 m na maior dimensão (Classe A), adota-se intervalo de 3 segundos, enquanto estruturas entre 20 m e 50 m (Classe B) usam 5 segundos, e aquelas acima de 50 m (Classe C) empregam 10 segundos (ABNT, 2023).

A norma NBR 6123 (ABNT, 2023) destaca que intervalos maiores de medição abrangem rajadas mais extensas, sendo necessário ajustar o cálculo para estruturas com dimensões superiores a 80 m. Essa classificação considera características como descontinuidades estruturais (juntas, baixa redistribuição de cargas) e é fundamental para definir ações estáticas do vento em projetos de engenharia civil.

Segundo a NBR 6123/2023, o fator de rugosidade, que ajusta a velocidade do vento em altura ( $z$ ), é calculado pela Equação 4:

$$S_2 = b_m F_r \left(\frac{z}{10}\right)^p \quad (4)$$

onde  $F_r$  (fator de rajada) é fixo para Categoria II,  $b_m$  e  $p$  variam conforme a categoria do terreno (I a V), e  $z$  define o limite da camada atmosférica (Tabelas 3 e 4). Para elementos de vedação,

adota-se  $S_2$  do topo da edificação devido à deflexão do vento, que aumenta a pressão na base. Em Categoria V (centros urbanos),  $S_2$  mantém-se constante até 10 m, conforme a NBR 6123 (ABNT, 2023).

Tabela 3 - Parâmetros meteorológicos

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

Fonte: NBR 6123 (ABNT, 2023)

Tabela 4 - Fator de rajada

$F_r$	Classes		
	A	B	C
	1,00	0,98	0,95

Fonte: NBR 6123 (ABNT, 2023)

Portanto, para definir o valor de  $S_2$ , é necessário consultar a tabela 3 da NBR 6123/2023.

- Fator estatístico ( $S_3$ ):

Segundo a NBR 6123 (ABNT, 2023), o fator ajusta a velocidade básica do vento com base no nível de segurança e na vida útil da estrutura, considerando um período de retorno de 50 anos e probabilidade de 63% de ocorrência. Este fator é aplicado conforme a classificação da edificação (Tabela 5):

Tabela 5 - Valores mínimos do fator estatístico  $S_3$

Grupo	Descrição	$S_3$	$T_p$ (anos)
1	Estruturas cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, edifícios de centrais de controle, etc.). Pontes rodoviárias e ferroviárias. Estruturas que abrigam substâncias inflamáveis, tóxicas e/ou explosivas. Vedações das edificações do grupo 1 (telhas, vidros, painéis de vedação).	1,11	100
2	Estruturas cuja ruína represente substancial risco à vida humana, particularmente a pessoas em aglomerações, crianças e jovens, incluindo, mas não limitado a: <ul style="list-style-type: none"> <li>• edificações com capacidade de aglomeração de mais de 300 pessoas em um mesmo ambiente, como centros de convenções, ginásios, estádios etc.</li> <li>• creches com capacidade maior do que 150 pessoas;</li> <li>• escolas com capacidade maior do que 250 pessoas;</li> </ul> Vedações das edificações do grupo 2 (telhas, vidros, painéis de vedação).	1,06	75
3	Edificações para residências, hotéis, comércio, indústrias. Estruturas ou elementos estruturais desmontáveis com vistas a reutilização. Vedações das edificações do grupo 3 (telhas, vidros, painéis de vedação).	1,00	50
4	Edificações não destinadas à ocupação humana (depósitos, silos) e sem circulação de pessoas no entorno. Vedações das edificações do grupo 4 (telhas, vidros, painéis de vedação).	0,95	37
5	Edificações temporárias não reutilizáveis. Estruturas dos Grupos 1 a 4 durante a construção (fator aplicável em um prazo máximo de 2 anos). Vedações das edificações do grupo 5 (telhas, vidros, painéis de vedação).	0,83	15

NOTA Exclusivamente para o projeto das vedações, se permite que a velocidade característica seja calculada com o fator (0,92 x  $S_3$ ), em vez de  $S_3$

Fonte: NBR 6123/2023.

#### 2.2.4. Combinação das ações

A norma estabelece que as combinações últimas devem considerar as situações mais críticas de carregamento, incluindo ações permanentes, variáveis e excepcionais. Para combinações normais (sem ações acidentais), a Equação 5 é definida como:

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + \gamma_{k1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \phi_{0j} F_{Qj,k}) \quad (5)$$

Onde:

$F_d$  – Combinações de forças ultimas normais;

$F_{Gi,k}$  – Valores característicos das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$  – Valor característico da ação variável, considerada principal da combinação;

$F_{Qj,k}$  – Valores característicos das ações variáveis que podem atuar concomitante com a ação variável principal;

$\gamma_{gi}, \gamma_{k1}, \gamma_{qj}$  – Valores de coeficientes de ponderação das ações;  
 $\phi_{0j}$  – Fator de combinação das ações.

Segundo a NBR 8800 (ABNT, 2024), as combinações de ações devem incluir cargas permanentes, variáveis principais e secundárias, aplicando coeficientes de ponderação e fatores de combinação atualizados para garantir segurança e desempenho estrutural.

## 2.2.5. ELEMENTOS ESTRUTURAIS

### 2.2.5.1 Terças

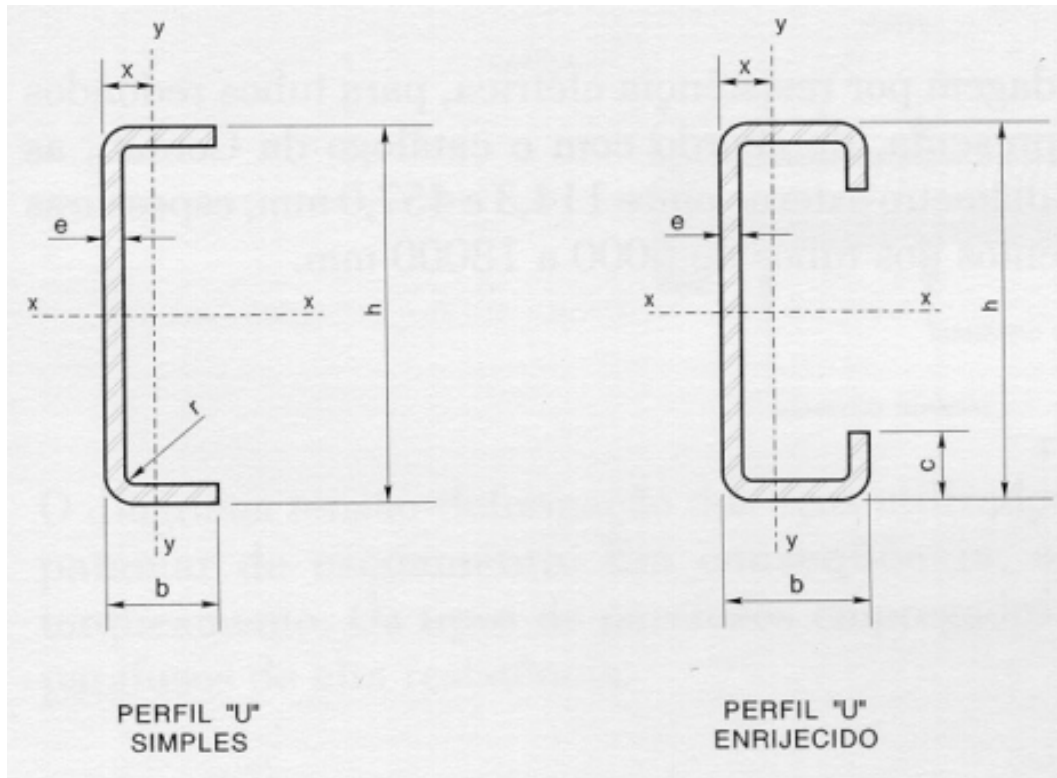
A sustentação da cobertura em edificações metálicas é realizada pelas terças, que, juntamente com os fechamentos laterais em chapas metálicas, compõem o sistema de fechamento vertical e horizontal. Segundo Pfeil (2022), esses elementos estruturais são submetidos a esforços de flexão dupla, pois suportam cargas permanentes, acidentais e de vento, sendo necessário realizar o dimensionamento adequado para garantir a segurança e o desempenho da estrutura.

Às terças podem ser fabricadas em perfis laminados ou, mais comumente, em perfis de chapa dobrada a frio. Pfeil (2022) destacam que a conformação a frio permite a produção de uma ampla variedade de perfis, com espessuras que geralmente variam entre 0,4 mm e 8 mm, podendo chegar a até 19 mm em situações específicas. Essa flexibilidade viabiliza a criação de perfis sob medida para cada projeto, atendendo às demandas de rigidez e resistência exigidas.

Às terças formadas a frio apresentam vantagens significativas em relação às laminadas. Pfeil (2022) ressaltam que, além de possibilitar a fabricação de perfis específicos para cada tipo de esforço, o processo de conformação a frio reduz custos de produção e facilita a logística, pois é possível produzir diferentes perfis a partir de um mesmo estoque de chapas. Em alguns casos, a dobra pode ser realizada no próprio canteiro de obras, o que agiliza a execução e minimiza a necessidade de grandes estoques de perfis prontos.

A seguir, na Figura 10, estão representadas as seções transversais de perfis mais frequentemente utilizados como terças na construção civil:

Figura 10 - Seções transversais dos perfis U e U enrijecido



Fonte: Palma (2007)

Para o cálculo das terças, deve-se considerar inicialmente a condição de apoio simples, embora em projetos com grandes vãos ou cargas significativas seja possível adotar modelos de vigas contínuas (PFEIL, 2022). Esses elementos estão sujeitos a flexão oblíqua (flexão simultânea em relação aos eixos  $x$  e  $y$ ), devido à combinação de cargas verticais (peso próprio, telhas) e horizontais (vento)

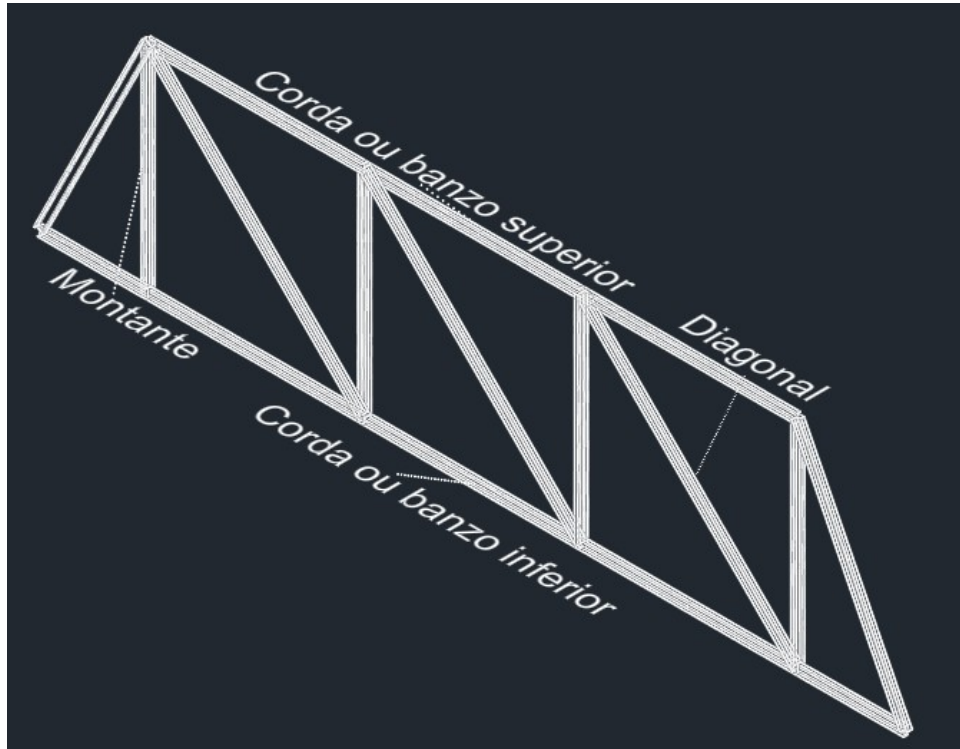
Conforme Pfeil (2022), é comum a instalação de barras intermediárias (linhas de corrente) entre as terças, que reduzem o vão livre no sentido de menor inércia (eixo  $y$ ), minimizando flechas excessivas e aumentando a estabilidade lateral. Essa solução é especialmente relevante em coberturas com telhas leves onde a rigidez torcional das terças pode ser crítica. A norma NBR 8800 (ABNT, 2024) estabelece que, para perfis formados a frio, devem ser considerados os efeitos de flambagem local e distorcional durante o dimensionamento, além da verificação de tensões combinadas por flexão.

#### 2.2.5.2. PERFIS TRELIÇADOS

As treliças são estruturas compostas por barras conectadas entre si em nós articulados, com as cargas aplicadas preferencialmente nesses pontos. Esse tipo de sistema é amplamente utilizado em estruturas de cobertura, tanto em pequenos vãos — como em edificações

residenciais e industriais — quanto em grandes vãos, como em estádios, aeroportos, pontes rodoviárias e ferroviárias (PFEIL, 2022). A Figura 11 ilustra os principais componentes de uma treliça plana, destacando a disposição das barras e nós que compõem o sistema estrutural.

Figura 11 - Elementos da treliça plana

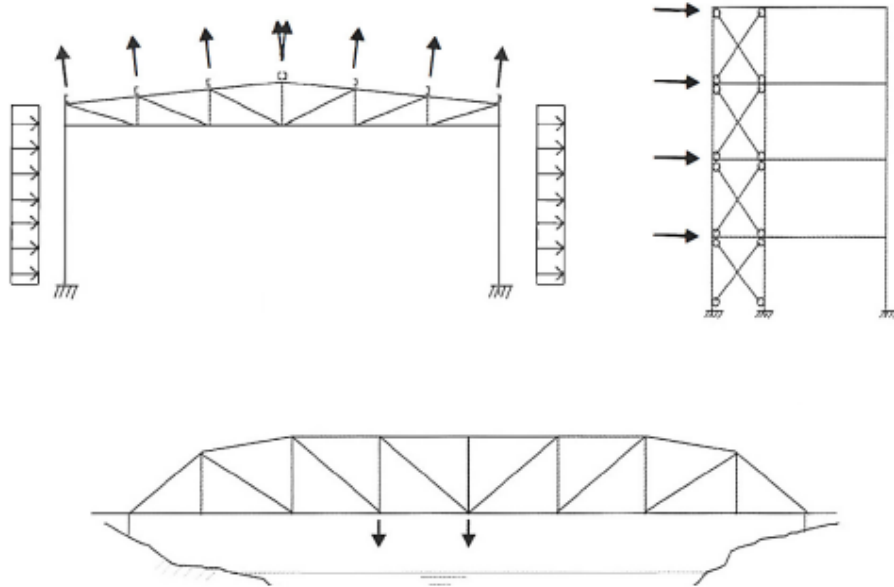


Fonte: Autor (2025)

A treliça plana é definida como um conjunto de elementos estruturais — como barras redondas, chatas, cantoneiras ou perfis formados — interligados entre si por meio de pinos, soldas, rebites ou parafusos, geralmente organizados em arranjos triangulares (PFEIL, 2022). Essa configuração confere rigidez ao sistema, permitindo que as cargas externas sejam transmitidas eficientemente através dos nós, de modo que todos os elementos estejam contidos em um único plano.

As estruturas treliçadas metálicas são amplamente empregadas em diversas aplicações da engenharia civil, tais como coberturas de indústrias, edifícios comerciais e residenciais, além de pontes rodoviárias e ferroviárias (PFEIL, 2022). Esses exemplos são ilustrados nos esquemas da Figura 12.

Figura 12 - Sistemas treliçados



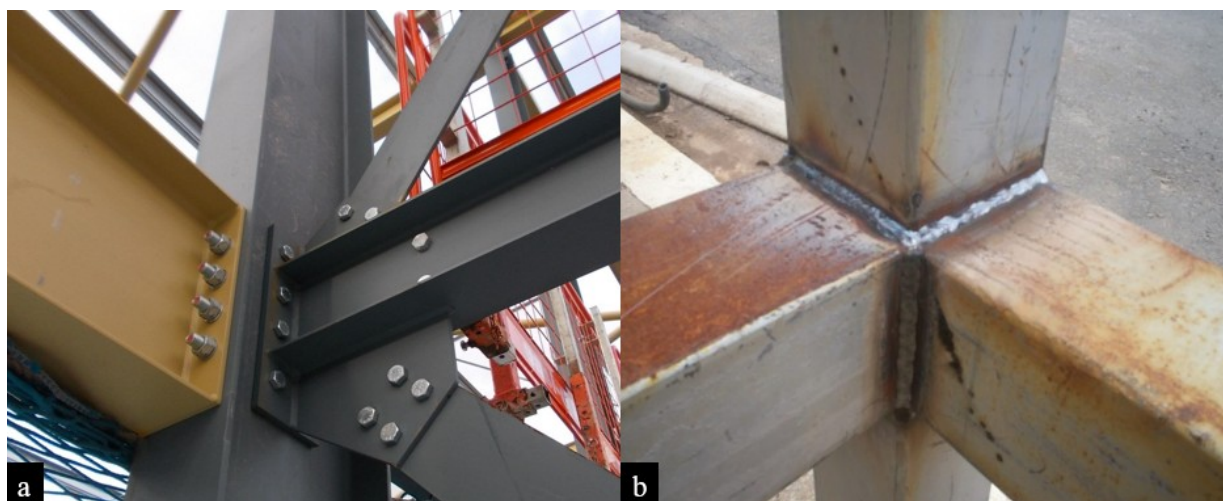
Fonte: Pfeil (2009)

#### 2.2.6. TIPOS DE LIGAÇÕES

As ligações entre os elementos estruturais são realizadas principalmente por soldagem ou parafusamento, conforme estabelecido pela NBR 8800 (ABNT, 2024). Nos nós de treliças, utilizam-se chapas de ligação denominadas gussets, fabricadas em aço de alta resistência (ASTM A572), garantindo durabilidade e segurança estrutural. Pfeil (2022) destacam que esse tipo de ligação permite a convergência de múltiplas barras em um único ponto nodal, minimizando excentricidades e simplificando a montagem.

No dimensionamento dos nós, é essencial que os eixos das barras concorram a um único ponto geométrico, conforme ilustrado na Figura 13. Caso essa condição não seja atendida, surgem momentos fletores secundários, que se distribuem entre as barras conectadas (PFEIL, 2022). Para facilitar ligações parafusadas entre cantoneiras, recomenda-se que as linhas de parafusos sejam alinhadas em um único eixo, concentrando os esforços. NBR 8800 (ABNT, 2024) permite desconsiderar o momento resultante de excentricidades em nós não sujeitos a fadiga, desde que a distância entre os pontos de concorrência (Figura 13) seja inferior a 5% do comprimento da barra.

Figura 13 - Ligações parafusadas(a) e soldadas (b)



Fonte: Lure engenharia (2024) / Metalrio (2018)

De acordo com Pfeil (2022), por proporcionar maior economia, as ligações soldadas em treliças de pequeno porte costumam ser pré-fabricadas em fábrica, o que garante melhor qualidade e reduz riscos de defeitos. Já as conexões executadas em campo são preferencialmente realizadas com parafusos, facilitando a montagem e minimizando a possibilidade de falhas decorrentes de soldagens feitas sob condições adversas de obra.

Essa prática está alinhada às recomendações da NBR 8800 (ABNT, 2024), que enfatiza a importância de garantir a integridade das ligações estruturais, priorizando métodos que assegurem a qualidade e a segurança da estrutura, especialmente em ambientes de obra com condições variáveis.

### 2.3. COMPOSIÇÃO DE CUSTOS E VIABILIDADE ECONÔMICA

A composição de custos é um processo fundamental para a elaboração de orçamentos na construção civil, consistindo na identificação e quantificação dos insumos necessários para cada serviço. Segundo Mattos (2022), essa composição pode ser representada por uma tabela analítica, onde são inseridos materiais, mão de obra e equipamentos, considerando perdas e produtividades médias típicas dos canteiros de obras. Quando não é possível realizar levantamentos próprios de produtividade e consumo de insumos, recomenda-se utilizar bancos de dados consolidados, como a Tabela SINAPI, que oferecem médias confiáveis e atualizadas para diferentes regiões do país (CRIVELARO, 2022).

A Tabela SINAPI, gerenciada pela Caixa Econômica Federal em parceria com o IBGE, reúne composições de serviços, insumos e índices de preços, permitindo a elaboração de

orçamentos detalhados para obras públicas e privadas. Sua utilização é obrigatória para orçamentos de obras públicas conforme o Decreto nº 7.983/2013, e os dados são atualizados mensalmente, facilitando o acesso e a atualização dos valores (MATTOS, 2022; CRIVELARO, 2022).

A principal função da Tabela SINAPI é padronizar custos, proporcionando transparência e equidade em processos licitatórios e contratos, além de facilitar o planejamento e o controle financeiro das obras. Ela considera as diferenças regionais nos custos de mão de obra e materiais, garantindo que os orçamentos reflitam a realidade do mercado local. Além disso, a SINAPI gera índices que permitem a atualização de contratos e o acompanhamento da variação dos custos ao longo do tempo, contribuindo para análises de viabilidade econômica e estudos de mercado (CRIVELARO, 2022).

### 2.3.1 INDICADORES ECONÔMICOS

Segundo Mattos (2022), a avaliação prévia dos custos e benefícios de um empreendimento permite identificar se o retorno financeiro justifica o montante investido, auxiliando na tomada de decisões estratégicas. No que diz respeito à Taxa Mínima de Atratividade (TMA), Mattos (2022) destaca que ela representa o retorno mínimo exigido pelo investidor, considerando o custo de oportunidade, o risco do negócio e a liquidez do investimento. O autor explica que a TMA serve como referência para comparar o desempenho esperado do projeto com outras alternativas de aplicação de capital disponíveis no mercado.

O Valor Presente Líquido (VPL) é um dos indicadores mais relevantes para a avaliação de projetos. Segundo Pinheiro e Crivelaro (2022), o VPL consiste no somatório dos fluxos de caixa futuros, descontados pela TMA, subtraídos do investimento inicial. Se o resultado for positivo, o projeto é considerado viável, pois gera valor acima do custo do capital investido; se negativo, não é recomendado. Para calcular o valor do VPL (Equação 6), no caso da energia solar, inicialmente deve ser calculado o fluxo de caixa (CF), a economia gerada na conta de energia elétrica consiste no montante poupado ao utilizar o sistema solar fotovoltaico, sendo obtida pelo valor gerado pela energia solar:

$$CF = \left( \frac{G_{kWh}}{\text{Mês}} U_{\frac{R\$}{kWh}} \right) \quad (6)$$

Onde:

$G_{Kwh}$ : Geração de energia mensal;

$U_{\frac{R\$}{Kwh}}$  : Valor unitário do kWh;

Após conseguir o valor do  $CF$ , deve-se usar na Equação 7 para encontrar o VPL. Já a Taxa Interna de Retorno (TIR), conforme Mattos (2022), corresponde à taxa de desconto que iguala o valor presente dos fluxos de caixa futuros ao investimento inicial. Quando a TIR supera a TMA, o projeto é atrativo, pois oferece retorno superior ao exigido pelo investidor.

$$VPL = CF * 1 - \frac{(1+i)^{-n}}{i} \quad (7)$$

Onde:

$CF$ : Fluxo de caixa;

$i$ : Taxa de desconto;

$n$ : Número de períodos (dividir o valor do montante pela tarifa mensal).

Com o valor de  $CF$  e de TMA, deve usar a equação (8) para calcular a TMA:

$$TMA = \frac{1 - \frac{VPL}{CF}}{n} \quad (8)$$

Onde:

$VPL$ : Valor presente líquido;

$CF$ : Fluxo de caixa;

$n$ : Número de períodos (dividir o valor do montante pela tarifa mensal).

Por fim, o payback, conforme Pinheiro e Crivelaro (2022), indica o tempo necessário para recuperar o investimento inicial. O payback simples não considera o valor do dinheiro no tempo, enquanto o payback descontado utiliza a TMA para trazer os fluxos de caixa à mesma data do investimento, proporcionando uma análise mais precisa, para fins de cálculo é utilizada a equação 9 para resultado do payback.

$$\text{Payback} = CFI/CF \quad (9)$$

Onde:

CFI: Fluxo de caixa inicial

CF: Fluxo de caixa;

Conforme Mattos (2022), o cálculo do payback considera o período necessário para que o VPL (Valor Presente Líquido) do projeto se iguale a zero, utilizando a TIR (Taxa Interna de Retorno) como parâmetro de avaliação alinhado às expectativas do mercado. O autor ressalta que o valor de  $n$  (período em anos) corresponde ao tempo de recuperação do investimento inicial, conforme determinado pela equação de fluxos de caixa descontados.

Pinheiro e Crivelaro (2022) destacam que a viabilidade do payback varia conforme o setor e o perfil do investidor. Em setores de alta rotatividade, como o varejo, um payback de até 1 ano é considerado aceitável, enquanto em segmentos de maior complexidade e capital intensivo, como construção civil e energia solar, o período pode se estender para até 5 anos, devido aos elevados custos iniciais e à necessidade de amortização de investimentos em infraestrutura.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta a metodologia utilizada para o levantamento técnico e o dimensionamento de um sistema fotovoltaico tipo carport no estacionamento da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB). O estudo, de caráter preliminar e qualitativo, visa avaliar a viabilidade econômica da instalação de uma estrutura solar conectada à rede elétrica, aproveitando o espaço atualmente descoberto. A proposta busca aliar funcionalidade e sustentabilidade, otimizando o uso energético da instituição. O estudo foi dividida em cinco etapas (Figura 14), incluindo coleta de dados com drones e medições manuais, dimensionamento da estrutura metálica conforme normas técnicas, e análise econômica baseada em custos e indicadores financeiros.

Figura 14 - Fluxograma do procedimento experimental

<i>ETAPAS</i>	<i>DESCRIÇÃO DA ETAPA</i>
1	Visita técnica ao local para coleta manual de medidas e execução de voo de drone, assegurando precisão nos dados e máxima cobertura fotográfica do ambiente.
2	Processamento em software Drone Deploy, permitindo a obtenção da ortofoto, análise detalhada das dimensões da área e determinação exata da quantidade de vagas disponíveis para instalação.
3	Dimensionamento dos painéis solares utilizando o Helioscope, considerando critérios técnicos, sombreamento, orientação e capacidade instalada para máxima eficiência energética.
4	Dimensionamento da estrutura metálica no CYPECAD, observando requisitos normativos e garantindo suporte mecânico seguro aos módulos fotovoltaicos.
5	Composição de custos e a análise de viabilidade econômica, documentando orçamentos detalhados de fornecedores, valores de estrutura metálica, componentes do sistema solar, referências do Banco de dados SINAPI e cálculo do tempo de retorno do investimento, fornecendo subsídio decisório para a viabilidade do empreendimento.

Fonte: Autor (2025)

### 3.1 ETAPA 1: ESTACIONAMENTO DA UFOB EM BARREIRAS-BA

A Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), instituição pública de ensino superior, está localizada na cidade de Barreiras, Bahia, com sede situada no Campus Reitor Edgard Santos, na Rua da Prainha, nº 1326. A UFOB destaca-se como importante polo educacional na região, oferecendo cursos de graduação e pós-graduação em diversas áreas do conhecimento, com uma estrutura organizacional robusta, sendo Barreiras a sede administrativa e acadêmica principal.

Na Figura 15 podemos ver a áreas do estacionamento que será projetada através de estruturas metálicas com cobertura de painéis solares. Na Figura 15a temos o estacionamento da área do centro de convivência e restaurante universitário (RU), na Figura 15b o estacionamento da área da biblioteca e na Figura 15c e Figura 15d temos estacionamento do Prédio de aulas dois (PD) e Laboratórios, respectivamente.

Figura 15 - Captação aérea dos estacionamentos da UFOB: a) Centro de convivência e RU; b) Biblioteca; c) Prédio de aulas dois (PD); d) Laboratórios.



Fonte: Autor (2025)

Após a captura das imagens aéreas, o próximo passo consistiu no processamento desses dados por meio do software DroneDeploy, uma plataforma que disponibiliza, inclusive em versão gratuita, recursos para o planejamento de voos automatizados e a geração de mapas ortorretificados a partir de múltiplas fotografias. O DroneDeploy permite a criação de ortomosaicos, imagens únicas e georreferenciadas, obtidas a partir do mosaico e do processamento das fotos individuais capturadas pelo drone. Esses ortomosaicos garantem precisão geométrica, corrigindo distorções de lente e relevo, e possibilitam a extração de informações dimensionais detalhadas sobre o terreno, tais como comprimentos, áreas e variações de relevo.

Com o ortomosaico gerado, foi possível exportar os dados para o ambiente do software AutoCAD, integrando a imagem georreferenciada ao projeto de engenharia. No AutoCAD, a imagem importada pode ser ajustada conforme as medidas extraídas do DroneDeploy, garantindo a representação fiel do terreno e das dimensões do local de intervenção. Essa integração entre os softwares assegura a confiabilidade do levantamento topográfico e facilita o desenvolvimento do projeto do carport solar, permitindo o correto posicionamento estrutural e a avaliação de eventuais interferências.

Essa abordagem combinada entre tecnologia de mapeamento aéreo e métodos tradicionais de medição garante a qualidade dos insumos utilizados no projeto, fundamentando decisões técnicas e otimizando o processo de implantação do carport solar. O passo subsequente consistiu na utilização do AutoCAD, permitindo a demarcação precisa da área útil considerando restrições físicas e espaços de circulação. A partir desse levantamento, realizou-se um dimensionamento preliminar do número de painéis solares que poderiam ser instalados no espaço, levando em conta as dimensões dos módulos fotovoltaicos. Dessa forma, será possível garantir um projeto otimizado, alinhado às necessidades técnicas e à viabilidade de implantação do carport solar na UFOB.

A necessidade de implementação de cobertura para esses estacionamentos é evidente, considerando as diversas vantagens que esse tipo de estrutura proporciona. Além de proteger os veículos contra danos causados pela exposição direta ao sol e chuva, a cobertura contribui para o conforto dos usuários, que passam a dispor de um ambiente mais agradável para entrada e saída dos automóveis, independentemente das condições climáticas. Outro benefício relevante é a valorização do patrimônio universitário, conferindo maior atratividade e modernidade ao espaço, além de potencializar a segurança e a experiência dos estudantes, docentes e visitantes (Figura 16).

Figura 16 - Vistas do estacionamento da UFOB em diferentes setores: a) Biblioteca; b) Biblioteca; c) prédio 2; d) Prédio 2; e) Prédio 2; f) Laboratórios.



Fonte: Autor (2025)

Durante a etapa de levantamento em campo, foram realizadas medições detalhadas com o auxílio de trenas em diversas vagas distribuídas por todos os setores do estacionamento. Observou-se que a grande maioria das vagas apresenta comprimento padrão de 5 metros, com pequenas variações em algumas unidades, cujos valores se mantêm próximos a essa medida. A largura das vagas, de modo geral, foi registrada em 2,5 metros, compatível com as recomendações técnicas para estacionamento de veículos leves, conforme NBR 9050 Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos, (ABNT, 2020).

Esse procedimento permitiu não apenas confirmar a padronização dimensional adotada na área, mas também fornecer subsídios precisos para o dimensionamento das futuras coberturas e para o planejamento da implantação dos sistemas fotovoltaicos, assegurando a viabilidade técnica da intervenção proposta.

O estacionamento da UFOB recebe diariamente uma frota significativa de automóveis, que acessam o campus em diferentes períodos do dia. Estudos recentes sobre métodos de estimativa de frota em ambientes universitários demonstram que, mesmo considerando abordagens estatísticas distintas, os valores obtidos para o número de veículos circulantes apresentam convergência entre as estimativas clássicas e bayesianas. Como exemplo, em análises conduzidas em contextos similares, foram identificados valores estimados de frota de

carros próximos a 348, 553 e 256 veículos para os períodos matutino, vespertino e noturno, respectivamente (DA SILVA, DE PAULA, CACERES, 2024).

Esses dados reforçam a importância de considerar a demanda dinâmica do estacionamento, especialmente em momentos de maior fluxo, para o planejamento de estruturas de cobertura e soluções de mobilidade sustentável no ambiente universitário.

### 3.2 ETAPA 2: DIMENSIONAMENTO DOS PAINÉIS SOLARES PARA COBERTURA DO ESTACIONAMENTO

Para garantir um dimensionamento preciso do sistema fotovoltaico proposto, será utilizado o software HelioScope, uma ferramenta amplamente reconhecida para o projeto e otimização de sistemas de energia solar. O HelioScope permite a elaboração de projetos detalhados, simulações de desempenho e estimativas de produção energética, oferecendo recursos como análise de sombreamento, geração de relatórios profissionais e integração com outras plataformas, o que facilita a documentação e o compartilhamento dos resultados.

O conhecimento prático acumulado em projetos reais, especialmente nas etapas de levantamento de dados, análise de viabilidade, seleção de equipamentos e elaboração de orçamentos, contribuirá para uma análise crítica dos parâmetros de entrada e dos resultados gerados, aproximando o estudo das exigências e desafios do mercado.

O processo de dimensionamento tem início com a inserção de informações básicas, facilmente extraídas da conta de energia da unidade consumidora, como o tipo de alimentação, histórico de consumo e valor unitário do kWh (Figura 17).

Para o dimensionamento, destacam-se três etapas principais: o cálculo da potência diária necessária, utilizando a Equação (10):

$$P = \frac{C_{\text{diário}}}{(I_{\text{solar}} (1 - P\%))} \quad (10)$$

Onde:

P é a potência.

$C_{\text{diário}}$  é o consumo diário (kWh);

$I_{\text{solar}}$  é a irradiação solar (kWh/m<sup>2</sup>);

P% é a perda de eficiência pelo ambiente.



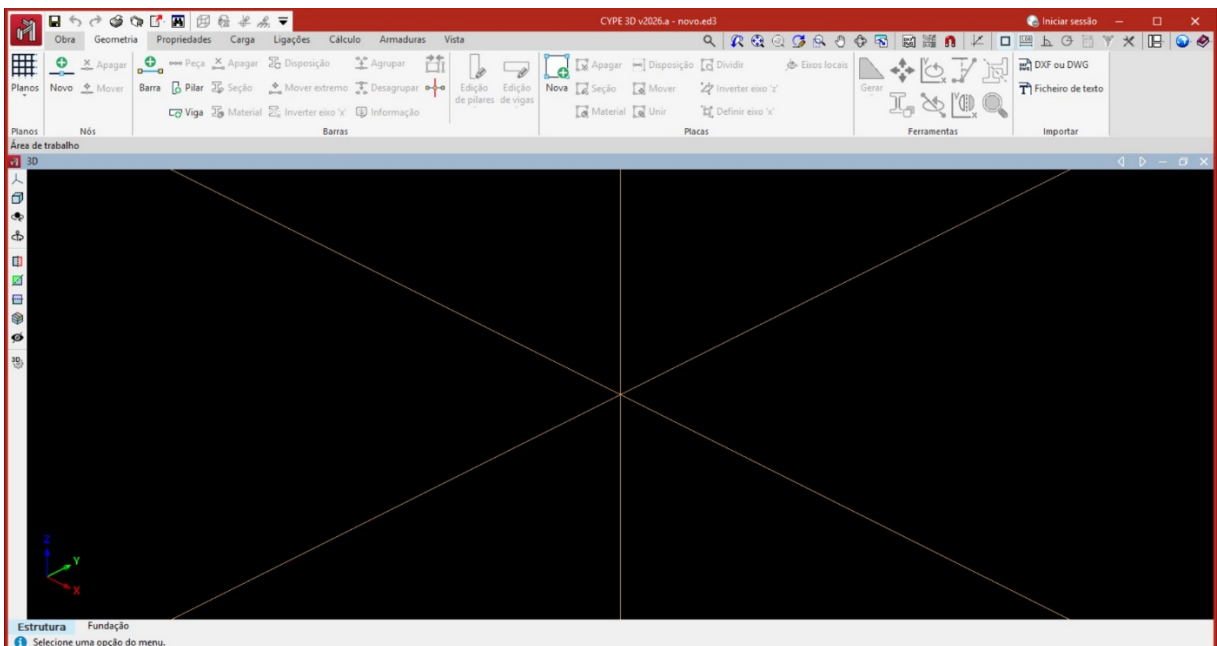
$$N^{\circ} \text{ mód} = \frac{P_{\text{dem}} * 1000}{P_{\text{mód}}} \quad (11)$$

Onde  $P_{\text{dem}}$  é a potência de demanda e deve-se multiplicar por 1000 para converter kW para W. Já  $P_{\text{mód}}$  é a potência do módulo escolhido. Com esses dados, o software gera automaticamente a lista de materiais necessários para a implantação do sistema, facilitando a elaboração de orçamentos de equipamentos e mão de obra.

### 3.3 ETAPA 3: DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA METÁLICA

Para obter um dimensionamento ágil e preciso da estrutura do estacionamento da UFOB, será utilizado o software Cypecad, reconhecido por sua eficiência no cálculo e dimensionamento de estruturas metálicas, concreto armado e madeira. Bastante difundido entre engenheiros civis, o Cypecad se destaca pela capacidade de criar modelos estruturais em 2D e 3D a partir de plantas, cortes, elevações ou dados de carregamento, além de empregar métodos avançados de análise estrutural para determinar cargas e tensões atuantes. A interface do CYPE é intuitiva e prática, projetada para facilitar o trabalho do engenheiro em todas as etapas da modelagem estrutural (Figura 18).

Figura 18 - Interface do software

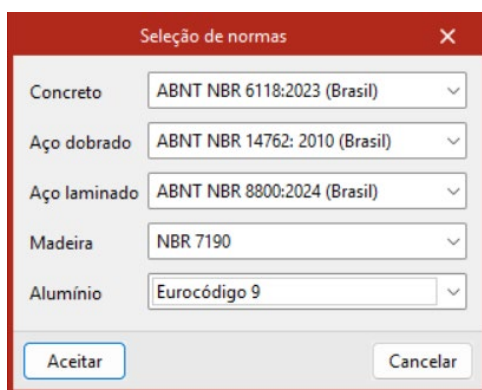


Fonte: Autor (2025)

O programa permitirá dimensionar os elementos estruturais conforme as normas técnicas vigentes, gerar detalhamentos completos das peças para execução e automatizar tarefas repetitivas, o que aumentará significativamente a produtividade do projetista. Outro diferencial é sua integração com o AutoCAD, possibilitando a importação e exportação de arquivos de projetos estruturais de maneira eficiente.

Apesar da interface intuitiva, o uso do Cypecad exigirá conhecimento prévio em estruturas para garantir o correto atendimento aos padrões normativos. O programa quando iniciado nos permite selecionar as normas mais atualizadas para um dimensionamento correto (Figura 19).

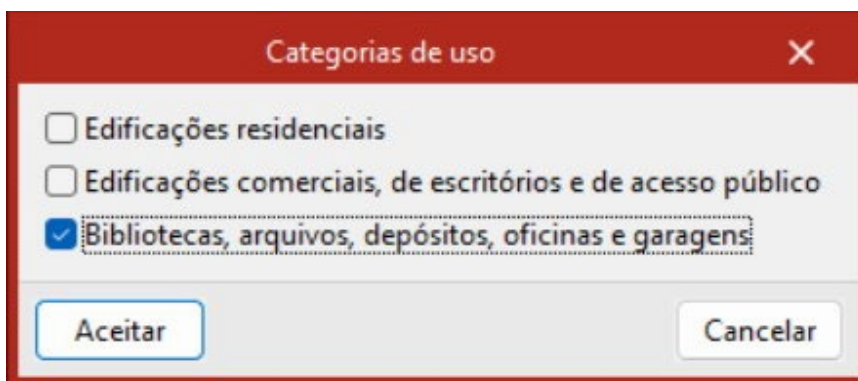
Figura 19 - Seleção de normas no Cypecad



Fonte: Autor (2025)

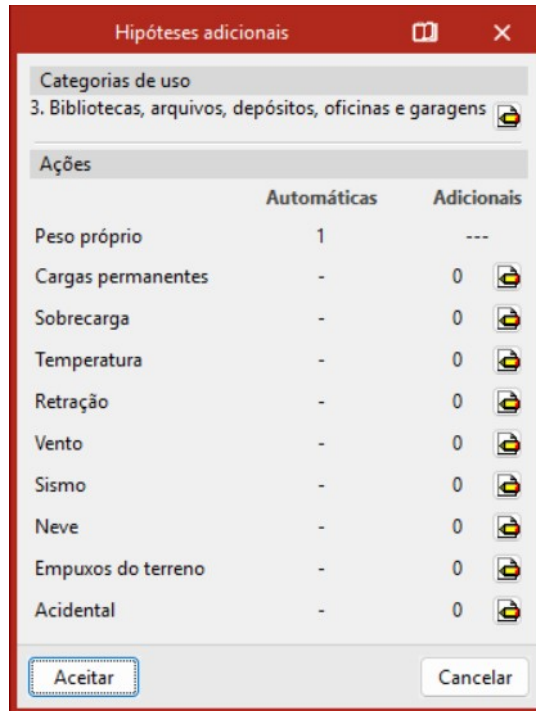
Após esse processo inicial importante, será necessária para fins de norma a definição da categoria de uso, em que o projeto se enquadra na terceira categoria (Figura 20) e definição das hipóteses do sistema construtivo (Figura 21), que pode ser alterado durante dimensionamento, sem definição de valores inicialmente, processo importante para aplicação das cargas após definição da estrutura.

Figura 20 - Definição da categoria de uso



Fonte: Autor (2025)

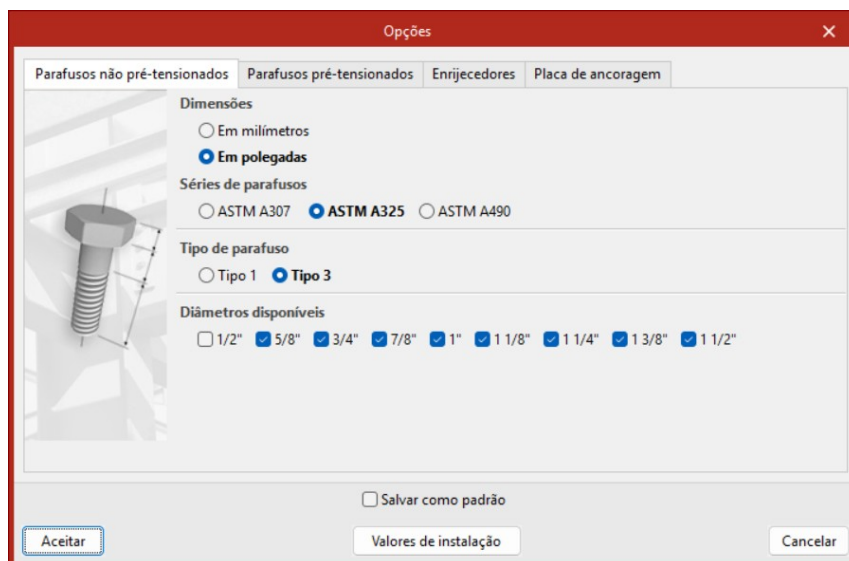
Figura 21 - Definição das hipóteses adicionais da estrutura



Fonte: Autor (2025)

Nessa etapa introdutória temos é especificado os tipos utilizados em parafusos, enrijecedores e placas de ancoragem. Esse processo é feito diretamente nas configurações das ligações, onde se selecionam os materiais dos componentes metálicos, como o tipo de aço para parafusos (incluindo resistência e classe), chapas de enrijecimento e placas de ancoragem (Figura 22).

Figura 22 - Definição das ligações

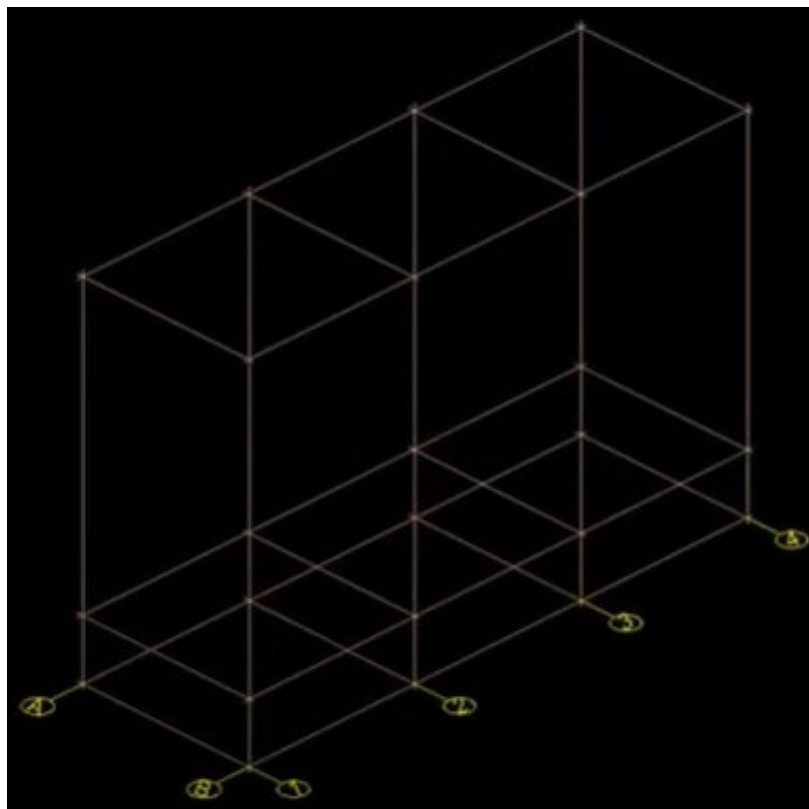


Fonte: Autor (2025)

Após todas definições iniciais, a etapa de definição da geometria é facilitada pelo uso de grades e níveis, que auxiliam na localização precisa dos pontos tridimensionais (x, y, z) para o lançamento das peças metálicas na estrutura. Antes desse processo, realizou-se croqui da planta e do corte no AutoCAD, identificando distâncias entre as peças metálicas e a configuração geral da estrutura em perspectivas relevantes.

As grades possibilitam criar linhas de referência paralelas nos eixos principais, tornando mais ágil e exata a inserção de nós, vigas e pilares, pois servem como guias para posicionamento durante a modelagem. Os níveis, por sua vez, representam planos horizontais em diferentes alturas, permitindo organizar e lançar elementos em diferentes alturas (Figura 23). Com finalização desse processo, são lançados com comando “barra”, os elementos principais da estrutura.

Figura 23 - Grades e níveis

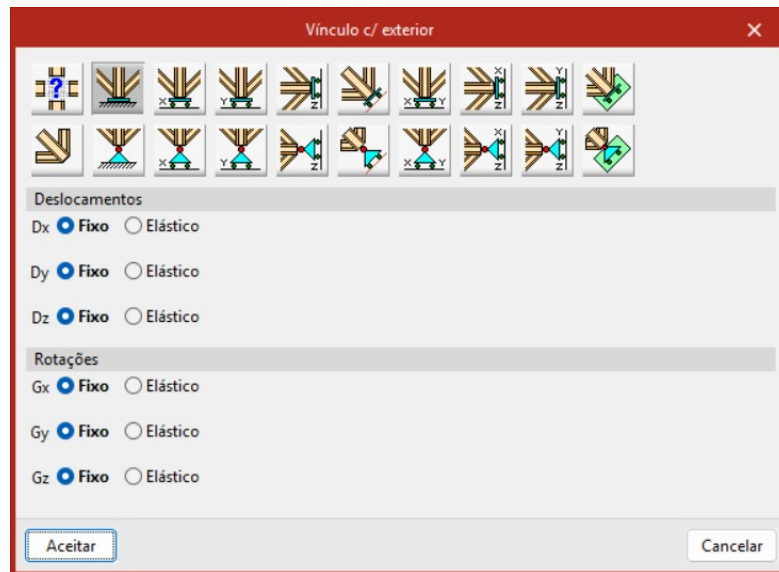


Fonte: Autor (2025)

Após lançar a estrutura no software, a etapa seguinte envolve o uso do comando de vinculação exterior na base e a descrição dos elementos. Nesse momento, é possível agrupar barras ou peças alinhadas para definir coletivamente o tipo estrutural, seção e material desses elementos.

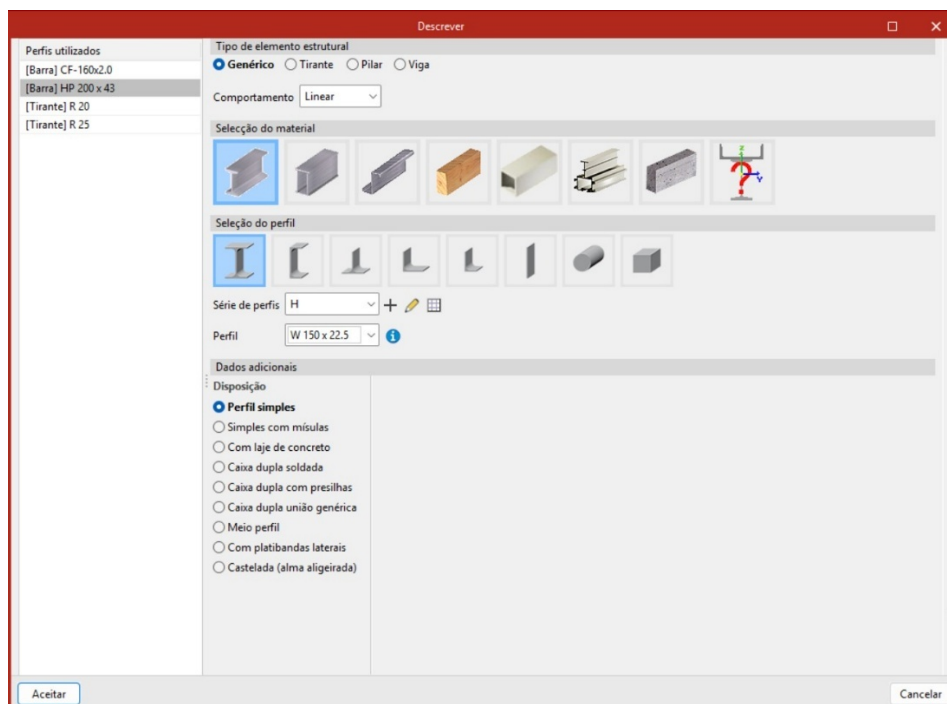
A vinculação exterior é fundamental para simular corretamente o comportamento dos apoios (Figura 24), representando restrições externas como apoios engastados ou articulados, normalmente na base dos pilares ou onde a estrutura interage com fundações. Após definir essas condições, o agrupamento de peças facilita o gerenciamento, pois permite despachar para todo o grupo uma única definição de perfil, material ou propriedades geométricas (Figura 25).

Figura 24 - Vinculação com exterior



Fonte: Autor (2025)

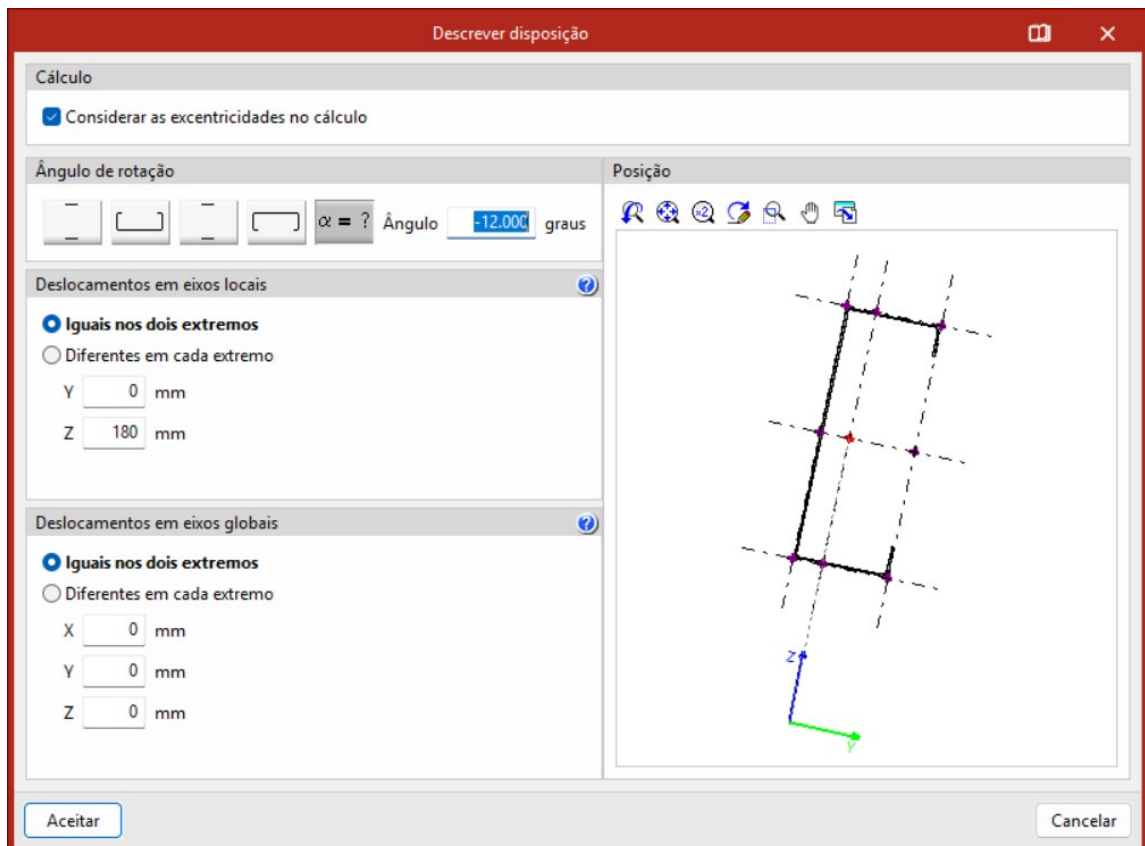
Figura 25 - Descrição do material



Fonte: Autor (2025)

No cypecad, após o lançamento da estrutura, é possível alterar a disposição das peças, ajustando sua orientação, rotação e posicionamento em relação ao sistema de coordenadas (Figura 26). Essa flexibilidade permite otimizar o comportamento estrutural e adaptar o modelo para a fase construtiva, facilitando a elaboração dos detalhes e o cálculo das ligações.

Figura 26 - Disposição da peça



Fonte: Autor (2025)

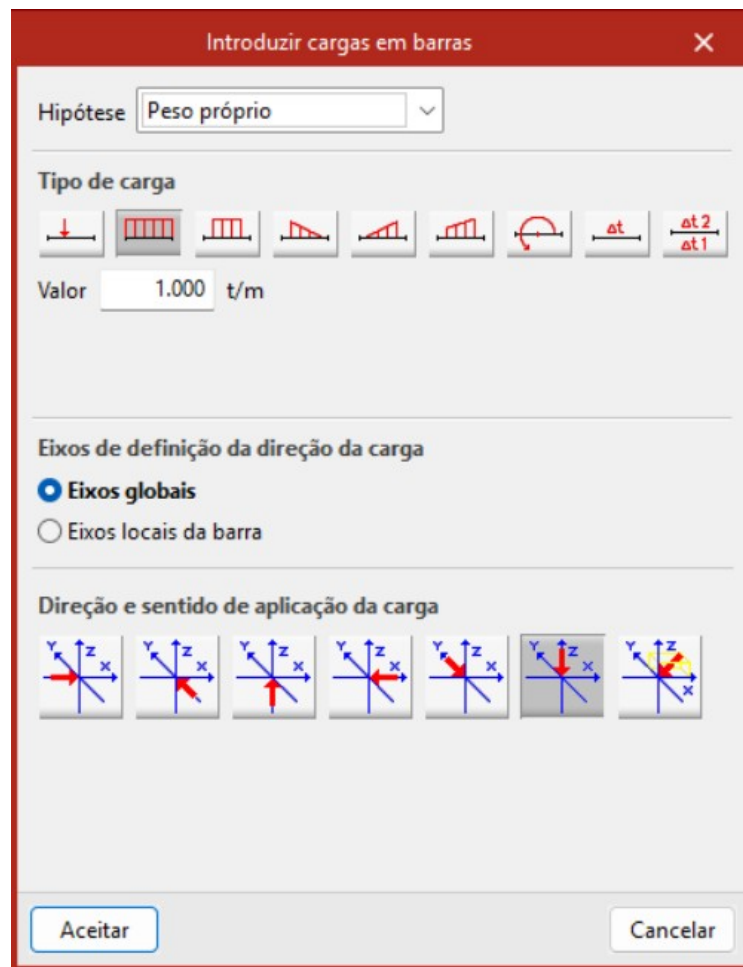
Na etapa de lançamento das cargas, o software permite inserir ações em duas formas principais: planos e carregamentos, como mostra na figura 27. Planos referem-se a cargas distribuídas em superfícies, como cargas uniformes aplicadas sobre lajes ou painéis, enquanto carregamentos são forças aplicadas diretamente em barras ou nós, podendo ser pontuais, lineares ou distribuídas (Figura 28). No caso deste projeto, por exemplo, a carga de vento será calculada detalhadamente conforme a norma mais recente, com todos os dados sendo posteriormente inseridos no software para continuidade do dimensionamento.

Figura 27 – Lançamento de cargas



Fonte: Autor (2025)

Figura 28 - Opções de introdução de cargas nas barras

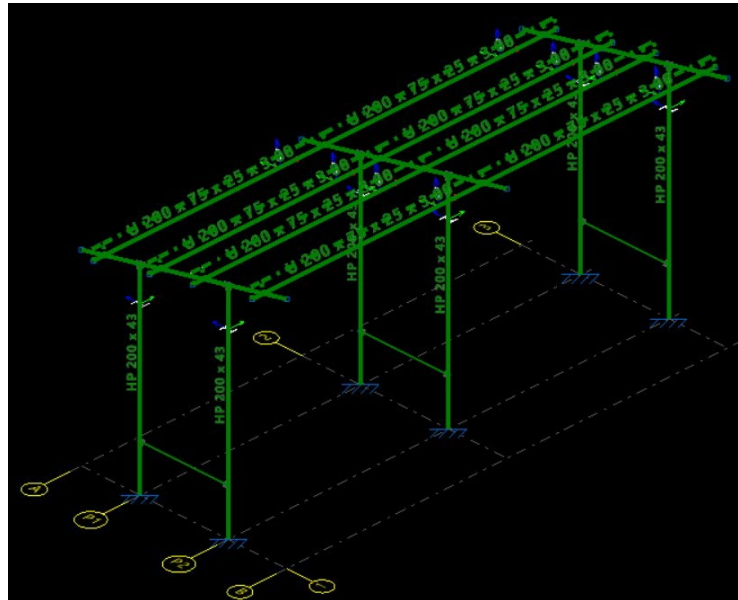


Fonte: Autor (2025)

Após esse procedimento, as demais cargas atuantes sobre o sistema estrutural também serão identificadas e incluídas no modelo, assegurando um dimensionamento preciso e completo. O software possibilita cálculo da estrutura e realiza uma verificação de todos os perfis lançados, considerando as normas técnicas aplicáveis, as cargas definidas, os materiais e as condições de apoio. Durante essa análise, o programa identifica quais perfis não atendem às

demandas estruturais, sinalizando esses elementos com coloração vermelha para facilitar a visualização (Figura 29).

Figura 29 - Verificação de elementos após cálculo da estrutura



Fonte: Autor (2025)

Além disso, o software sugere automaticamente perfis alternativos, como mostra na figura 30, dentro da mesma família que possam satisfazer as exigências de resistência e segurança, agilizando o processo de remediação do projeto. Perfis que atendem às verificações são destacados em verde.

Figura 30 - Verificação de elementos da mesma família

Perfil	Peso	Resistência	Erros
✘ CF-120x2,5	4,78	-----	Ocorreu um erro, a esbeltez da barra é maior que a esb...
✘ CF-120x3,0	5,65	-----	Ocorreu um erro, a esbeltez da barra é maior que a esb...
✘ CF-140x2,0	4,17	-----	Ocorreu um erro, a esbeltez da barra é maior que a esb...
✘ CF-140x2,5	5,17	-----	Ocorreu um erro, a esbeltez da barra é maior que a esb...
✘ CF-140x3,0	6,13	-----	Ocorreu um erro, a esbeltez da barra é maior que a esb...
✔ CF-160x2,0	4,80	48,02 %	
✔ CF-160x2,5	5,95	39,15 %	
✘ CF-160x3,0	7,07	-----	Ocorreu um erro, a esbeltez da barra é maior que a esb...
✘ CF-180x2,0	5,12	-----	Ocorreu um erro, a esbeltez da barra é maior que a esb...
✘ CF-180x2,5	6,35	-----	Ocorreu um erro, a esbeltez da barra é maior que a esb...
✘ CF-180x3,0	7,54	-----	Ocorreu um erro, a esbeltez da barra é maior que a esb...
✘ CF-200x2,0	5,43	-----	Ocorreu um erro, a esbeltez da barra é maior que a esb...
✘ CF-200x2,5	6,74	-----	Ocorreu um erro, a esbeltez da barra é maior que a esb...
✘ CF-200x3,0	8,01	-----	Ocorreu um erro, a esbeltez da barra é maior que a esb...
✔ CF-225x2,5	8,21	20,11 %	

Não foram definidos limites de flecha

Significado dos ícones

- ✘ Perfil que não cumpre alguma verificação.
- ✔ Perfil que cumpre todas as verificações.

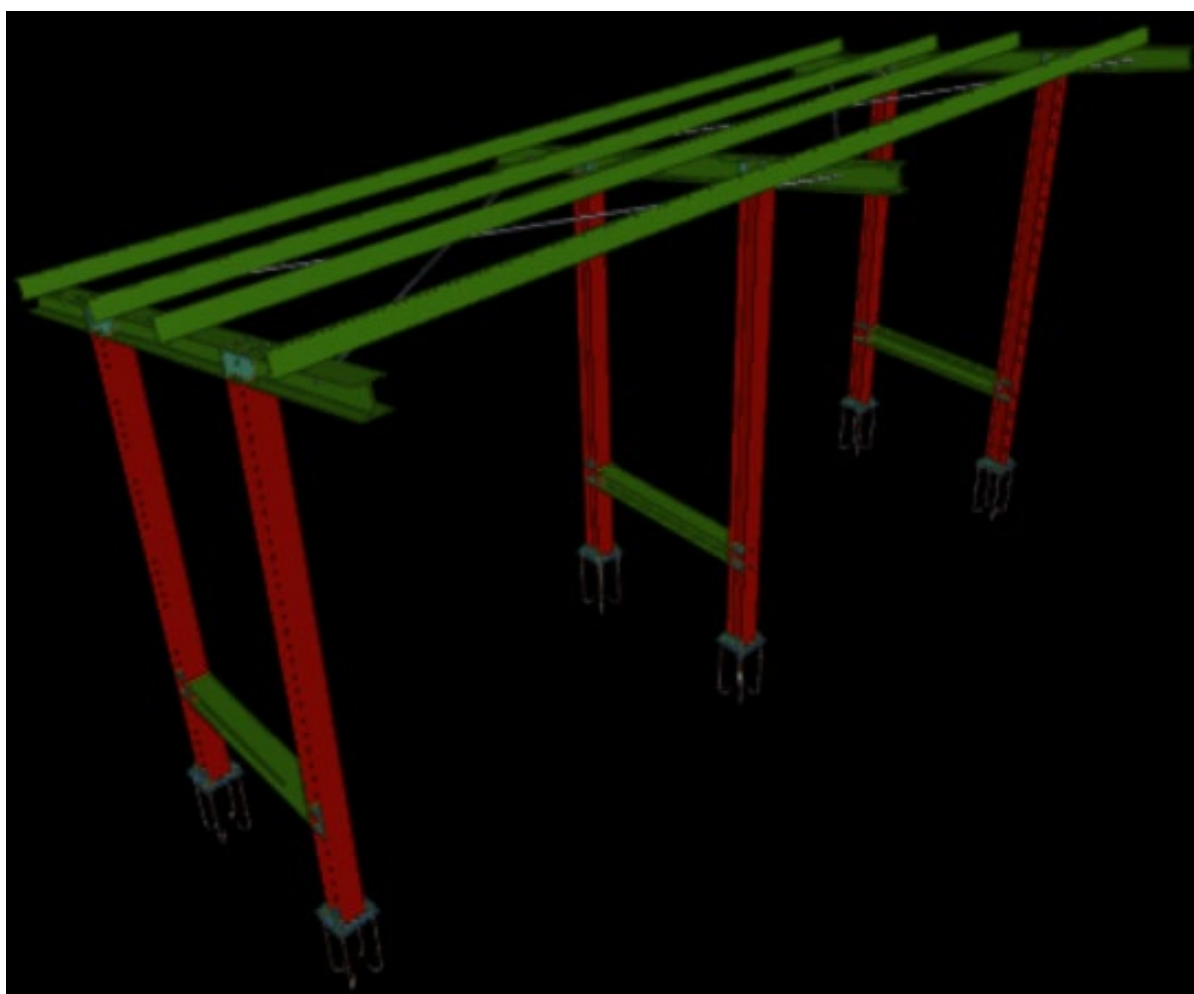
Botões: Aceitar, Cancelar

Fonte: Autor (2025)

Durante todo o processo de modelagem no CYPE, é possível acompanhar a estrutura em uma visualização tridimensional detalhada. Essa visualização 3D a verificação geral do projeto (Figura 31).

Ao final do processo, o software gera pranchas e relatórios completos com detalhamentos construtivos, listagens de materiais, verificações normativas e quantitativos, o layout da edificação e o detalhamento das peças estruturais. Todos esses dados serão cuidadosamente conferidos para assegurar a máxima precisão no resultado final da estrutura projetada.

Figura 31 - Visualização 3D

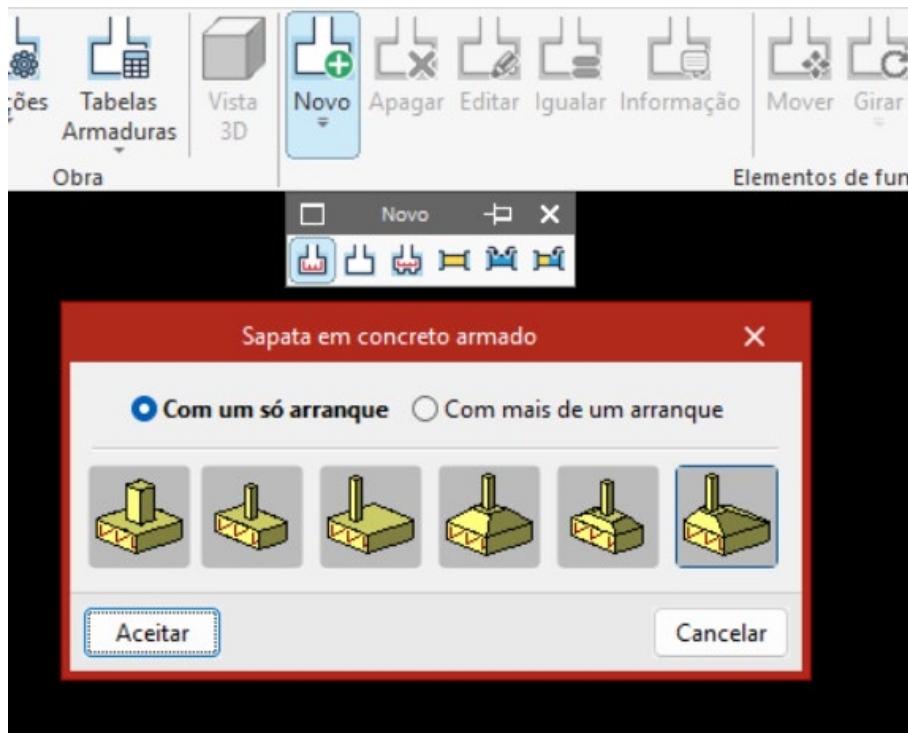


Fonte: Autor (2025)

O software também dispõe de uma aba específica para o dimensionamento de fundações, localizada na parte inferior de sua interface. Nessa seção, ao selecionar o tipo de fundação desejado (Figura 32), é possível realizar o dimensionamento automaticamente, tomando como base as cargas obtidas no cálculo estrutural previamente desenvolvido. Essa

funcionalidade permite integrar o projeto da superestrutura com o das fundações, assegurando maior precisão no repasse de esforços e compatibilidade entre as etapas de análise estrutural.

Figura 32- Dimensionamento da fundação



Fonte: Autor (2025)

### 3.4 ETAPA 4: COMPOSIÇÃO DE CUSTOS E VIABILIDADE ECONÔMICA

Para a composição de custos do estacionamento da UFOB, será necessário integrar as duas principais etapas construtivas do projeto: a estrutura metálica e o sistema de energia solar. O levantamento de preços será baseado em cotações realizadas, que fornece descrições detalhadas de materiais com referência ao banco de dados SINAPI, permitindo que a planilha de custos seja ajustada aos valores reais praticados na região de implantação.

No caso do sistema fotovoltaico, dimensionado pelo software HelioScope, será fundamental verificar a disponibilidade dos componentes indicados pelo programa junto aos fornecedores locais, já que o software não é nacional e pode sugerir modelos não comercializados na região. Por isso, será realizada uma análise criteriosa dos fornecedores, priorizando aqueles com fácil acesso aos materiais necessários, a fim de minimizar dificuldades na execução do projeto.

Para a estrutura metálica, a obtenção dos custos pode ser mais complexa, pois muitas empresas em Barreiras-BA comercializam apenas o material, sem oferecer serviços de mão de

obra. Assim, será importante considerar as recomendações desses fornecedores quanto a empreiteiros parceiros.

Após o dimensionamento realizado nos softwares e a conferência manual dos quantitativos, a lista de materiais será encaminhada para pelo menos três fornecedores de cada segmento, buscando cotações tanto de materiais quanto de mão de obra. Esse processo visa garantir o melhor custo-benefício para o projeto, conforme recomendado para viabilidade econômica de sistemas de energia solar.

Com os valores em mãos, será possível somar os custos de ambas as etapas e calcular indicadores econômicos essenciais, como o valor presente líquido, taxa mínima de atratividade, tempo de retorno do investimento e ajuste pela inflação anual. Essa análise permitirá definir se o projeto é viável para a UFOB, assegurando que o investimento seja recuperado no prazo estipulado, sem gerar prejuízos à instituição.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo detalha o processo de dimensionamento dos painéis solares para o estacionamento da UFOB, abordando critérios técnicos para seleção e posicionamento dos módulos fotovoltaicos. Também trata do projeto da estrutura metálica de suporte, com base em normas e cálculos estruturais. Inclui a estimativa de custos da implantação, fundamentada em dados de mercado e fontes oficiais. Por fim, avalia-se a viabilidade econômica do sistema solar por meio de indicadores financeiros, considerando o retorno do investimento e a sustentabilidade da proposta para a universidade.

### 4.1 LEVANTAMENTO DA ÁREA DO ESTACIONAMENTO DA UFOB

O levantamento da área do estacionamento da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), em Barreiras-BA, constituiu a etapa inicial do estudo, sendo fundamental para a compreensão das condições físicas e espaciais do local. Essa fase permitiu identificar as dimensões, a disposição das vagas e as características do entorno, elementos essenciais para o dimensionamento técnico do sistema fotovoltaico proposto. O procedimento envolveu observações de campo e o uso de tecnologias modernas, como drones, para captação de imagens aéreas de alta resolução, que posteriormente foram processadas em softwares especializados, gerando uma representação cartográfica precisa do espaço. Na Figura 33, apresentamos a ortofoto resultante desse levantamento, que serviu como base para as próximas etapas do projeto.

Considerando a análise espacial obtida a partir da ortofotografia, a intervenção proposta consiste na instalação de coberturas metálicas sobre o estacionamento, as quais serão revestidas com painéis solares bifaciais. Essa solução não apenas proporciona sombra e conforto térmico aos usuários e veículos, mas também aproveita a alta incidência solar da região para gerar energia limpa.

Os painéis bifaciais, capazes de captar radiação tanto na face superior quanto na inferior, potencializam a produção energética ao aproveitar a luz refletida pelo solo e pela própria estrutura, tornando o projeto especialmente eficiente e sustentável.

Figura 33 - Ortofoto da Universidade Federal do Oeste da Bahia



Fonte: Autor (2025)

O estacionamento da UFOB foi dividido em quatro setores principais, correspondentes às áreas mais próximas de cada edificação estratégica: Laboratório, Prédio II, Biblioteca e Centro de Convivência. Com a ortofotografia, foi possível identificar e contabilizar com precisão o número de vagas disponíveis em cada setor (Tabela 6), bem como mensurar a área total ocupada pelos estacionamentos como mostra na figura 34. Essa segmentação facilita a análise específica de cada zona, permitindo o dimensionamento adequado das coberturas metálicas acordo com as necessidades e características de cada local. Assim, obtiveram-se os seguintes dados:

Tabela 6 - Levantamento de área e número de vagas de cada setor do estacionamento da UFOB

Setor	Número de Vagas de Estacionamento	Área (m <sup>2</sup> )
Laboratório	76	1072,50
Prédio Dois (PD)	91	1218,64
Biblioteca	70	903,65
Centro de Convivência	74	1018,63

Fonte: Autor (2025)

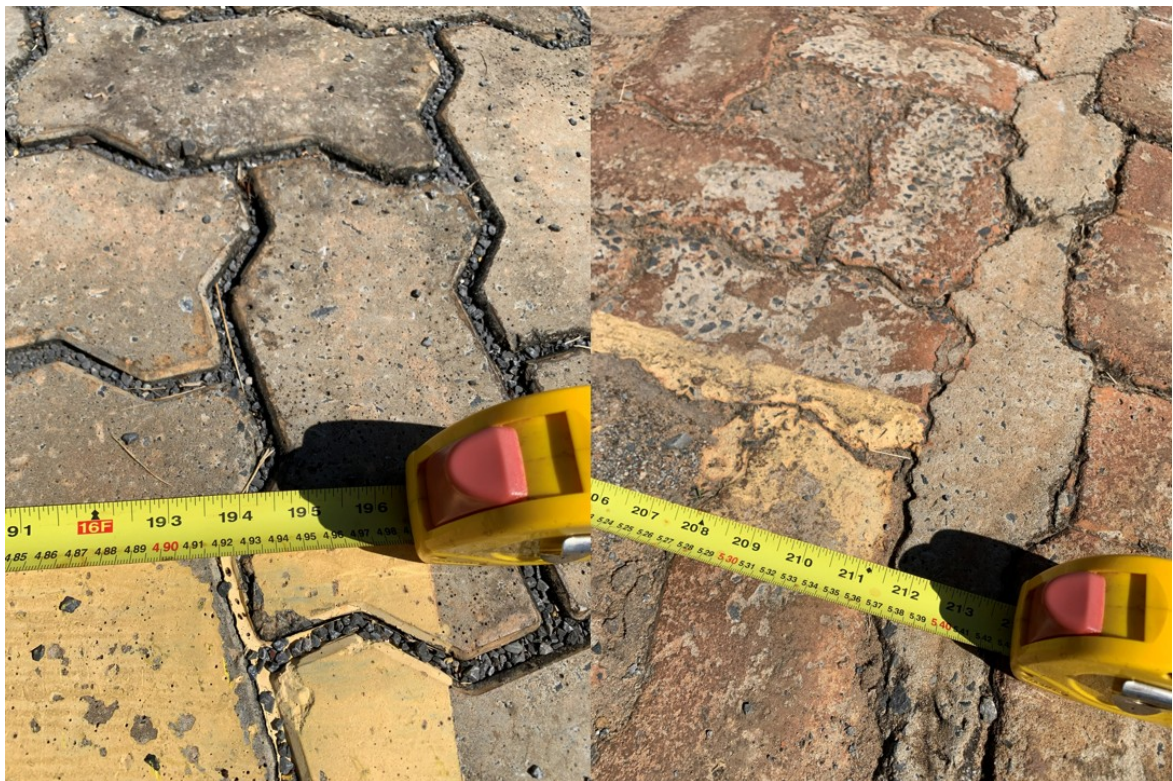
Figura 34 - Levantamento da área de cada setor do estacionamento da UFOB: a) CCU; b) Biblioteca; c) Prédio 2; d) Laboratórios.



Fonte: Autor (2025)

Continuando a análise do estacionamento, após análises das medidas obtidas com trena e por drone, verificou-se que as medidas médias das vagas apresentaram variabilidade, como mostra em alguns exemplos da figura 35, 36 e 37, com um padrão predominante de aproximadamente 2,50 metros de largura por 5,00 metros de comprimento. Essas medidas estão alinhadas com recomendações de normas técnicas brasileiras, como a NBR 9050(ABNT 2020) e a NBR 16272(ABNT2014), que indicam dimensões mínimas de 2,30 metros de largura por 4,80 metros de comprimento para vagas de veículos de passeio.

Figura 35 - Medidas das vagas realizadas com trena

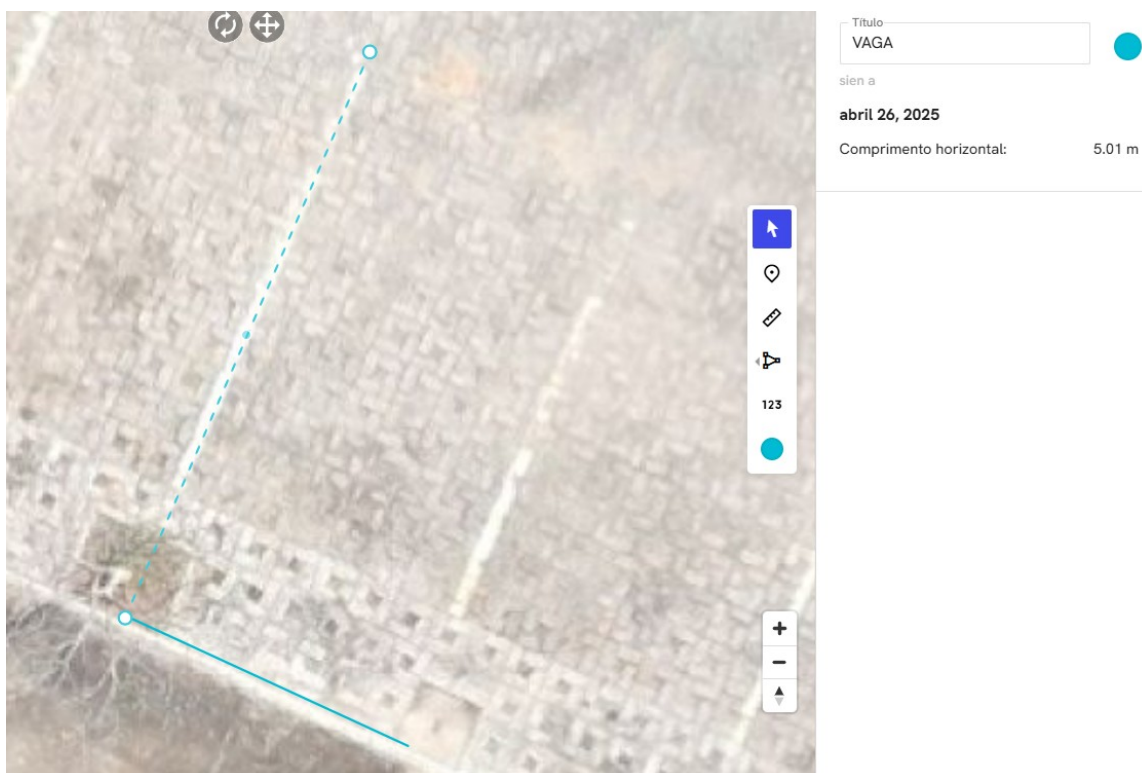


Fonte: Autor (2025)

Devido às variabilidades observadas, foi adotada a padronização dessas medidas para o desenvolvimento de uma única "estrutura modelo" de cobertura. Essa padronização foi fundamental para assegurar uma aplicação eficiente da estrutura de cobertura, facilitando a replicabilidade do projeto e a sua eventual ampliação, além de garantir compatibilidade com as dimensões técnicas recomendadas, otimizando o uso do espaço e a funcionalidade do estacionamento.

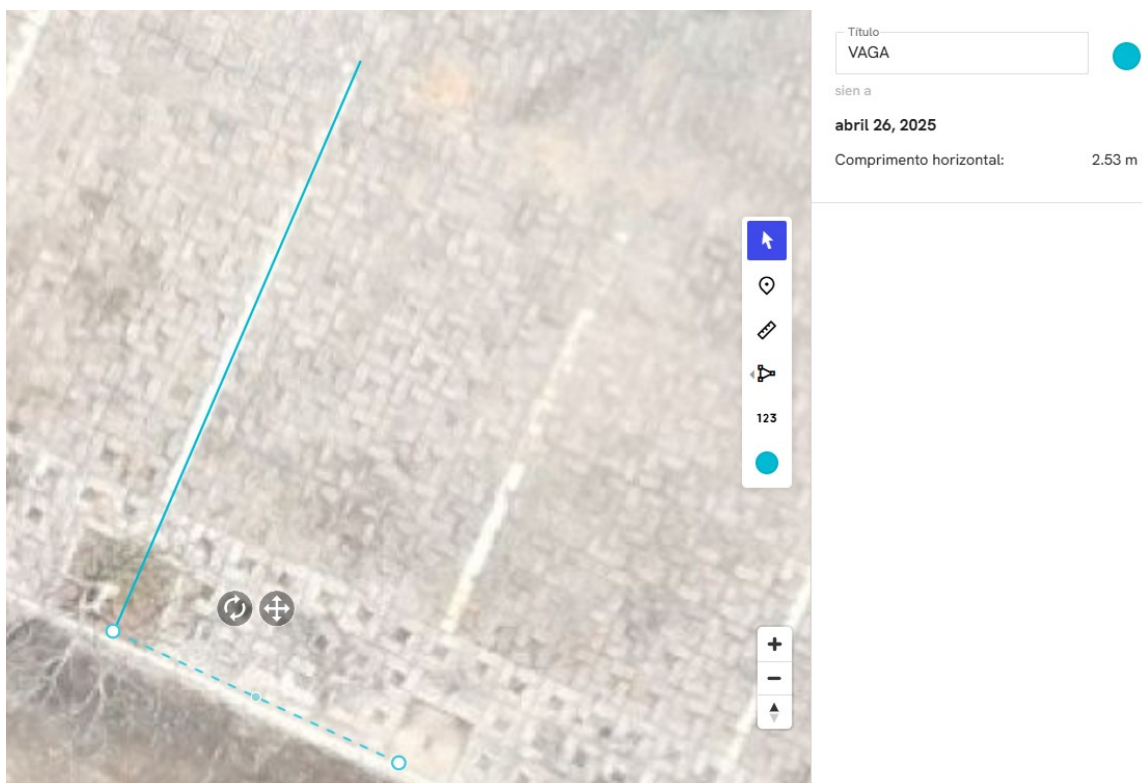
A adoção de medidas padronizadas, condizentes com os parâmetros normativos, contribui para a concepção de um projeto sustentável, com maior controle de custos e maior facilidade na execução, além de garantir o conforto e a segurança dos usuários.

Figura 36 - Medidas vertical de uma vaga realizada com auxílio do mapeamento aéreo



Fonte: Autor (2025)

Figura 37 - Medidas horizontal de uma vaga realizada com auxílio do mapeamento aéreo



Fonte: Autor (2025)

## 4.2 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA METÁLICA

Para viabilizar a otimização do projeto estrutural da cobertura, adotou-se o conceito de padronização das vagas, estabelecendo um modelo uniforme de dimensões. Tal padronização permite o desenvolvimento de um “protótipo” estrutural replicável, facilitando tanto a fabricação quanto a implantação das estruturas metálicas para os carports solares. Esta abordagem contribui significativamente para a racionalização dos processos construtivos, redução de custos e agilidade na execução.

Além disso, a uniformização das medidas simplifica a análise estrutural e o dimensionamento dos perfis metálicos, tendo como base um sistema modular que pode ser expandido ou adaptado conforme a demanda futura. A adoção de vagas com dimensões consagradas, aliada ao levantamento preciso das condições reais no local, assegura a viabilidade técnica da cobertura, potencializando os benefícios do sistema fotovoltaico por meio de um projeto estruturado e eficiente.

O dimensionamento estrutural da cobertura fotovoltaica do estacionamento foi conduzido com base em normas brasileiras que estabelecem os critérios técnicos necessários para garantir a segurança, estabilidade e eficiência do sistema. As principais normas consideradas foram:

a) NBR 6123(ABNT,2023) – Forças devidas ao vento em edificações, que define os procedimentos para determinação das pressões e sucções do vento, considerando fatores como rugosidade do terreno, topografia, forma e altura da edificação.

b) NBR 8800(ABNT,2024) – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, aplicável ao dimensionamento de elementos estruturais metálicos e às ligações soldadas e parafusadas.

c) NBR 14762(ABNT,2024)– Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio, utilizada para o cálculo de perfis metálicos leves, frequentemente empregados em estruturas de suportes fotovoltaicos.

d) NBR 6120(ABNT,2019)– Ações para o cálculo de estruturas de edificações, que estabelece as cargas permanentes e variáveis a serem consideradas no dimensionamento estrutural.

Essa combinação de normas garante que a concepção da estrutura do estacionamento solar atenda plenamente aos requisitos de segurança estrutural, durabilidade e desempenho.

De acordo com a NBR 8800(ABNT,2024), as ações variáveis acidentais abrangem cargas provenientes de instalações elétricas, hidráulicas, isolamento térmico e acústico, bem

como de pequenos equipamentos eventualmente fixados sobre a cobertura, limitadas ao valor máximo de 0,05 kN/m<sup>2</sup>. Para coberturas leves, recomenda-se adotar uma sobrecarga mínima de 0,25 kN/m<sup>2</sup>, uniformemente distribuída sobre a projeção horizontal.

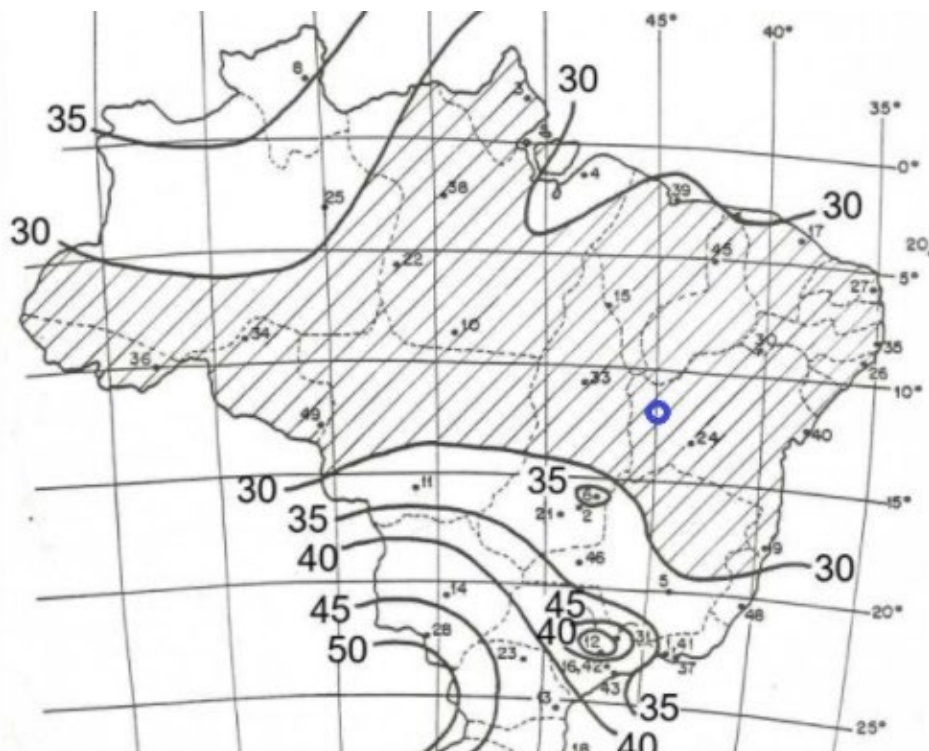
Como os módulos fotovoltaicos já possuem carga própria conhecida por metro quadrado, foi considerado seu peso específico junto às demais ações permanentes no cálculo. Além disso, A ação do vento foi determinada em conformidade com os critérios definidos pela NBR 6123/2023, visto que esse parâmetro é determinante no dimensionamento de estruturas externas expostas.

#### 4.2.1 Ação do vento

##### a) Velocidade básica do vento ( $V_0$ )

Conforme o mapa de isopletas apresentado na NBR 6123(ABNT,2023), a velocidade básica do vento para a região Oeste da Bahia é de 30 m/s (Figura 38). Esse valor representa a velocidade média do vento de retorno de 50 anos, obtida a partir de medições anemométricas padronizadas, e constitui o ponto de partida para o cálculo das ações dinâmicas do vento sobre a estrutura.

Figura 38 - Mapa de isopletas representando as velocidades básicas do vento, sinalizada a localização de Barreiras-BA

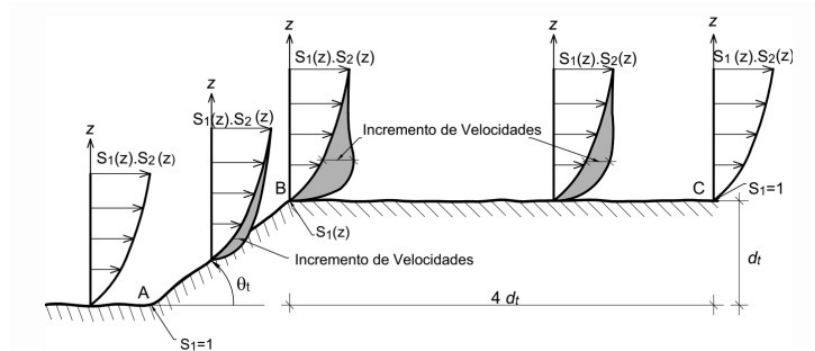


Fonte: NBR 6123/2023

b) Fator topográfico ( $S_1$ )

Com base na análise da topografia local, verificou-se que o terreno apresenta relevo plano a levemente ondulado. Dessa forma, adotou-se o valor  $S_1 = 1,0$ , conforme indicado na Figura 39 da NBR 6123(ABNT,2023), que corresponde a superfícies planas ou suavemente acidentadas.

Figura 39 - Fator topográfico  $S_1$



Fonte: NBR 6123/2023

c) Fator de rugosidade ( $S_2$ )

O terreno onde será implantado o estacionamento solar foi classificado na Categoria III de rugosidade, de acordo com a nomenclatura da NBR 6123(ABNT,2023). Essa categoria caracteriza-se por terrenos planos ou ondulados com obstáculos esparsos, tais como cercas, muros e poucas árvores, cuja altura média dos obstáculos é de aproximadamente 3 metros.

Adicionalmente, em função das dimensões da estrutura, que supera 50 metros no maior vão, o projeto foi classificado como Classe C, conforme a tabela de categorias da edificação. A combinação entre a categoria de terreno e a classe de edificação resultou em um fator de rugosidade  $S_2 = 0,82$  (Figura 40).

Figura 40 - Fator  $S_2$

z (m)	Categoria								
	I			II			III		
	Classe			Classe			Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
≤ 5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00

Fonte: NBR 6123/2023

d) Fator estatístico ( $S_3$ )

O fator estatístico adotado foi o  $S_3 = 1,11$ , correspondente ao Grupo 1, que inclui edificações cuja falha total ou parcial possa comprometer a segurança de usuários. Embora não se trate de uma edificação de uso essencial, a presença constante de pessoas sob a cobertura justifica essa classificação, conforme recomenda a NBR 6123(ABNT,2023)(Figura 41).

Figura 41 - Fator topográfico  $S_3$

Grupo	Descrição	$S_3$	$T_p$ (anos)
1	Estruturas cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, edifícios de centrais de controle, etc.). Pontes rodoviárias e ferroviárias. Estruturas que abrigam substâncias inflamáveis, tóxicas e/ou explosivas. Vedações das edificações do grupo 1 (telhas, vidros, painéis de vedação).	1,11	100
2	Estruturas cuja ruína represente substancial risco à vida humana, particularmente a pessoas em aglomerações, crianças e jovens, incluindo, mas não limitado a: <ul style="list-style-type: none"> <li>• edificações com capacidade de aglomeração de mais de 300 pessoas em um mesmo ambiente, como centros de convenções, ginásios, estádios etc.</li> <li>• creches com capacidade maior do que 150 pessoas;</li> <li>• escolas com capacidade maior do que 250 pessoas;</li> </ul> Vedações das edificações do grupo 2 (telhas, vidros, painéis de vedação).	1,06	75
3	Edificações para residências, hotéis, comércio, indústrias. Estruturas ou elementos estruturais desmontáveis com vistas a reutilização. Vedações das edificações do grupo 3 (telhas, vidros, painéis de vedação).	1,00	50
4	Edificações não destinadas à ocupação humana (depósitos, silos) e sem circulação de pessoas no entorno. Vedações das edificações do grupo 4 (telhas, vidros, painéis de vedação).	0,95	37
5	Edificações temporárias não reutilizáveis. Estruturas dos Grupos 1 a 4 durante a construção (fator aplicável em um prazo	0,83	15

Fonte: NBR 6123/2023

e) Cálculo da velocidade característica do vento ( $V_k$ )

Após a definição dos parâmetros anteriores, a velocidade característica do vento foi obtida pela equação 3:

$$V_k = 30 \times 1,00 \times 0,82 \times 1,11 = 27,31 \text{ m/s} \quad (12)$$

A pressão dinâmica correspondente foi calculada segundo a equação da pressão dinâmica:

$$q = 0,613 V_k^2 \quad (13)$$

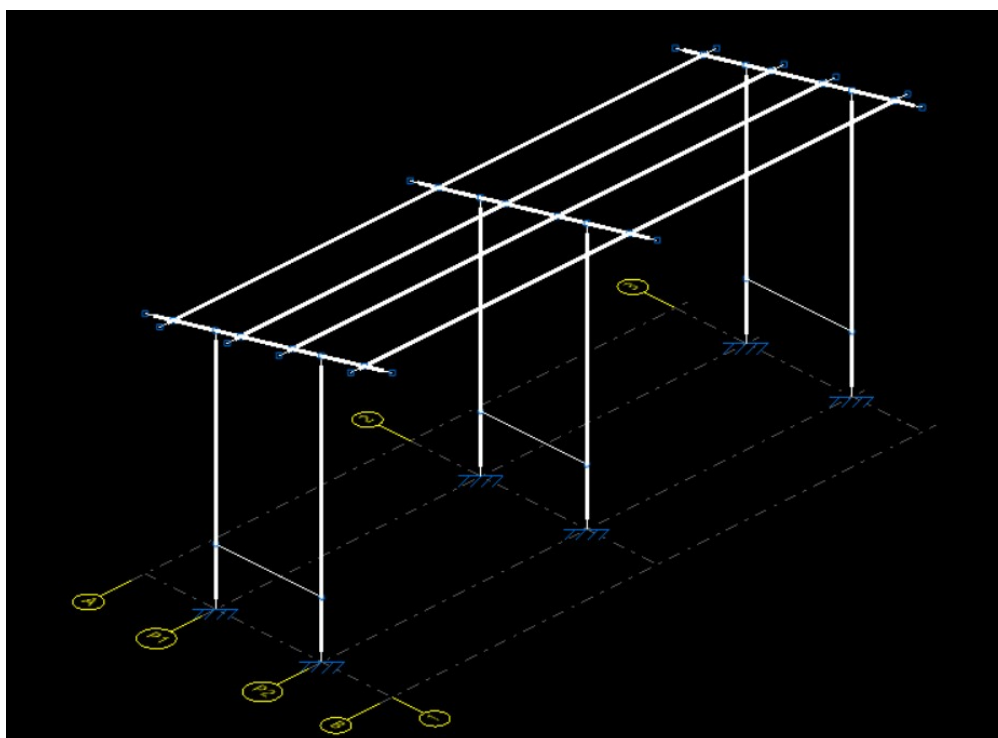
Substituindo os valores determinados na expressão normativa:

$$q=0,613 \times 27,31^2=457,20 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}=46,62 \text{ kgf/m}^2 \quad (14)$$

#### 4.2.2 Dimensionamento no software Cypecad

Finalizado o cálculo da ação do vento, o valor obtido foi então utilizado nas combinações de ações estruturais, juntamente com o peso próprio, sobrecarga normativa ( $0,25 \text{ kN/m}^2 + 0,05 \text{ kN/m}^2$ ) e o peso específico dos módulos fotovoltaicos ( $0,0985 \text{ kN/m}^2$ ).

Figura 42 - Layout da estrutura para 4 vagas de carros de passeio



Fonte: Autor (2025)

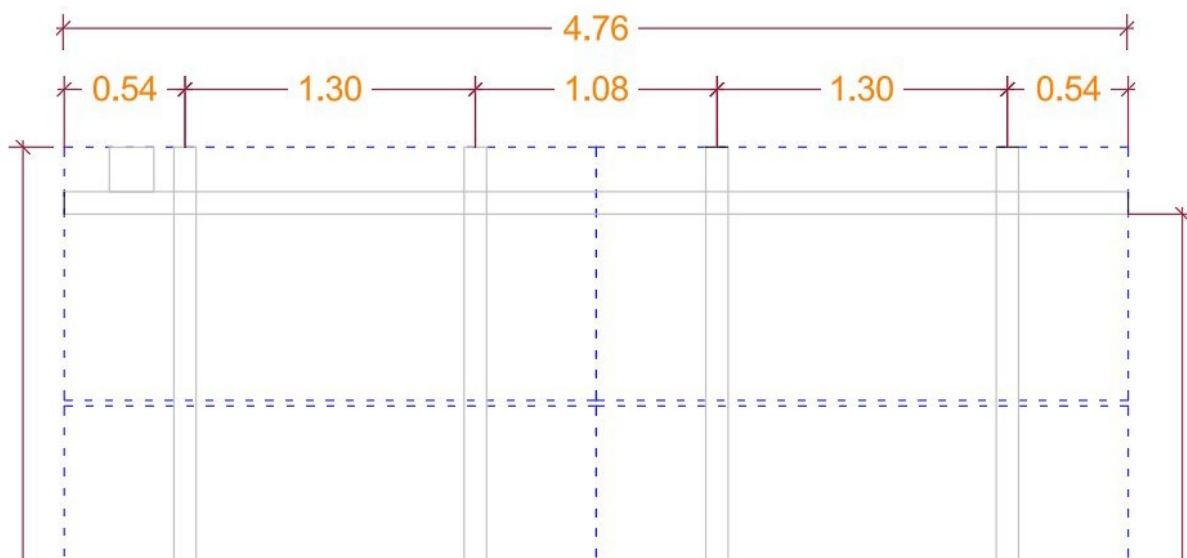
A estrutura padrão (Figura 42), que será replicada ao longo de todo o estacionamento, consiste em seis conjuntos compostos por dois pilares cada, com alturas distintas de 4,70 metros e 4,28 metros, respectivamente. A distância entre os pilares, medida de eixo a eixo, é de 2 metros, permitindo que a cobertura suporte os painéis solares inclinados a um ângulo de 12 graus. Essa inclinação foi escolhida estrategicamente considerando a latitude de Barreiras-BA, otimizando a captação e a produção energética do sistema fotovoltaico.

A altura dos pilares também atende à necessidade de oferecer conforto aos usuários do estacionamento, permitindo a circulação de veículos de maior porte, como caminhonetes, sem restrições. O layout do estacionamento posiciona os pares de pilares com um espaçamento de

5 metros entre si (eixo a eixo), compatibilizando-se adequadamente com o dimensionamento das vagas.

No topo da estrutura, há uma viga inclinada de 4,76 metros, que funciona como caibros para sustentar os perfis, responsáveis pela fixação dos painéis solares. Esses perfis são distribuídos de modo uniforme (Figura 43), garantindo a fixação segura e uma distribuição adequada do peso dos painéis sobre a estrutura. Cada sistema de fixação é projetado para acomodar 9 painéis, cada um com 1,134 metro de largura, dispostos longitudinalmente em filas duplas, com painéis medindo 2,38 metros de comprimento.

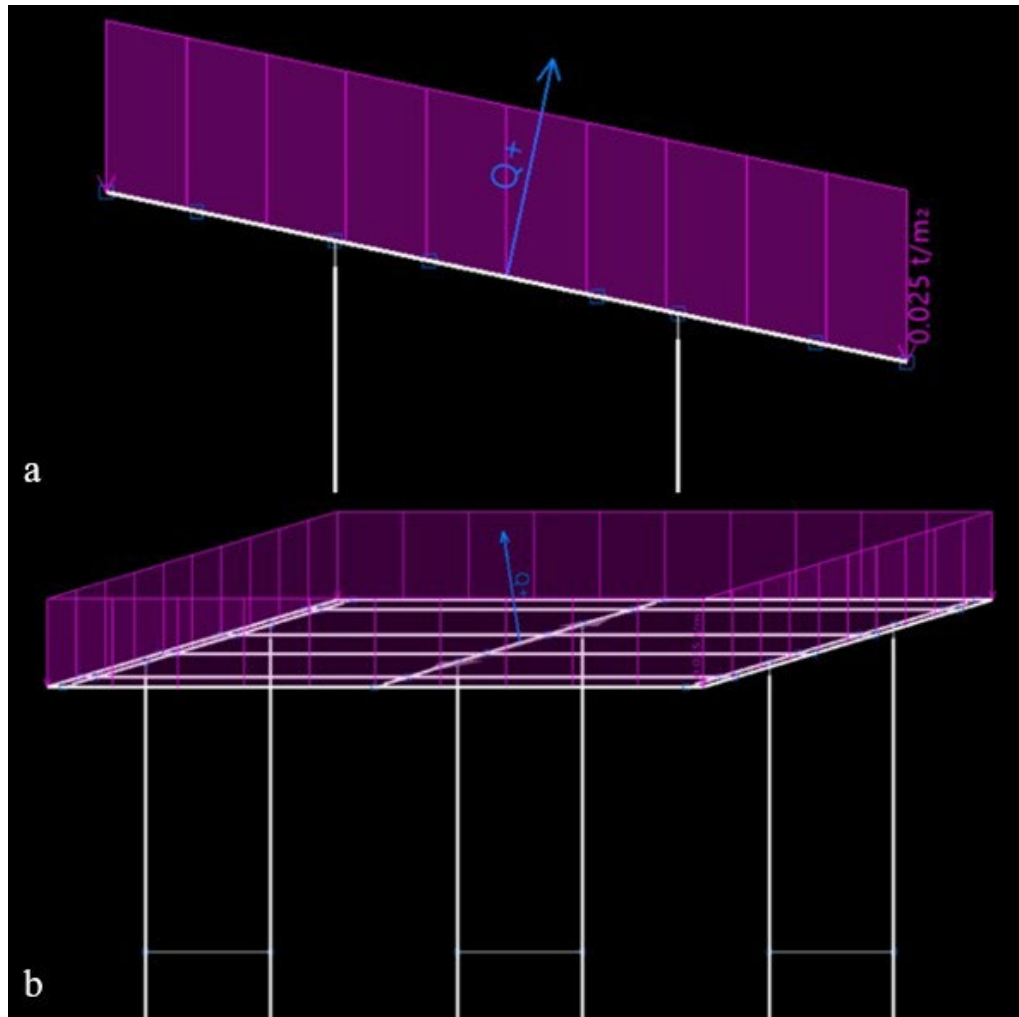
Figura 43 - Detalhe da disposição de perfis sobre a viga



Fonte: Autor (2025)

Inicialmente, na disposição de cargas no layout definido, aplicou-se a sobrecarga normativa 1 (Figura 44), que consiste em uma carga uniformemente distribuída definida para uso no dimensionamento de estruturas de edificações. Essa carga é essencial para contemplar as solicitações variáveis que a cobertura poderá sofrer durante sua vida útil. Vale destacar que o software utilizado já considera automaticamente, em seu processamento interno, o peso próprio da estrutura, conforme as propriedades dos perfis e elementos adotados no modelo. Essa configuração assegura que todas as cargas permanentes sejam incorporadas de forma precisa, evitando a necessidade de lançamento manual e reduzindo possíveis inconsistências nos resultados.

Figura 44 - Sobrecarga normativa: vista frontal (a) e vista 3d (b)

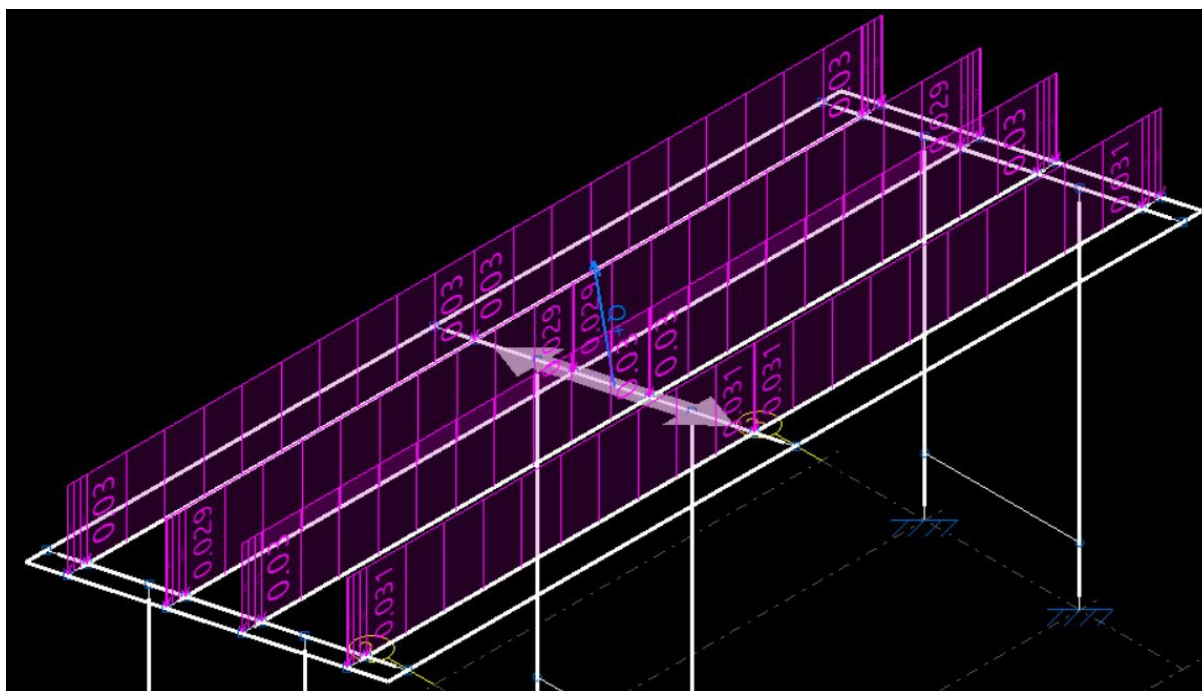


Fonte: Autor (2025)

Em sequência à aplicação da sobrecarga normativa, considerando condição de cobertura de estacionamento, é possível visualizar na análise estrutural o comportamento do sistema sob essa ação distribuída. O software gera automaticamente o diagrama, permitindo avaliar a resposta da estrutura frente às solicitações impostas.

Na figura 45, a seguir, é apresentado o efeito da carga aplicada sobre a cobertura, evidenciando as regiões de maior solicitação e o desempenho global da estrutura sob a sobrecarga considerada.

Figura 45 - Detalhe das solicitações da sobrecarga normativa 1

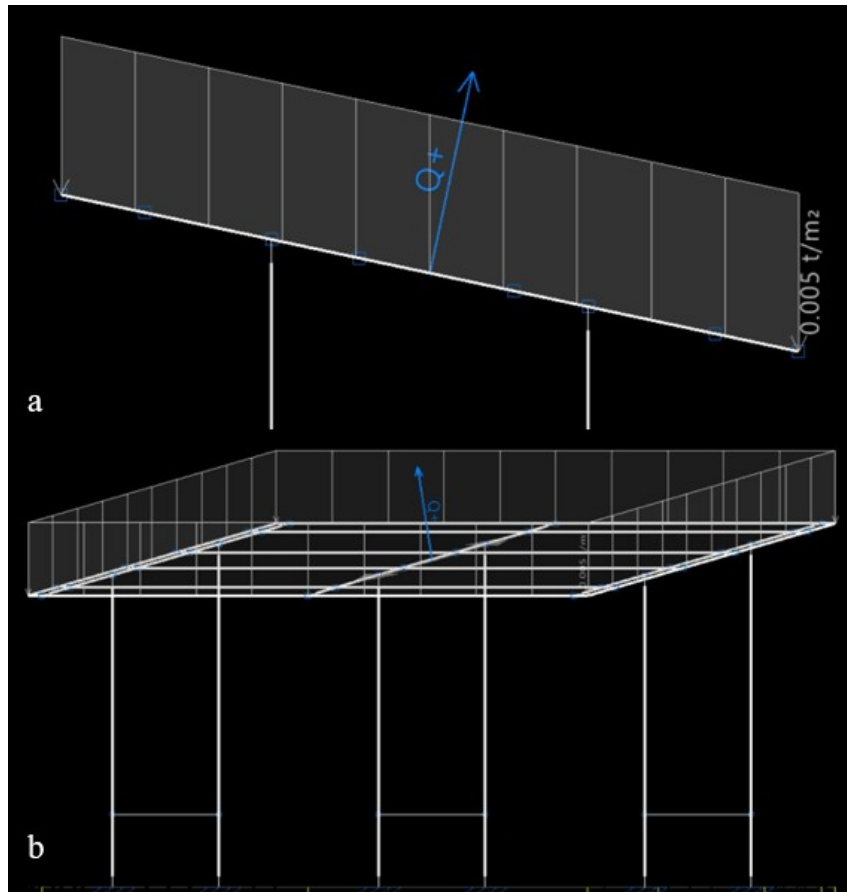


Fonte: Autor (2025)

O segundo passo consistiu na aplicação da sobrecarga normativa 2 (Figura 46), classificada como uma sobrecarga accidental. Esse tipo de ação deve ser considerado no dimensionamento estrutural mesmo que sua ocorrência não seja constante, mas eventual, representando situações transitórias ao longo da vida útil da estrutura. No contexto do projeto, essa sobrecarga pode estar associada, por exemplo, ao acúmulo de água de chuva intensa na cobertura ou à presença de equipamentos de manutenção temporariamente apoiados na estrutura.

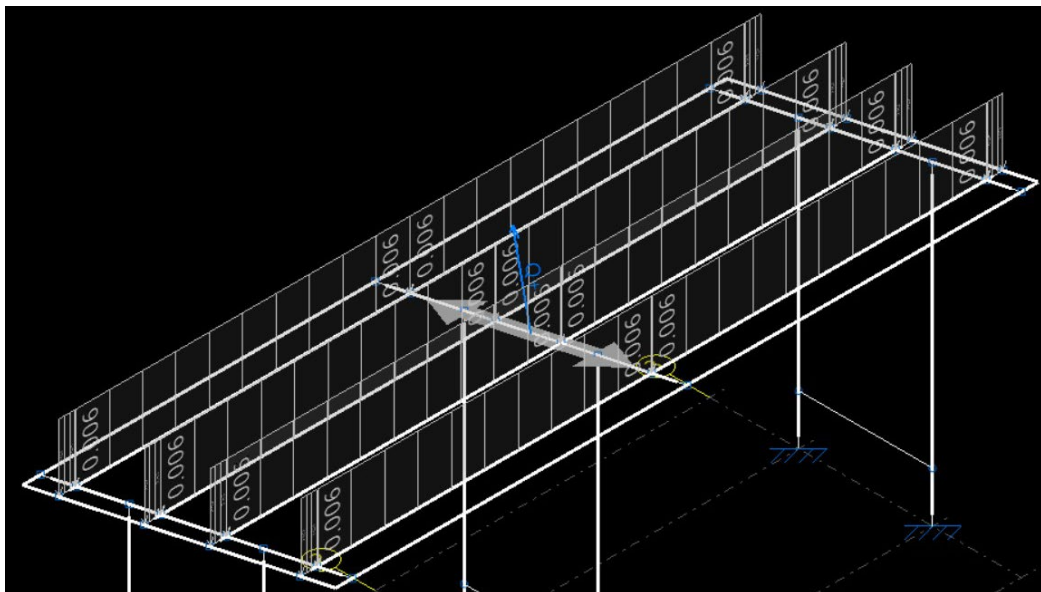
Em continuidade à análise, após a aplicação da sobrecarga normativa 2, o comportamento estrutural foi novamente avaliado para observar a resposta do sistema frente a essa ação accidental. O software de modelagem gera automaticamente os diagramas correspondentes, permitindo visualizar a redistribuição dos esforços e identificar as variações de tensões. Na Figura 47, é possível observar o efeito da sobrecarga accidental aplicada sobre a cobertura I.

Figura 46 - Sobrecarga normativa 2: vista frontal (a) e vista 3d (b)



Fonte: Autor (2025)

Figura 47 - Detalhe das solicitações da sobrecarga normativa 2

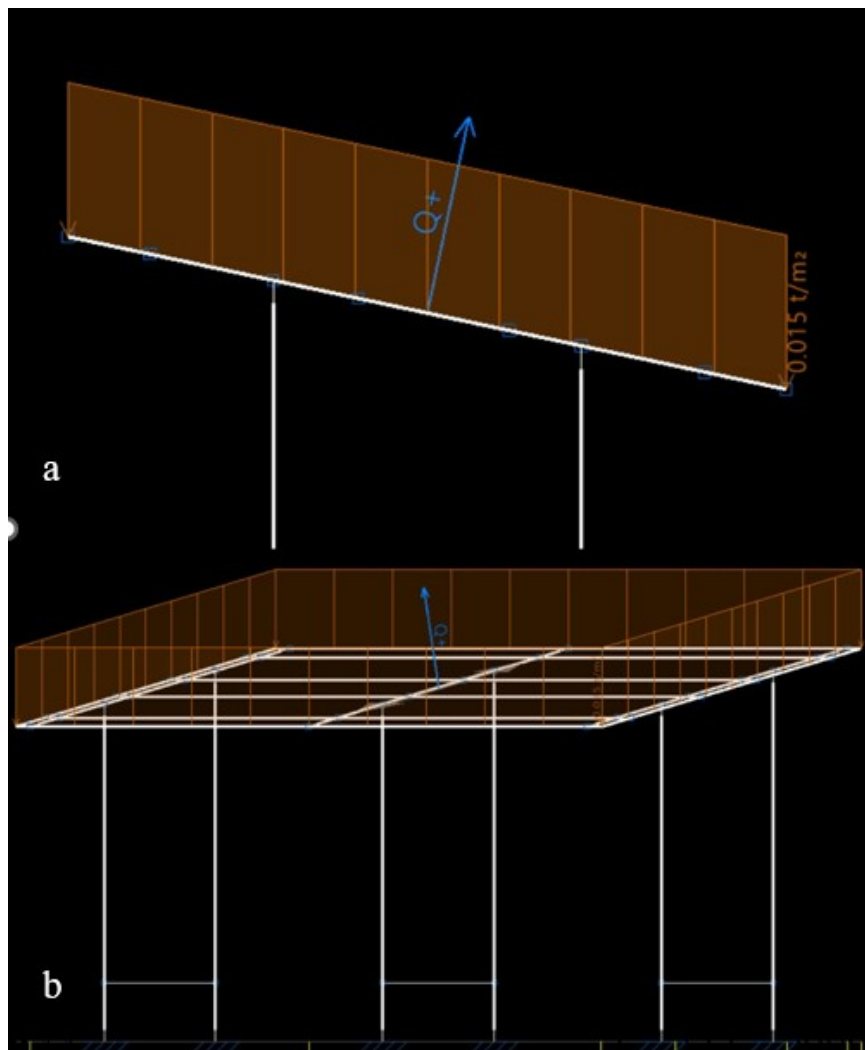


Fonte: Autor (2025)

Após a consideração das cargas previstas em norma, passa-se a analisar a carga específica da cobertura fotovoltaica, composta pelos módulos solares instalados. O módulo selecionado possui peso aproximado de 40 kg, com dimensões de 2,38 m por 1,134 m, resultando em um peso médio estimado de cerca de 15 kg/m<sup>2</sup>, valor comumente adotado no dimensionamento estrutural conforme literatura técnica do setor solar.

A Figura 48 ilustra a aplicação dessa carga sobre os perfis estruturais e a figura 49 detalha a distribuição do peso ao longo da estrutura de suporte. Essa carga é crucial para o dimensionamento seguro dos perfis e dos sistemas de fixação, garantindo que a estrutura suporte adequadamente o peso dos painéis sem prejuízo à integridade e estabilidade global da cobertura fotovoltaica.

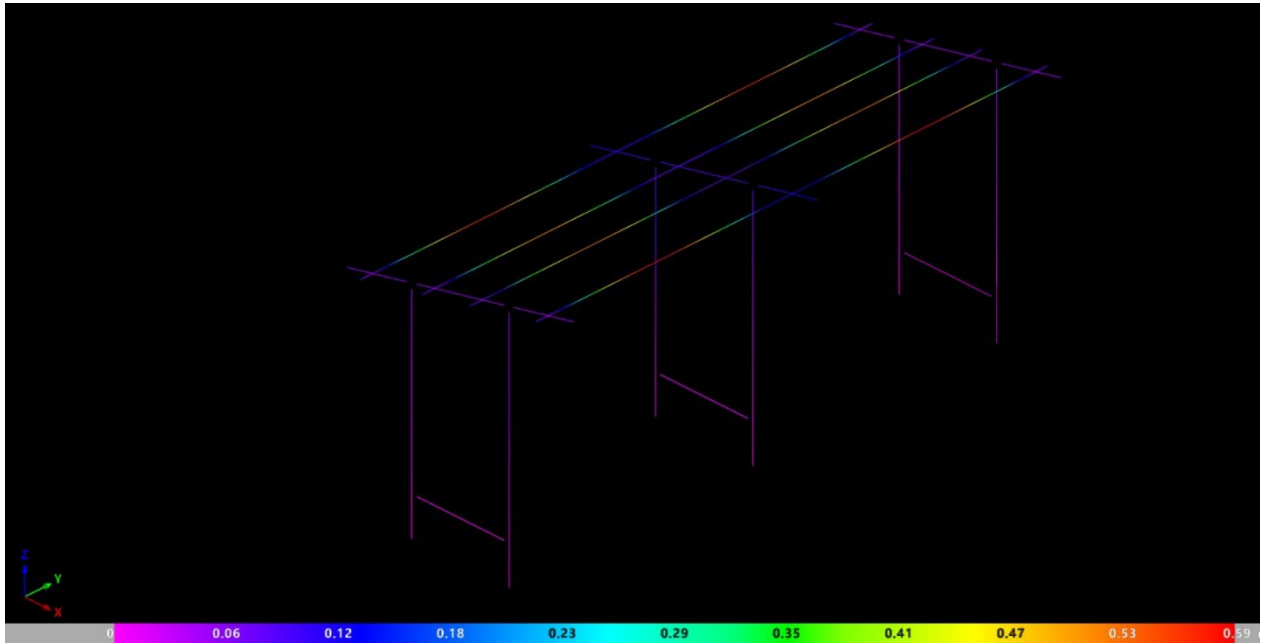
Figura 48 - Carga dos painéis solares: vista frontal (a) e vista 3d (b)



Fonte: Autor (2025)

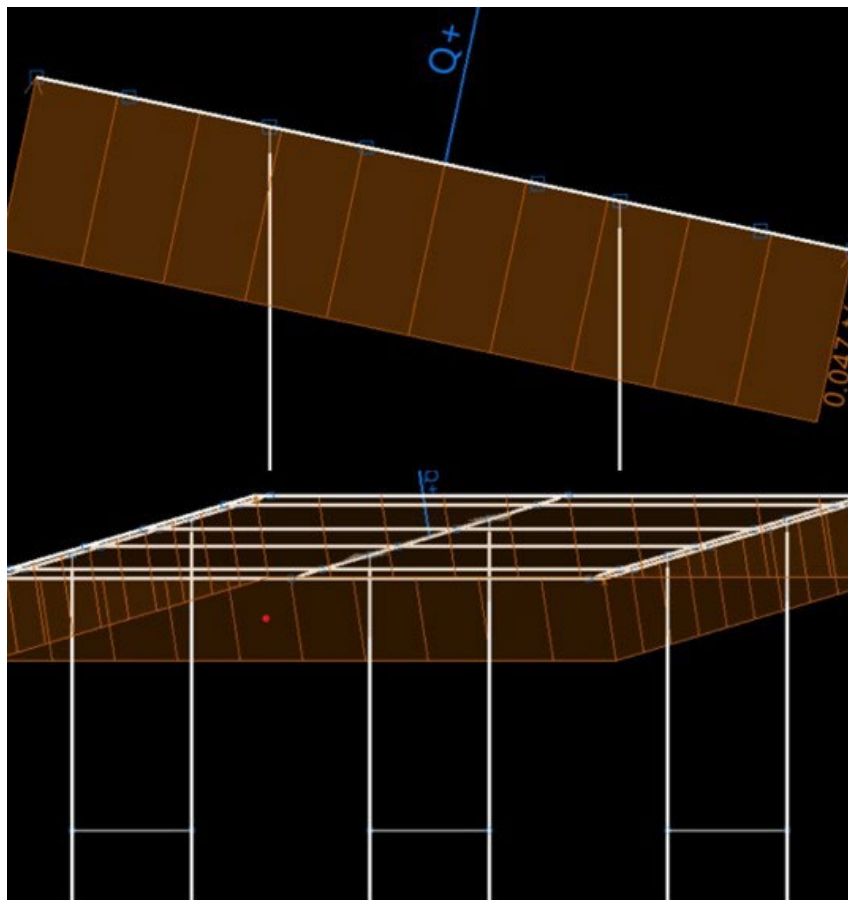


Figura 50 - Deslocamentos máximos da estrutura ocasionados pelo carga dos painéis solares



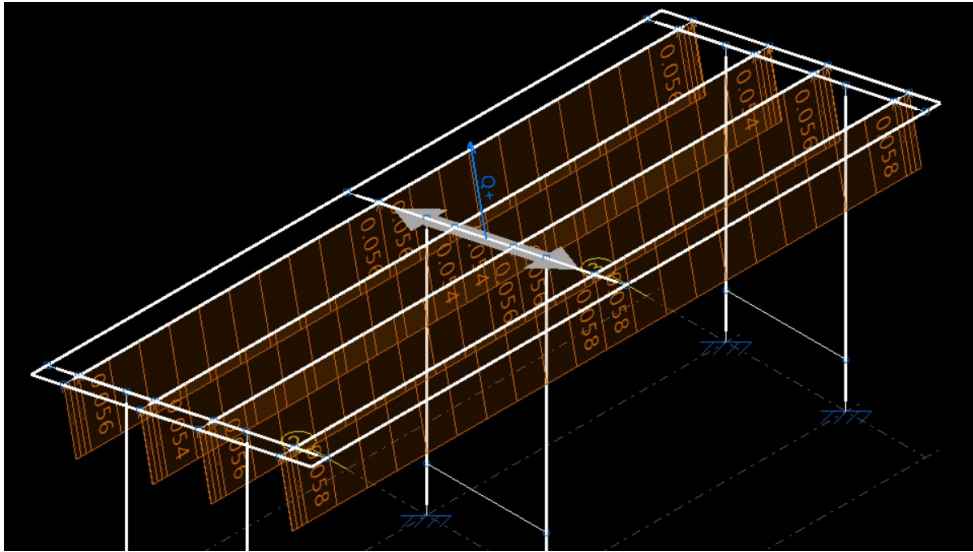
Fonte: Autor (2025)

Figura 51 - Aplicação da ação de vento: vista frontal (a) e vista 3d (b)



Fonte: Autor (2025)

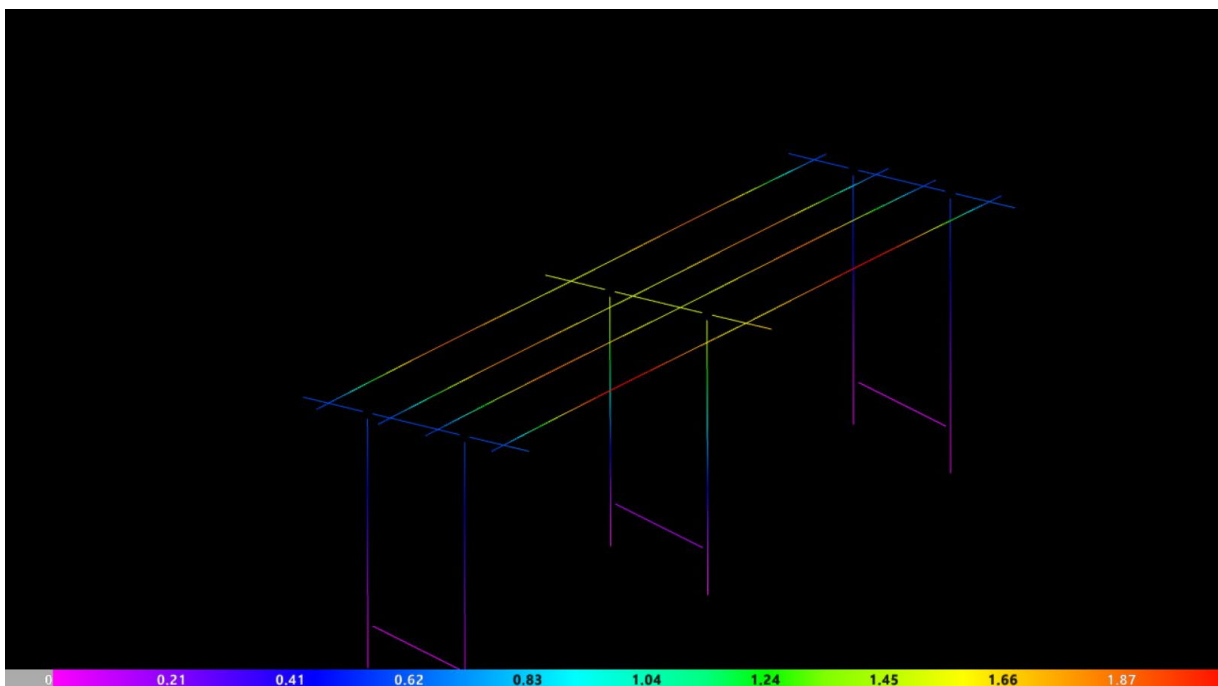
Figura 52 - Efeito do vento nos elementos estruturais



Fonte: Autor (2025)

Complementando a análise estrutural, a Figura 53 exibe os deslocamentos máximos da estrutura provocados pela ação da carga de vento. Esse modelo computacional do software possibilita uma avaliação detalhada das deformações em milímetros. Esta visualização é crucial para garantir que as deformações induzidas pela pressão dinâmica do vento estejam dentro dos limites aceitáveis.

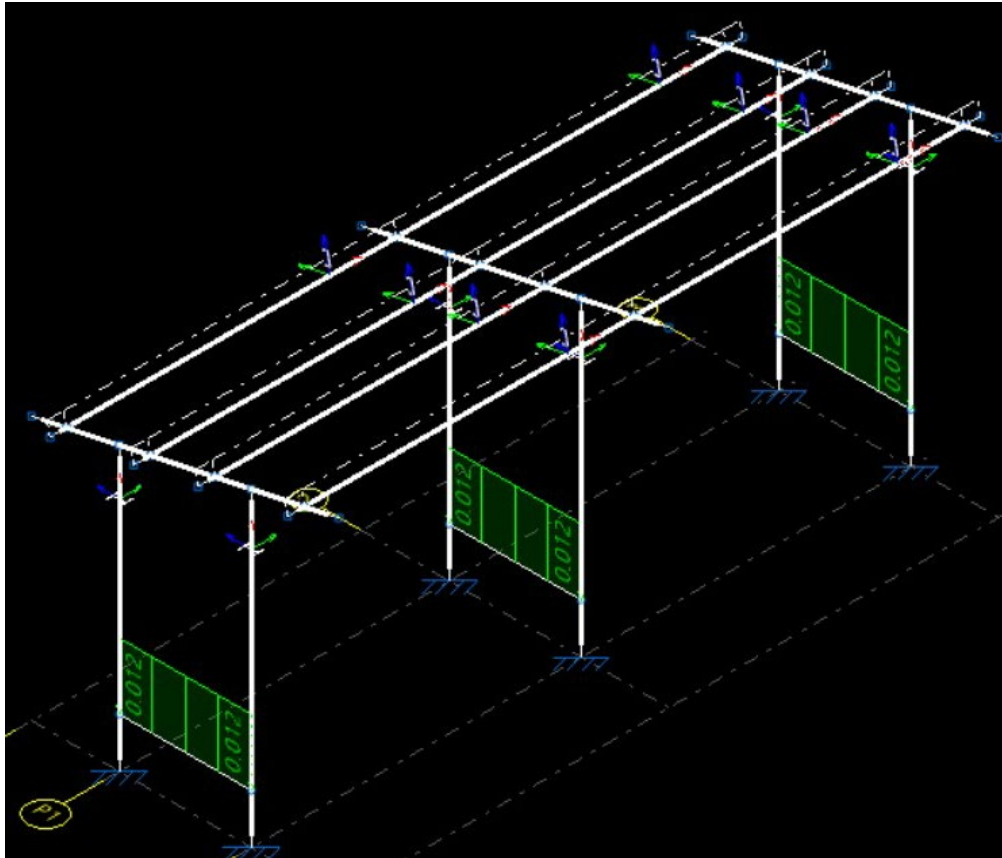
Figura 53 - Deslocamentos máximos da estrutura ocasionados pelas ações do vento



Fonte: Autor (2025)

Além dos carregamentos previstos anteriormente, foi considerado no projeto a possibilidade de instalação de uma defesa metálica na viga localizada entre os pilares. Conforme a NBR 7188(ABNT 2024) relacionada a dispositivo de contenção viária, a defesa metálica apresenta um peso aproximado de 0,012 kN/m linear (Figura 54), correspondente ao sistema de proteção contra colisões veiculares.

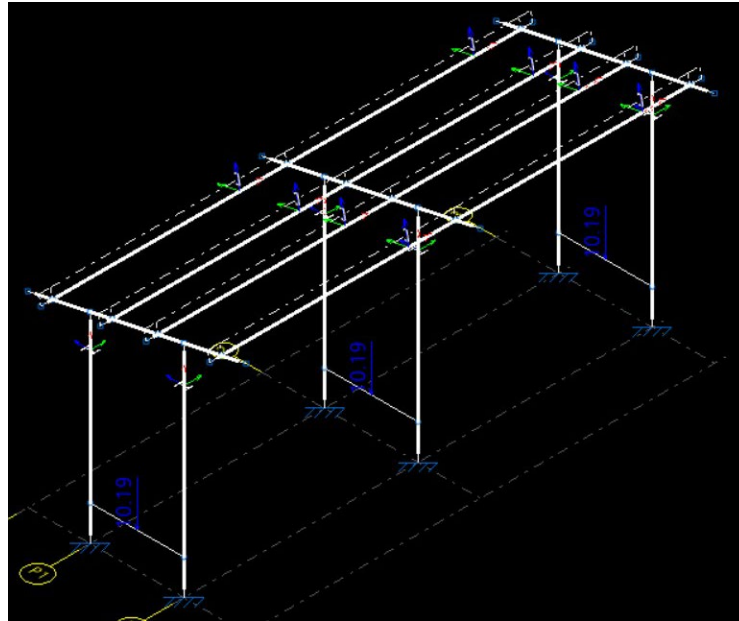
Figura 54 - Carga da defesa metálica



Fonte: Autor (2025)

Considerando a importância da segurança veicular no estacionamento universitário, foi simulada a aplicação de uma carga de impacto localizada no centro dessa viga (Figura 55), representando a colisão eventual de um veículo contra a estrutura. Para tanto, adotou-se um valor de carga concentrada de 100 kN, equivalendo aproximadamente a 10 toneladas-força, de acordo com as diretrizes normativas e estudos comparativos de impacto para estruturas similares. Essa ação é fundamental para garantir que a estrutura suporte adequadamente o esforço dinâmico gerado nessa situação crítica.

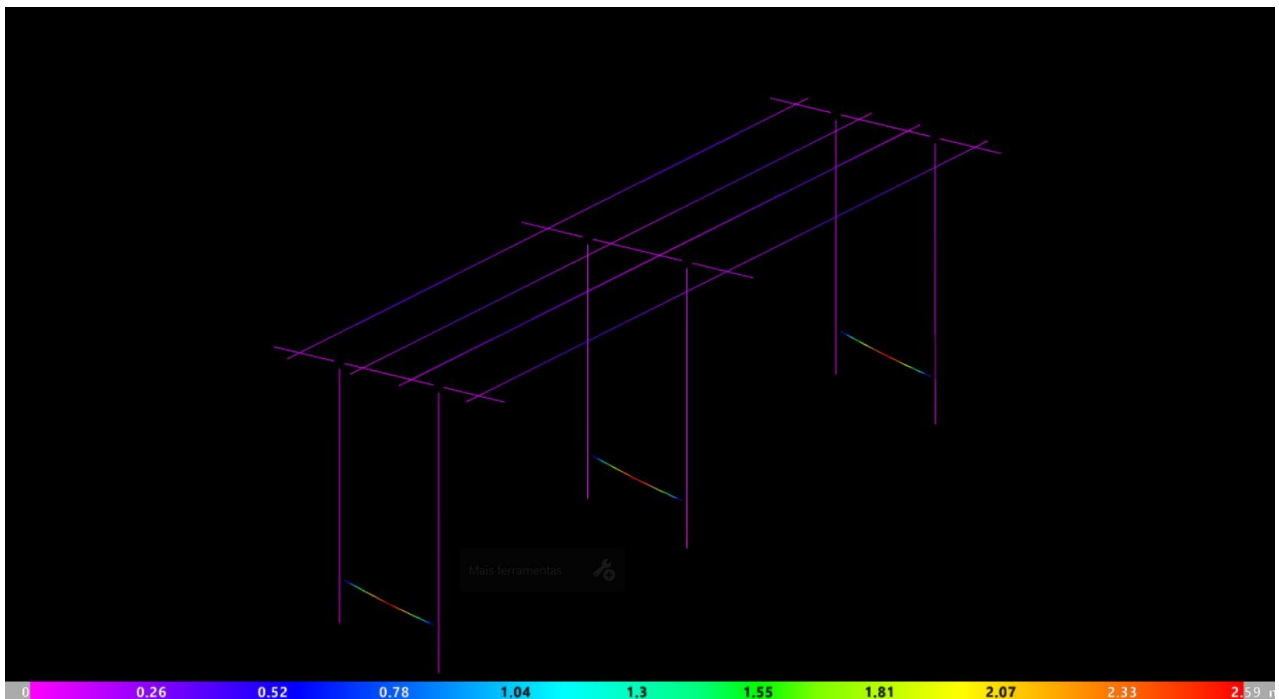
Figura 55- Carga de impacto aplicada no centro da viga.



Fonte: Autor (2025)

A Figura 56 apresenta os deslocamentos máximos da estrutura resultantes da carga de impacto simulada na viga entre os pilares, correspondendo a uma colisão veicular conforme previsto no projeto. Esta visualização é fundamental para avaliar a resposta da estrutura em situações extremas de carga.

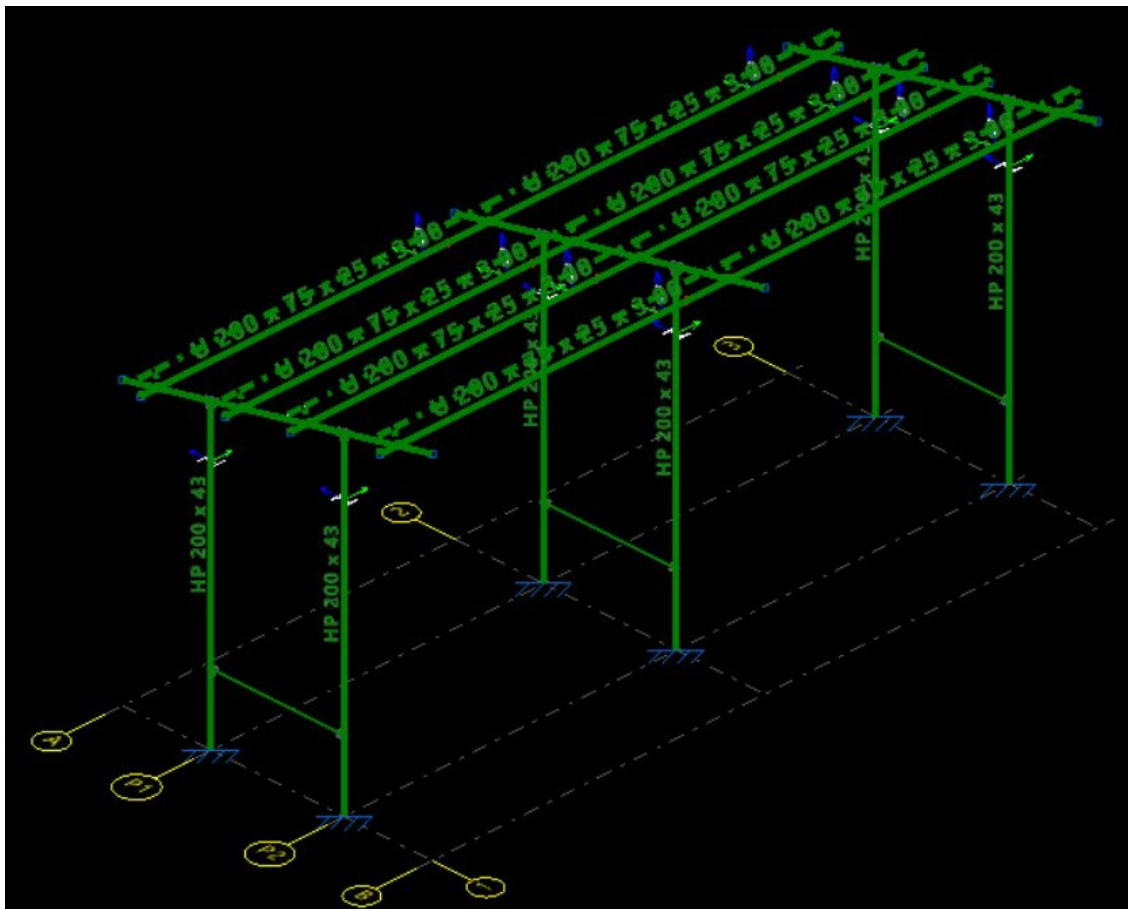
Figura 56 - Deslocamento causado pela carga de impacto



Fonte: Autor (2025)

Após a aplicação de todas as cargas previstas no dimensionamento, realiza-se a verificação estrutural das peças para assegurar que cada elemento atenda aos critérios normativos e de segurança estabelecidos. O Cypecad sinaliza graficamente os resultados dessa verificação, utilizando cores para indicar o status das peças: verde para elementos que satisfazem todas as exigências de resistência e deformação, e vermelho para aqueles que apresentam algum tipo de não conformidade (Figura 57).

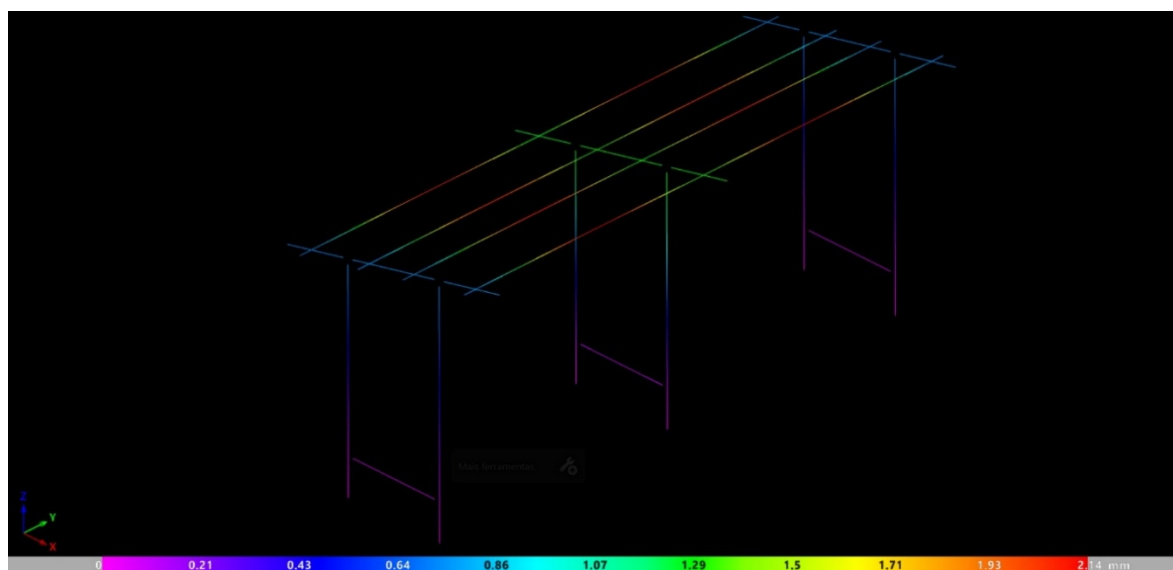
Figura 57 - Verificação dos elementos estruturais



Fonte: Autor (2025)

Essa sinalização visual facilita a identificação rápida de componentes críticos que requerem ajustes dimensionais ou reforços. Com base na confirmação da conformidade estrutural, o software é capaz de gerar o deslocamento máximo da estrutura considerando a combinação integrada de todas as cargas atuantes, assim demonstrando a instabilidade da edificação (Figura 58).

Figura 58 - Deslocamento máximo da estrutura considerando a combinação integrada de todas as cargas atuantes.

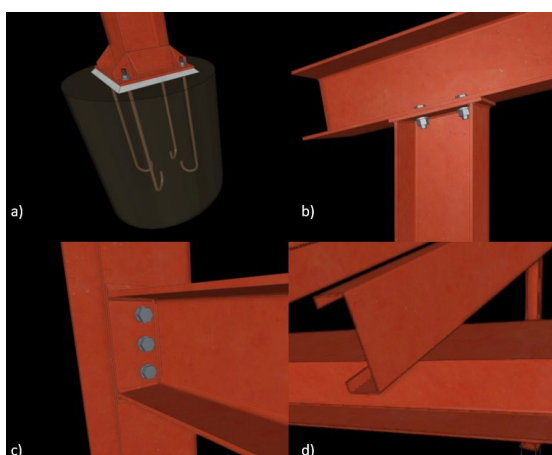


Fonte: Autor (2025)

Durante o processo de dimensionamento dentro da interface do software, são realizadas também as verificações das ligações utilizando as cargas aplicadas na estrutura. No modelo existem quatro tipos principais de ligações: a) ligação pilar/base; b) ligação pilar/viga inferior; c) ligação pilar/viga de cobertura; e d) ligação viga de cobertura/perfis de fixação (Figura 59).

Dentre essas, a única ligação realizada por solda é a que fixa os módulos fotovoltaicos ao perfil de suporte, garantindo rigidez e segurança na fixação dos painéis. As demais ligações são aparafusadas e dimensionadas automaticamente pelo software, que gera desenhos detalhados e relatórios técnicos completos.

Figura 59 - Ligações da edificação: a) ligação pilar/base; b) ligação pilar/viga inferior; c) ligação pilar/viga de cobertura; e d) ligação viga de cobertura/perfis de fixação



Fonte: Autor (2025)

Após a conclusão de todos esses processos apresentados, torna-se possível gerar o modelo tridimensional (Figura 60) detalhado da estrutura tipo do estacionamento.

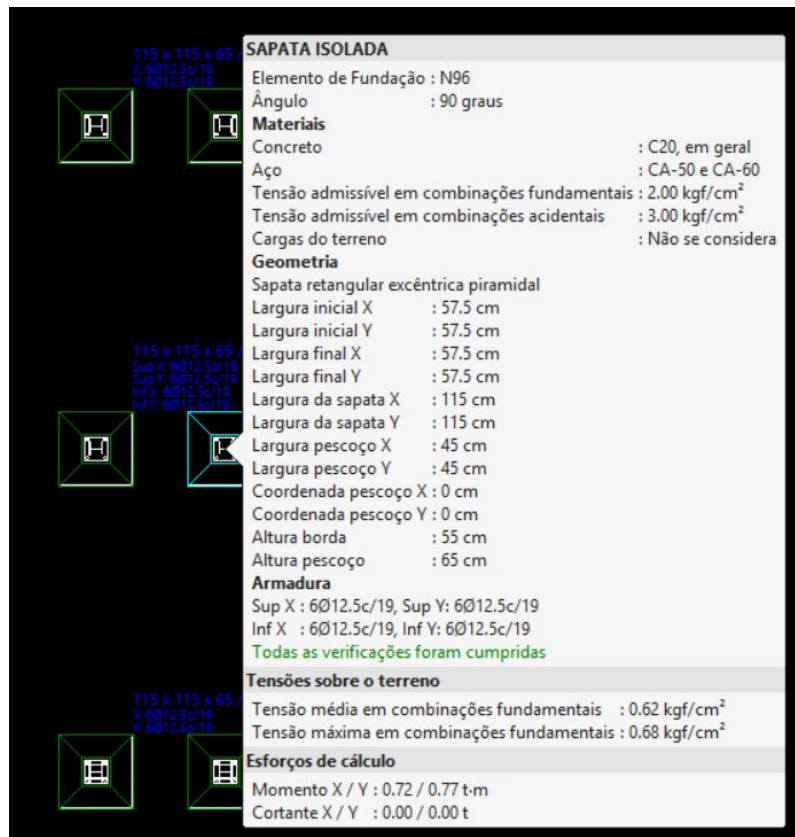
Figura 60 - Estrutura tipo do estacionamento



Fonte: Autor (2025)

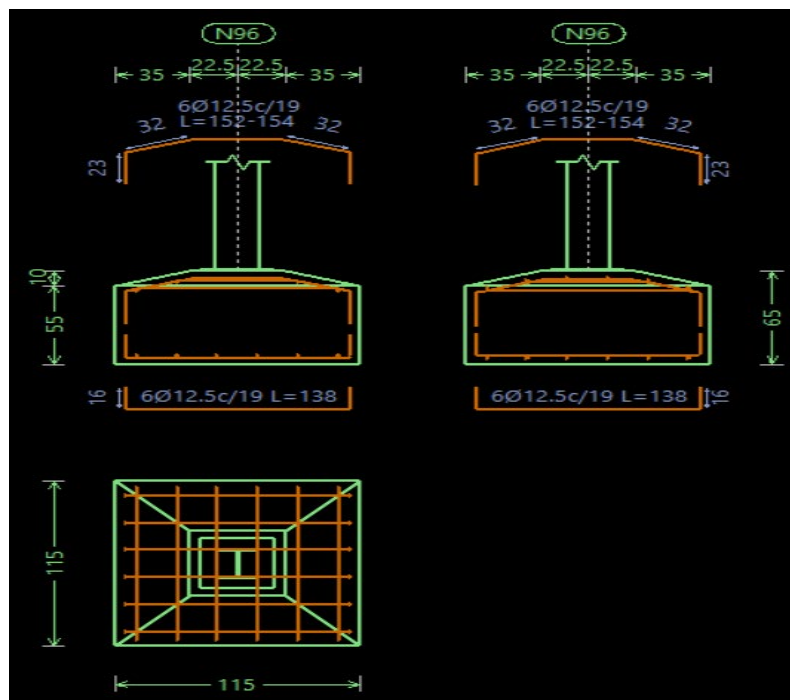
Como apresentado na Figura 32 do item 3.3, também foi realizado o dimensionamento das fundações, sendo possível obter tanto os resultados desse dimensionamento (Figura 61) quanto os detalhes construtivos das fundações (Figura 62). Além disso, um novo modelo tridimensional final foi gerado, integrando as fundações ao conjunto estrutural do estacionamento (Figura 63).

Figura 61 - Dimensionamento das características das fundações



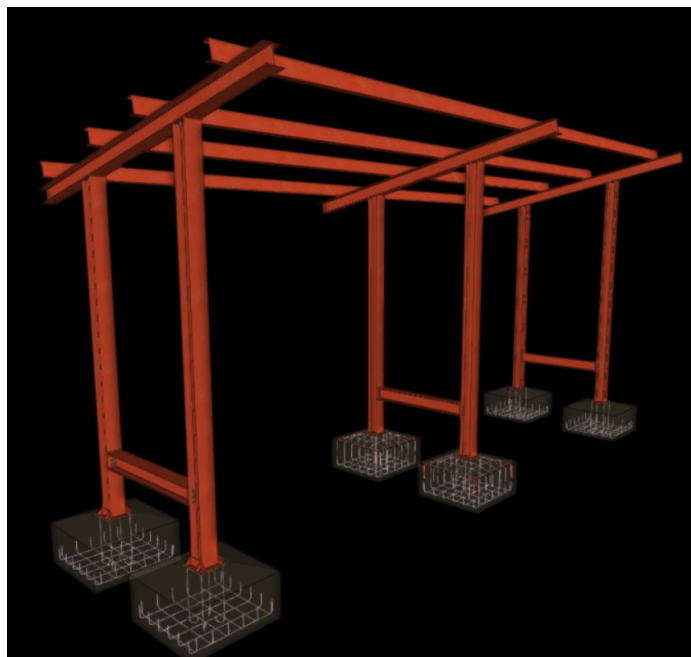
Fonte: Autor (2025)

Figura 62 - Detalhamento construtivo das fundações



Fonte: Autor (2025)

Figura 63 - Detalhamento construtivo das fundações



Fonte: Autor (2025)

No relatório de dimensionamento gerado pelo software, é apresentada uma tabela detalhada dos materiais empregados na estrutura, os quais se resumem basicamente a dois tipos de aço: laminado e dobrado. A Tabela 7 e 8 exibe o detalhamento desses perfis, facilitando a cotação dos materiais necessários para a execução da obra. Além disso, o relatório também apresenta a quantidade total de ligações previstas (Tabela 9), fornecendo uma visão abrangente dos componentes estruturais utilizados no projeto.

Tabela 7 - Resumo dos aços da estrutura tipo

Tabela de ferro								
Material		Peça (Ni/Nf)	Perfil(Série)	Comprimento (m)	Volume (m³)	Peso (kg)		
Tipo	Designação							
Aço laminado	A-572 345MPa	N1/N88	HP 200 x 43 (HP)	4.283	0.023	181.87		
		N3/N87	HP 200 x 43 (HP)	4.707	0.025	199.92		
		N5/N6	HP 200 x 43 (HP)	4.764	0.026	202.32		
		N127/N128	HP 200 x 43 (HP)	2.000	0.011	84.94		
		N93/N95	HP 200 x 43 (HP)	4.283	0.023	181.87		
		N96/N98	HP 200 x 43 (HP)	4.707	0.025	199.92		
		N129/N130	HP 200 x 43 (HP)	2.000	0.011	84.94		
		N109/N110	HP 200 x 43 (HP)	4.283	0.023	181.87		
		N105/N107	HP 200 x 43 (HP)	4.707	0.025	199.92		
		N116/N112	HP 200 x 43 (HP)	4.764	0.026	202.32		
		N131/N132	HP 200 x 43 (HP)	2.000	0.011	84.94		
		N104/N100	HP 200 x 43 (HP)	4.764	0.026	202.32		
		Aço dobrado	A-36	N76/N126	U 200 x 75 x 25 x 3,00 (Perfis em Ue formados a frio)	10.502	0.012	94.01
				N67/N125	U 200 x 75 x 25 x 3,00 (Perfis em Ue formados a frio)	10.502	0.012	94.01
N58/N123	U 200 x 75 x 25 x 3,00 (Perfis em Ue formados a frio)			10.502	0.012	94.01		
N54/N121	U 200 x 75 x 25 x 3,00 (Perfis em Ue formados a frio)			10.502	0.012	94.01		

Fonte: CYPE 3D (2025)

Tabela 8 - Resumo de perfis da estrutura tipo

Tabela resumo												
Material		Série	Perfil	Comprimento			Volume			Peso		
Tipo	Designação			Perfil (m)	Série (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Série (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Série (kg)	Material (kg)
Aço laminado	A-572 345MPa	HP	HP 200 x 43	47.262	47.262	47.262	0.256	0.256	0.256	2007.15	2007.15	2007.15
Aço dobrado	A-36	Perfis em Ue formados a frio	U 200 x 75 x 25 x 3,00	42.009	42.009	42.009	0.048	0.048	0.048	376.03	376.03	376.03

Fonte: CYPE 3D (2025)

Tabela 9 - - Resumo de ligações da estrutura tipo

Soldas				
Classe de resistência	Execução	Tipo	Lado (mm)	Comprimento de cordões (mm)
E60XX	No local de montagem	De filete	24	350
Chapas				
Material	Tipo	Quantidade	Dimensões (mm)	Peso (kg)
A-572 345MPa	Chapas	6	205x240x9	20.86
	Total			20.86
Elementos para aparafusar				
Tipo	Material	Quantidade	Descrição	
Parafusos	ASTM A325	24	5/8"x2", Tipo 3, ASTM A325T	
Porcas	Grau C3	24	5/8", ASTM A563	
	Classe 10S	24	5/8", ASTM A563	
Anilhas	Tipo 1	24	5/8", ASTM F436	
	Tipo 3	48	5/8", ASTM F436	
Placas de base				
Material	Elementos	Quantidade	Dimensões (mm)	Peso (kg)
A-36 250Mpa	Placa base	6	350x350x12	69.24
	Enrijecedores passantes	4	350/200x100/30x6.4	5.98
	Enrijecedores não passantes	8	66/0x100/30x6.4	1.73
	Total			76.94
ASTM A-325a (liso)	Parafusos de ancoragem	24	Ø 15.9 - L = 598 + 181	29.04
	Total			29.04

Fonte: CYPE 3D (2025)

Essas tabelas permitem uma visão clara e organizada dos elementos dimensionados, facilitando tanto o processo de cotação dos materiais quanto o acompanhamento das etapas construtivas. Além disso, o detalhamento dos tipos de perfis e ligações utilizados assegura maior precisão no controle dos quantitativos, favorecendo a transparência e rastreabilidade do projeto desde o dimensionamento até a execução em obra.

#### 4.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para realizar o cálculo do potencial de geração de energia das coberturas dos estacionamentos projetados na universidade, é indispensável proceder ao levantamento preciso da quantidade de módulos fotovoltaicos que podem ser instalados em cada área disponível. Esse

levantamento foi realizado por meio de mapeamento realizado com drone junto com software HelioScope e Autocad, que possibilita estimar a quantidade de painéis a partir das dimensões reais da cobertura.

Com estes dados em mãos, torna-se possível dimensionar de forma adequada o sistema a ser implantado, visando otimizar a geração energética em cada setor do estacionamento. Na sequência, apresenta-se uma tabela 10 que consolida a quantidade de módulos fotovoltaicos previstos para cada estacionamento de acordo com o espaço disponível, seguida da ilustração gráfica com a disposição dos painéis projetados em cada área analisada.

Tabela 10 - Quantidade de módulos fotovoltaicos previstos para cada estacionamento de acordo com o espaço disponível

Local	Quantidade de módulos
Centro de Convivência Universitária (CCU)	336
Biblioteca	270
Prédio Dois (PD)	396
Laboratório	336

Fonte: Autor (2025)

O projeto de instalação dos painéis solares no estacionamento em frente ao Centro de Convivência Universitária (CCU) considerou a área disponível para maximizar a quantidade de módulos fotovoltaicos (Figura 64). A disposição foi planejada para otimizar a captação solar durante todo o dia e não prejudicar a movimentação de veículos pesados.

Figura 64 - Disposição dos painéis no estacionamento em frente ao centro de convivência universitária



Fonte: Autor (2025)

A cobertura do estacionamento em frente à Biblioteca foi dimensionada conforme as dimensões efetivas da área, possibilitando a instalação de 270 módulos fotovoltaicos. O layout dos painéis foi projetado para minimizar sombras e aproveitar a orientação solar predominante, assegurando eficiência energética e manter a funcionalidade do espaço (Figura 65).

Figura 65 - Disposição dos painéis no estacionamento em frente ao centro de biblioteca



Fonte: Autor (2025)

No estacionamento em frente ao Prédio Dois, a análise considerou o espaço disponível para acomodar 396 módulos. As posições dos painéis foram definidas para reduzir perdas por sombreamento e maximizar o desempenho do sistema (Figura 66).

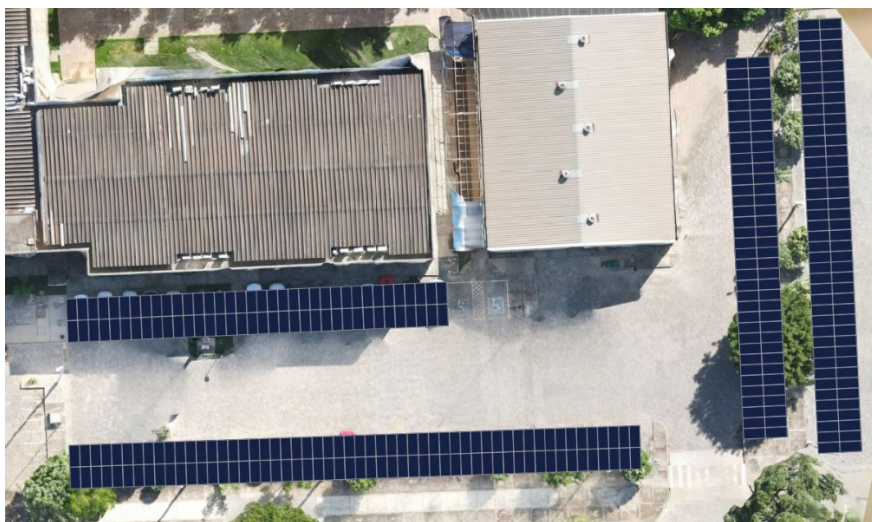
Figura 66 - Disposição dos painéis no estacionamento em frente ao Prédio dois



Fonte: Autor (2025)

A disposição dos painéis fotovoltaicos no estacionamento adjacente ao Laboratório foi elaborada para garantir o aproveitamento máximo da irradiação solar e do espaço, com estrutura nos estacionamentos frontais e na sua lateral, com 336 módulos previstos para instalação (Figura 67).

Figura 67 - Disposição dos painéis no estacionamento em frente ao Prédio Laboratório

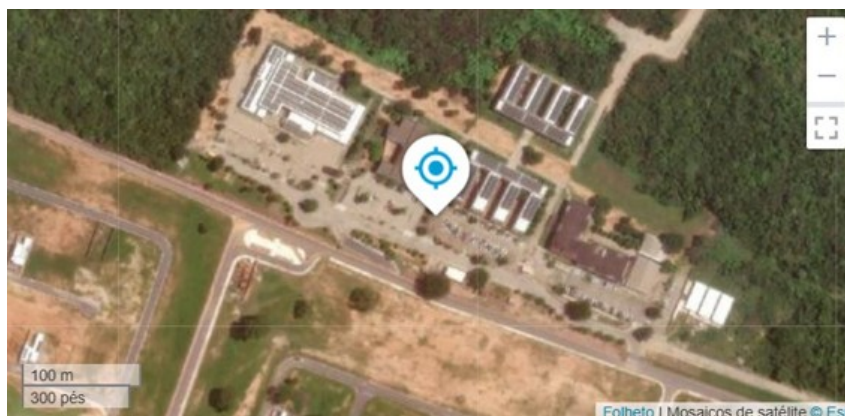


Fonte: Autor (2025)

Após a definição da quantidade de módulos fotovoltaicos para cada setor do estacionamento universitário, conforme o mapeamento e critérios adotados no dimensionamento, o software permite a avaliação do potencial de geração em quilowatts baseada no painel selecionado inicialmente. Nesse cálculo inicial, a projeção considera a potência nominal dos módulos sem contabilizar perdas decorrentes de sombreamentos ou outras perdas operacionais, fornecendo um cenário otimista da capacidade instalada (Tabela 11).

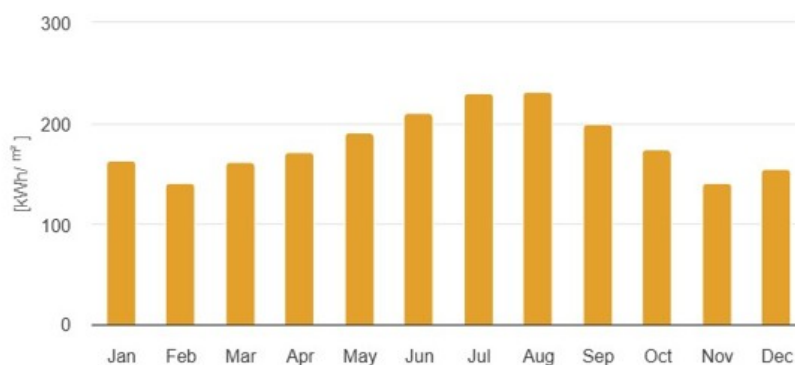
O software utiliza a localização geográfica do projeto para realizar um cálculo mais preciso da geração, com base na irradiação normal direta (DNI - Direct Normal Irradiance). Essa medida representa o componente da radiação solar incidente em linha reta sobre uma superfície perpendicular aos raios solares e serve como principal parâmetro para estimar o potencial de geração dos módulos fotovoltaicos instalados (RÜTHER, 2004). A Figura 68 ilustra a aplicação desse conceito para o local analisado.

Figura 68 - Irradiação normal direta no local da edificação.



**Médias mensais**

Irradiação normal direta



Fonte: Helioscope (2025)

Tabela 11 – Potência total produzida – Médias mensais

POTÊNCIA TOTAL PRODUZIDA - MÉDIA MENSAL (Kwh)					
	CCU	BIBLIOTECA	PD	LABORATÓRIOS	TOTAL
<b>JANEIRO</b>	29600	23800	34900	29600	117900
<b>FEVEREIRO</b>	26500	21300	31300	26500	105600
<b>MARÇO</b>	29900	24000	35200	29900	119000
<b>ABRIL</b>	28800	23200	34000	28800	114800
<b>MAIO</b>	29200	23400	34400	29200	116200
<b>JUNHO</b>	28700	23200	33800	28700	114400
<b>JULHO</b>	31000	24900	36500	31000	123400
<b>AGOSTO</b>	32900	26400	38800	32900	131000
<b>SETEMBRO</b>	32150	25900	37900	32150	128100
<b>OUTUBRO</b>	31200	25000	36700	31200	124100
<b>NOVEMBRO</b>	27200	21800	32000	27200	108200
<b>DEZEMBRO</b>	28500	23000	33600	28500	113600

Fonte: Helioscope (2025)

O software já fornece o cálculo das perdas totais do sistema fotovoltaico, considerando fatores como sombreamento parcial, perdas térmicas, acúmulo de sujeira, degradação natural

dos equipamentos e ineficiências em inversores e cabos de conexão. De modo prático e alinhado com recomendações para ambientes abertos e regiões de alta incidência solar, adota-se um valor padrão de 20% para essas perdas totais. Dessa forma, a potência real esperada do sistema é ajustada para refletir essas condições operacionais típicas, proporcionando uma estimativa mais segura da geração efetiva ao longo do tempo (Tabela 12).

Tabela 12 – Potência total produzida com perdas – Médias mensais

<b>POTÊNCIA TOTAL PRODUZIDA COM PERDAS - MÉDIA MENSAL (Kwh)</b>					
	<b>CCU</b>	<b>BIBLIOTECA</b>	<b>PD</b>	<b>LABORATÓRIOS</b>	<b>TOTAL</b>
<b>JANEIRO</b>	23680	19040	27920	23680	94320
<b>FEVEREIRO</b>	21200	17040	25040	21200	84480
<b>MARÇO</b>	23920	19200	28160	23920	95200
<b>ABRIL</b>	23040	18560	27200	23040	91840
<b>MAIO</b>	23360	18720	27520	23360	92960
<b>JUNHO</b>	22960	18560	27040	22960	91520
<b>JULHO</b>	24800	19920	29200	24800	98720
<b>AGOSTO</b>	26320	21120	31040	26320	104800
<b>SETEMBRO</b>	25720	20720	30320	25720	102480
<b>OUTUBRO</b>	24960	20000	29360	24960	99280
<b>NOVEMBRO</b>	21760	17440	25600	21760	86560
<b>DEZEMBRO</b>	22800	18400	26880	22800	90880

Fonte: Helioscope (2025)

Todos os dados de geração foram obtidos por meio da seleção de painéis bifaciais, utilizando modelos pré-selecionados no programa, e da escolha de microinversores, que contribuem para a redução das perdas causadas pelo sombreamento presente em diferentes locais do estacionamento ao longo do ano. Esses dados, combinados com a localização geográfica do projeto, permitem estimar um resumo geral do sistema, incluindo a economia prevista com a implantação do sistema fotovoltaico, garantindo maior eficiência e retorno sobre o investimento (Tabela 13).

Tabela 13 – Características do dimensionamento

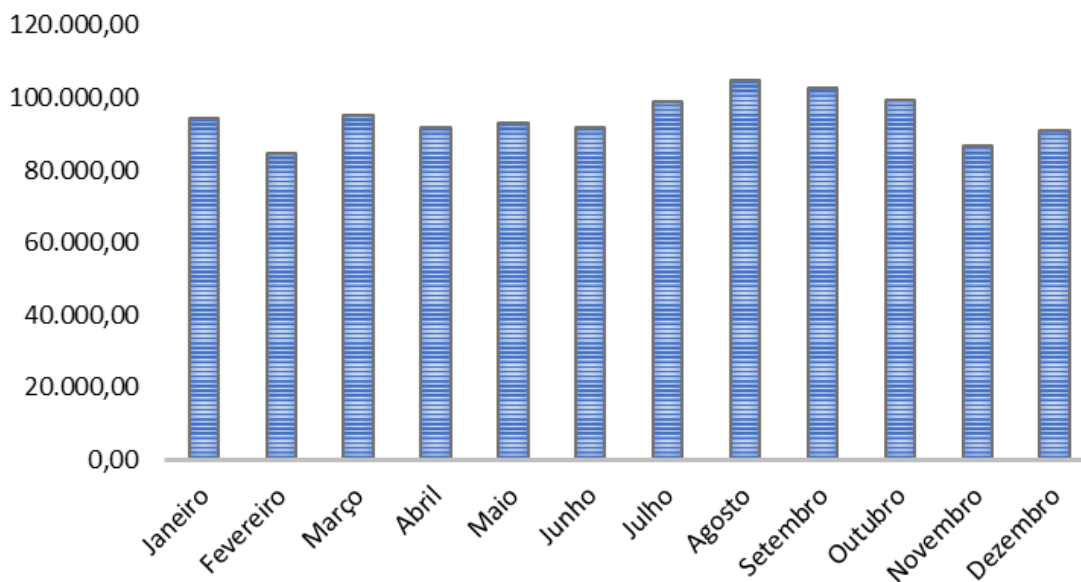
<b>MODELO DE MÓDULO (BIFACIAL)</b>	TSUN600(TS600S8E-144GANT)-RENEPV605(ZY-G12R-66 605W)
<b>MODELO DO INVERSOR</b>	MICRO DEYE 2,25 - MICRO SAJ 2,25kw
<b>ECONOMIA PREVISTA (ATUAL 11/2025)</b>	R\$ 103.862,00
<b>ESTRUTURA</b>	CARPORT SOLAR
<b>GERAÇÃO MÉDIA MENSAL (Kwh)</b>	93640

Fonte: Helioscope (2025)

É obtido o cálculo das economias mensais geradas pelo sistema, levando em consideração a tarifa de energia da Neoenergia Coelba, atualizada com os valores mais recentes disponíveis no programa. Além disso, foi aplicado um desconto de 10% nas tarifas para instituições públicas, como é o caso da universidade. Esses dados permitem gerar gráficos

detalhados que ilustram a economia mensal em reais ao longo do tempo (Figura 69, evidenciando a importância do investimento na cobertura fotovoltaica, tanto do ponto de vista financeiro quanto de sustentabilidade.

Figura 69 - Economia mensal prevista



Fonte: Adaptado - Helioscope (2025)

Visto que os módulos fotovoltaicos utilizados no dimensionamento possuem uma vida útil geralmente estimada entre 25 e 30 anos (Tabela 14), é fundamental compreender o impacto desse ciclo operacional na geração de energia ao longo do tempo. Essa análise é essencial para a elaboração futura do cálculo de viabilidade econômica do sistema, pois permite prever a degradação progressiva dos painéis e suas implicações na eficiência e produtividade energética a longo prazo. Assim, o conhecimento da vida útil influencia diretamente na estimativa do retorno do investimento e na sustentabilidade do projeto.

Tabela 14 – Projeção de 30 anos de geração sem perdas.

Ano	Fator de Desempenho	Degradação Acumulada	Projeção da Economia Mensal (R\$)
0	100,00%	0,00%	R\$ 120.000,00
1	98,00%	2,00%	R\$ 117.600,00
2	97,31%	2,69%	R\$ 116.772,00
3	96,62%	3,38%	R\$ 115.944,00
4	95,94%	4,06%	R\$ 115.116,00
5	95,26%	4,74%	R\$ 114.312,00
10	91,81%	8,19%	R\$ 110.172,00
15	88,57%	11,43%	R\$ 106.284,00

20	85,52%	14,48%	R\$ 102.624,00
25	82,65%	17,35%	R\$ 99.180,00
30	79,94%	20,06%	R\$ 95.928,00

Fonte: Adaptado - Helioscope (2025)

A escolha dos componentes para o sistema fotovoltaico foi baseada em critérios de qualidade, confiabilidade e procedência. Foram selecionados microinversores das marcas Deye ou SAJ, que são reconhecidas no mercado por suas vantagens, incluindo maior eficiência na conversão, melhor gestão de sombreamento parcial e maior facilidade de manutenção. Para os painéis, optou-se por modelos bifaciais das marcas TSUN ou RENE PV, cujas vantagens incluem maior captação de energia devido à tecnologia de dupla face, aumento na geração de eletricidade e menor impacto de perdas por sombreamento (Tabela 15).

É importante destacar que a seleção de duas marcas diferentes para cada tipo de componente foi adotada como estratégia para garantir maior flexibilidade na pesquisa de mercado e mitigação de riscos relacionados à disponibilidade e flutuações de estoque junto às distribuidoras, estratégia adotada pelo software. Todos esses itens apresentam registro no INMETRO, garantindo a procedência, qualidade e conformidade com as normas brasileiras, o que é fundamental para assegurar a durabilidade e o desempenho esperados do sistema ao longo de sua vida útil.

Tabela 15 – Especificações do painel e inversores definidos.

Componente	Especificação	Detalhe
<b>Painel Fotovoltaico</b>	Potência	600/605W
	Modelo	T-SUN/RENEPV
	Quantidade	1338
	Estrutura de Fixação	Padrão
	Garantia (Fabricante)	10 Anos
	Garantia de Eficiência (80%)	30 Anos
<b>Inversor</b>	Potência Nominal	2,25 kW
	Modelo	DEYE/SAJ
	Quantidade	335
	Garantia (Fabricante)	12 Anos
	Quantidade de MPPT	4
	Sistema de Monitoramento	WiFi

Fonte: Adaptado - Helioscope (2025)

Trata-se de um investimento que beneficiará principalmente a comunidade acadêmica, gerando energia limpa para a universidade e seus demais empreendimentos. Considerando que

a Neoenergia Coelba adota a modalidade de compensação de energia, é possível compartilhar a energia produzida entre unidades com o mesmo titular, o que potencializa a otimização do uso da energia gerada. Além disso, a cobertura fotovoltaica proporcionará sombreamento aos veículos de servidores e do público presente.

#### 4.4 COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO E DA ESTRUTURA METÁLICA

Para a avaliação econômica do sistema fotovoltaico proposto, foram definidos três fornecedores com atuação consolidada há mais de cinco anos em Barreiras e região, todos com experiência comprovada em projetos de grande porte no setor de energia solar. Com base no dimensionamento apresentado anteriormente, a Tabela 16 apresenta todos os componentes do arranjo fotovoltaico selecionados para cotação, incluindo módulos, microinversores, conectores, estrutura metálica, dispositivos de proteção e itens auxiliares necessários para a correta implantação do sistema.

Tabela 16 – Quantitativos de componentes do sistema de energia solar.

BANCO	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UN	QTD
SINAPI	44715	PAINÉL SOLAR 600W	PC	1338
SINAPI	44728	MICROINVERSOR SOLAR	PC	335
SINAPI	93174	TERMINAIS DE FIXAÇÃO MULTIUSO (INTERMEDIÁRIO E FINAL)	CX	180
SINAPI	91935	CABO FLEXÍVEL ALTA RESISTÊNCIA 6,0 mm PRETO	M	3000
SINAPI	91935	CABO FLEXÍVEL ALTA RESISTÊNCIA 6,0 mm VERDE	M	3000
SINAPI	91935	CABO FLEXÍVEL ALTA RESISTÊNCIA 6,0 mm AZUL	M	3000
SINAPI	34616	DISJUNTOR 32A	PC	112
SINAPI	93128	CAIXA DE JUNÇÃO DE SOBREPOR 210 x 210 x 110 mm	PC	56
SINAPI	103493	CONECTOR SOLAR FOTOVOLTAICO MACHO/FÊMEA	PC	476
SINAPI	91677	ENGENHEIRO ELETRICISTA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	60
SINAPI	88264	ELETRICISTA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	60
SINAPI	88247	AUXILIAR DE ELETRICISTA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	120
SINAPI	88316	AJUDANTE DE MONTAGEM COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	384

Fonte: Autor (2025)

Caso sejam identificadas ausências de pontos adequados para passagem dos cabos, necessidade de instalação de eletrodutos adicionais ou mesmo a restauração de caixas de passagem já existentes, essas demandas deverão ser tratadas como aditivos contratuais e quantificadas junto a uma construtora especializada, responsável pela execução dos serviços preliminares civis e elétricos. Dessa forma, foi possível selecionar os fornecedores que subsidiaram a elaboração da planilha comparativa dos valores de materiais e mão de obra

apresentada na Tabela 17, contemplando todos os custos envolvidos para a implementação do sistema fotovoltaico na sua totalidade.

Tabela 17 – Orçamentos gerais dos fornecedores X, Y e Z do sistemas de energia solar.

FORNECEDOR X					
BANCO	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UN	QTD	TOTAL
SINAPI	44715	PAINÉL SOLAR 600W	PC	1338	R\$ 981.436,00
SINAPI	44728	MICROINVERSOR SOLAR	PC	335	R\$ 335.000,00
SINAPI	93174	TERMINAIS DE FIXAÇÃO MULTIUSO (INTERMEDIÁRIO E FINAL)	CX	180	R\$ 27.000,00
SINAPI	91935	CABO FLEXÍVEL ALTA RESISTÊNCIA 6,0 mm PRETO	M	3000	R\$ 6.000,00
SINAPI	91935	CABO FLEXÍVEL ALTA RESISTÊNCIA 6,0 mm VERDE	M	3000	R\$ 6.000,00
SINAPI	91935	CABO FLEXÍVEL ALTA RESISTÊNCIA 6,0 mm AZUL	M	3000	R\$ 6.000,00
SINAPI	34616	DISJUNTOR 32A	PC	112	R\$ 4.500,00
SINAPI	93128	CAIXA DE JUNÇÃO DE SOBREPOR 210 x 210 x 110 mm	PC	56	R\$ 3.000,00
SINAPI	103493	CONECTOR SOLAR FOTOVOLTAICO MACHO/FÊMEA	PC	476	R\$ 72.000,00
SINAPI	91677	ENGENHEIRO ELETRICISTA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	60	R\$ 29.000,00
SINAPI	88264	ELETRICISTA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	60	R\$ 14.000,00
SINAPI	88247	AUXILIAR DE ELETRICISTA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	120	R\$ 50.000,00
SINAPI	88316	AJUDANTE DE MONTAGEM COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	384	R\$ 50.000,00
<b>TOTAL - MATERIAL E MÃO DE OBRA - FORNECEDOR X</b>					<b>R\$ 1.583.936,00</b>
FORNECEDOR Y					
BANCO	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UN	QTD	TOTAL
SINAPI	44715	PAINÉL SOLAR 600W	PC	1338	R\$ 1.545.000,00
SINAPI	44728	MICROINVERSOR SOLAR	PC	335	R\$ 670.000,00
SINAPI	93174	TERMINAIS DE FIXAÇÃO MULTIUSO (INTERMEDIÁRIO E FINAL)	CX	180	R\$ 45.000,00
SINAPI	91935	CABO FLEXÍVEL ALTA RESISTÊNCIA 6,0 mm PRETO	M	3000	R\$ 7.500,00
SINAPI	91935	CABO FLEXÍVEL ALTA RESISTÊNCIA 6,0 mm VERDE	M	3000	R\$ 7.500,00
SINAPI	91935	CABO FLEXÍVEL ALTA RESISTÊNCIA 6,0 mm AZUL	M	3000	R\$ 7.500,00
SINAPI	34616	DISJUNTOR 32A	PC	112	R\$ 4.000,00
SINAPI	93128	CAIXA DE JUNÇÃO DE SOBREPOR 210 x 210 x 110 mm	PC	56	R\$ 3.500,00
SINAPI	103493	CONECTOR SOLAR FOTOVOLTAICO MACHO/FÊMEA	PC	476	R\$ 86.000,00
SINAPI	91677	ENGENHEIRO ELETRICISTA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	60	R\$ 26.500,00
SINAPI	88264	ELETRICISTA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	60	R\$ 13.500,00
SINAPI	88247	AUXILIAR DE ELETRICISTA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	120	R\$ 49.620,00
SINAPI	88316	AJUDANTE DE MONTAGEM COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	384	R\$ 49.620,00
<b>TOTAL - MATERIAL E MÃO DE OBRA - FORNECEDOR Y</b>					<b>R\$ 2.515.240,00</b>
FORNECEDOR Z					
BANCO	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UN	QTD	TOTAL
SINAPI	44715	PAINÉL SOLAR 600W	PC	1338	R\$ 1.338.000,00
SINAPI	44728	MICROINVERSOR SOLAR	PC	335	R\$ 498.000,00
SINAPI	93174	TERMINAIS DE FIXAÇÃO MULTIUSO (INTERMEDIÁRIO E FINAL)	CX	180	R\$ 55.000,00

SINAPI	91935	CABO FLEXÍVEL ALTA RESISTÊNCIA 6,0 mm PRETO	M	3000	R\$ 6.000,00
SINAPI	91935	CABO FLEXÍVEL ALTA RESISTÊNCIA 6,0 mm VERDE	M	3000	R\$ 6.000,00
SINAPI	91935	CABO FLEXÍVEL ALTA RESISTÊNCIA 6,0 mm AZUL	M	3000	R\$ 6.000,00
SINAPI	34616	DISJUNTOR 32A	PC	112	R\$ 10.000,00
SINAPI	93128	CAIXA DE JUNÇÃO DE SOBREPOR 210 x 210 x 110 mm	PC	56	R\$ 3.500,00
SINAPI	103493	CONECTOR SOLAR FOTOVOLTAICO MACHO/FÊMEA	PC	476	R\$ 50.000,00
SINAPI	91677	ENGENHEIRO ELETRICISTA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	60	R\$ 36.000,00
SINAPI	88264	ELETRICISTA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	60	R\$ 26.000,00
SINAPI	88247	AUXILIAR DE ELETRICISTA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	120	R\$ 26.500,00
SINAPI	88316	AJUDANTE DE MONTAGEM COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	384	R\$ 39.000,00
<b>TOTAL - MATERIAL E MÃO DE OBRA - FORNECEDOR Z</b>					R\$ 2.100.000,00

Fonte: Autor (2025)

Considerando que ambos os fornecedores possuem tradição no comércio local e experiência comprovada em projetos de grande porte, a análise comparativa demonstra que o Fornecedor X apresentou o melhor custo-benefício, totalizando R\$ 1.583.936,00 entre materiais e mão de obra. Por esse motivo, esse fornecedor foi selecionado para subsidiar as etapas seguintes do estudo, em especial os cálculos de viabilidade econômica do empreendimento. Tal escolha visa assegurar competitividade e segurança na implantação do sistema, otimizando o retorno sobre o investimento e a gestão dos recursos envolvidos.

No que concerne ao levantamento dos custos relacionados à estrutura metálica, considerando o dimensionamento realizado conforme o espaço disponível nos estacionamentos, foram identificadas a necessidade de 74 unidades da estrutura tipo. Com base nas informações extraídas do modelo computacional realizado no software Cypecad, conforme Tabelas 8 e 9, foi possível consolidar a Tabela 18, apresentando os valores estimados para materiais, fabricação e montagem necessários para o atendimento completo de todas as áreas de estacionamento projetadas.

Tabela 18 – Quantitativos de perfis e ligações para todo estacionamento

BANCO	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UN	QTD
SINAPI	41595	PERFIL H A-572 GR50, 43,00 KG/M (SIMILAR PERFIL "H" DE AÇO LAMINADO, "W" 200 X 46,1)	Kg	148529
SINAPI	43083	PERFIL 'U' ENRIJECIDO DE AÇO GALVANIZADO, DOBRADO, 200 X 75 X 25 MM, E = 3,00 MM	Kg	27826
SINAPI	10997	ELETRODO REVESTIDO 6013 2,5mm	kg	518
SINAPI	1332	CHAPA DE AÇO GROSSA, ASTM A36, E = 3/8" (9,53 MM)	Kg	1543,6
SINAPI	442	PARAFUSO ESTRUTURAL TIPO A325	UN	3552
SINAPI	4341	PORCA ZINCADA SEXTAVADA DIAMETRO 5/8"	UN	3552
SINAPI	5713	ANILHA LISA ESTRUTURAL AÇO CARBONO ZINCADA DIAMETRO 5/8"	UN	3552

SINAPI	1332	CHAPA FINA DE 1/4"	Kg	5694,3
SINAPI	102868	ALUGUEL MÁQUINA SOLDA	H	320
SINAPI	88278	MONTADOR DE ESTRUTURA METÁLICA C/ ENCARGOS	H	960
SINAPI	88605	SOLDADOR C/ ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	320
SINAPI	88316	AJUDANTE ESTRUTURA METÁLICA C/ ENCARGOS	H	960

Fonte: Autor (2025)

Cada componente do projeto foi referenciado na tabela do SINAPI, de Julho de 2025 com referência estadual na Bahia, visando garantir a padronização necessária para processos orçamentários. Adicionalmente, a tabela 18 de composição de materiais, assim como o projeto da estrutura tipo, foi encaminhada a três fornecedores especializados em estruturas metálicas, todos com atuação consolidada na região, para obtenção de orçamentos precisos. Os orçamentos recebidos foram então analisados detalhadamente, possibilitando comparações consistentes.

A consolidação dessas informações resultou na elaboração da Tabela 19, que apresenta um comparativo dos três orçamentos obtidos para a montagem da estrutura metálica de todo o estacionamento, facilitando as decisões técnicas e econômicas para o prosseguimento do projeto.

Tabela 19 – Orçamentos dos fornecedores de estruturas metálicas

FORNECEDOR X					
BANCO	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UN	QTD	TOTAL
SINAPI	41595	PERFIL H A-572 GR50, 43,00 KG/M (SIMILAR PERFIL "H" DE AÇO LAMINADO, "W" 200 X 46,1)	Kg	148529	R\$ 1.000.000,00
SINAPI	43083	PERFIL 'U' ENRIJECIDO DE AÇO GALVANIZADO, DOBRADO, 200 X 75 X 25 MM, E = 3,00 MM	Kg	27826	R\$ 400.000,00
SINAPI	10997	ELETRODO REVESTIDO 6013 2,5mm	kg	518	R\$ 25.000,00
SINAPI	1332	CHAPA DE AÇO GROSSA, ASTM A36, E = 3/8" (9,53 MM)	Kg	1543,6	R\$ 150.000,00
SINAPI	442	PARAFUSO ESTRUTURAL TIPO A325	UN	3552	R\$ 31.000,00
SINAPI	4341	PORCA ZINCADA SEXTAVADA DIAMETRO 5/8"	UN	3552	R\$ 4.840,00
SINAPI	5713	ANILHA LISA ESTRUTURAL AÇO CARBONO ZINCADA DIAMETRO 5/8"	UN	3552	R\$ 4.840,00
SINAPI	1332	CHAPA FINA DE 1/4"	Kg	5694,3	R\$ 90.000,00
SINAPI	102868	ALUGUEL MÁQUINA SOLDA	H	320	R\$ 320,00
SINAPI	88278	MONTADOR DE ESTRUTURA METÁLICA C/ ENCARGOS	H	960	R\$ 45.000,00
SINAPI	88605	SOLDADOR C/ ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	320	R\$ 5.000,00
SINAPI	88316	AJUDANTE ESTRUTURA METÁLICA C/ ENCARGOS	H	960	R\$ 20.000,00
<b>TOTAL - MATERIAL E MÃO DE OBRA - FORNECEDOR X</b>					<b>R\$ 1.776.000,00</b>
FORNECEDOR Y					
BANCO	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UN	QTD	TOTAL

SINAPI	41595	PERFIL H A-572 GR50, 43,00 KG/M ( SIMILAR PERFIL "H" DE AÇO LAMINADO, "W" 200 X 46,1)	Kg	148529	R\$ 1.000.000,00
SINAPI	43083	PERFIL 'U' ENRIJECIDO DE AÇO GALVANIZADO, DOBRADO, 200 X 75 X 25 MM, E = 3,00 MM	Kg	27826	R\$ 460.000,00
SINAPI	10997	ELETRODO REVESTIDO 6013 2,5mm	kg	518	R\$ 25.000,00
SINAPI	1332	CHAPA DE AÇO GROSSA, ASTM A36, E = 3/8" (9,53 MM)	Kg	1543,6	R\$ 150.000,00
SINAPI	442	PARAFUSO ESTRUTURAL TIPO A325	UN	3552	R\$ 31.000,00
SINAPI	4341	PORCA ZINCADA SEXTAVADA DIAMETRO 5/8"	UN	3552	R\$ 4.840,00
SINAPI	5713	ANILHA LISA ESTRUTURAL AÇO CARBONO ZINCADA DIAMETRO 5/8"	UN	3552	R\$ 4.840,00
SINAPI	1332	CHAPA FINA DE 1/4"	Kg	5694,3	R\$ 85.692,00
SINAPI	102868	ALUGUEL MÁQUINA SOLDA	H	320	R\$ 320,00
SINAPI	88278	MONTADOR DE ESTRUTURA METÁLICA C/ ENCARGOS	H	960	R\$ 50.000,00
SINAPI	88605	SOLDADOR C/ ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	320	R\$ 15.000,00
SINAPI	88316	AJUDANTE ESTRUTURA METÁLICA C/ ENCARGOS	H	960	R\$ 35.000,00
<b>TOTAL - MATERIAL E MÃO DE OBRA - FORNECEDOR Y</b>					R\$ 1.861.692,00
<b>FORNECEDOR Z</b>					
BANCO	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UN	QTD	TOTAL
SINAPI	41595	PERFIL H A-572 GR50, 43,00 KG/M ( SIMILAR PERFIL "H" DE AÇO LAMINADO, "W" 200 X 46,1)	Kg	148529	R\$ 1.100.000,00
SINAPI	43083	PERFIL 'U' ENRIJECIDO DE AÇO GALVANIZADO, DOBRADO, 200 X 75 X 25 MM, E = 3,00 MM	Kg	27826	R\$ 500.000,00
SINAPI	10997	ELETRODO REVESTIDO 6013 2,5mm	kg	518	R\$ 24.500,00
SINAPI	1332	CHAPA DE AÇO GROSSA, ASTM A36, E = 3/8" (9,53 MM)	Kg	1543,6	R\$ 100.000,00
SINAPI	442	PARAFUSO ESTRUTURAL TIPO A325	UN	3552	R\$ 5.000,00
SINAPI	4341	PORCA ZINCADA SEXTAVADA DIAMETRO 5/8"	UN	3552	R\$ 5.000,00
SINAPI	5713	ANILHA LISA ESTRUTURAL AÇO CARBONO ZINCADA DIAMETRO 5/8"	UN	3552	R\$ 5.000,00
SINAPI	1332	CHAPA FINA DE 1/4"	Kg	5694,3	R\$ 5.000,00
SINAPI	102868	ALUGUEL MÁQUINA SOLDA	H	320	R\$ 500,00
SINAPI	88278	MONTADOR DE ESTRUTURA METÁLICA C/ ENCARGOS	H	960	R\$ 100.000,00
SINAPI	88605	SOLDADOR C/ ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	320	R\$ 75.000,00
SINAPI	88316	AJUDANTE ESTRUTURA METÁLICA C/ ENCARGOS	H	960	R\$ 80.000,00
<b>TOTAL - MATERIAL E MÃO DE OBRA - FORNECEDOR Y</b>					R\$ 2.000.000,00

Fonte: Autor (2025)

O Fornecedor X foi selecionado para prosseguir com a composição de custos, pois, seu orçamento apresentou o melhor custo-benefício, sendo o valor total mais competitivo.

#### 4.5 RESULTADOS DA VIABILIDADE ECONÔMICA

Para a execução do projeto, o custo total resultante da soma da estrutura metálica e do sistema de energia solar é de R\$ 3.359.936,00, sendo R\$ 1.776.000,00 referentes à estrutura metálica e R\$ 1.583.936,00 ao sistema fotovoltaico. Este montante será utilizado no cálculo dos

indicadores econômicos, possibilitando a análise do tempo de retorno do investimento e a viabilidade financeira do empreendimento para a instituição.

a) Valor Presente Líquido (VPL)

No contexto do estacionamento com sistema de energia solar, o fluxo de caixa futuro (CF) representa o valor economizado na conta de energia elétrica devido à geração própria. Esse valor é fundamental para as análises de viabilidade econômica, pois permite estimar a recuperação do investimento realizado ao longo do tempo.

$$CF = \left( \frac{G_{\text{kWh}} U_{\text{R\$}}}{\text{MêS kWh}} \right)$$

$$CF = 94420 \times 1,10 = \text{R\$ } 103.862,00 \quad (14)$$

O investimento inicial do projeto é de R\$ 3.359.936,00, e a taxa de desconto utilizada é a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), por se tratar de uma instituição pública, de 10%. Essa taxa representa o retorno mínimo aceitável para a universidade e é superior a outras taxas de juros de mercado. O Valor Presente Líquido (VPL) é calculado ao trazer para o valor atual as economias futuras geradas pelo projeto, descontando essa taxa. Assim, o VPL permite avaliar se o investimento é vantajoso financeiramente: um VPL positivo indica que o projeto é viável e gera valor para a universidade.

$$VPL = \text{R\$ } 3.359.936,00 - \frac{(1+0,1)^{-R\$ 3.359.936,00 / \text{R\$ } 103.862,00}}{0,1} = \text{R\$ } 7.686.460,44 \quad (15)$$

Para que um investimento seja considerado bem-sucedido, ele precisa gerar lucro, e o Valor Presente Líquido (VPL) é uma forma precisa de medir esses lucros ao considerar o valor do dinheiro ao longo do tempo. O VPL do estacionamento com cobertura solar é positivo, o que indica que o investimento é vantajoso. No entanto, é importante lembrar que o VPL não é o único critério para avaliar o sucesso do investimento, o tempo de retorno também deve ser considerado.

b) Taxa Interna de Retorno

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é um dos principais indicadores de viabilidade econômica de um projeto, representando a taxa de desconto que iguala o valor presente líquido (VPL) dos fluxos de caixa a zero. Em outras palavras, é a taxa de rentabilidade que o investimento proporciona ao longo do tempo, considerando todas as entradas e saídas de recursos.

No caso do estacionamento com sistema de geração de energia solar, a TIR foi obtida a partir da inserção dos fluxos de caixa no Microsoft Excel, resultando em 36%. Esse valor indica que o projeto apresenta uma rentabilidade expressiva, superando a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 10%. Portanto, o investimento é considerado financeiramente viável, pois a taxa interna de retorno demonstra que o empreendimento gera ganhos significativos em relação ao custo de oportunidade do capital investido.

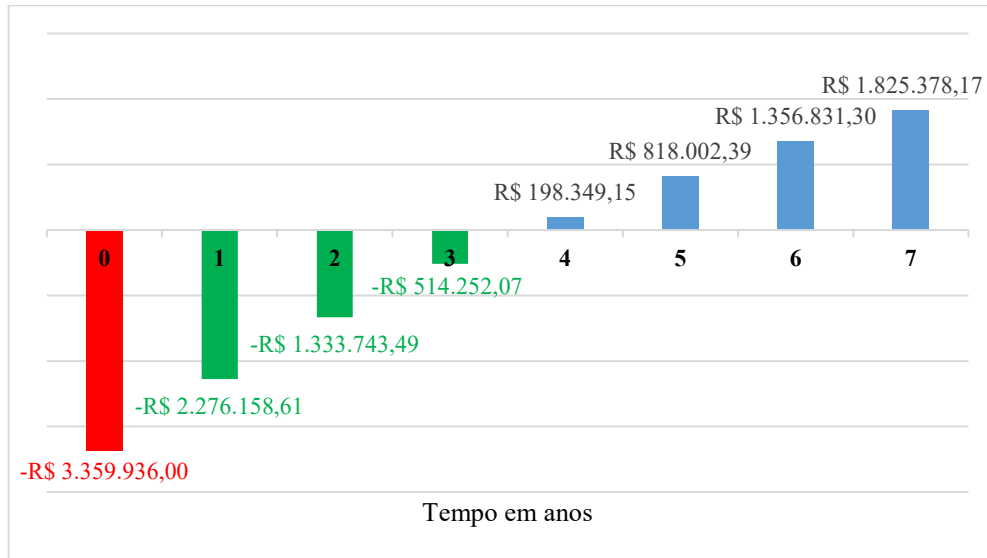
#### c) Payback descontado

No investimento em energia solar, os fluxos de caixa futuros são provenientes da economia obtida na conta de energia elétrica. O payback representa o tempo necessário para que o valor investido seja recuperado por meio dessas economias. No caso do estacionamento com energia solar, o payback indica o período em que o investimento será plenamente compensado pelos benefícios gerados.

Como a redução nos custos de instalação dos sistemas solares continua acompanhada pelo aumento dos incentivos governamentais e pela longa durabilidade dos módulos fotovoltaicos, o tempo necessário para o retorno do investimento tem diminuído significativamente. O Gráfico na figura 66 demonstra essa tendência de redução do payback ao longo do período analisado, evidenciando a viabilidade econômica crescente do projeto ao longo do tempo. O resultado foi payback de 3,72 anos, aproximadamente 3 anos e 8 meses.

No Gráfico, a cor vermelha representa o montante investido para implantação do estacionamento solar; a cor verde indica o período de recuperação do investimento, que é de aproximadamente 2 anos e 8 meses, e a cor azul evidencia o lucro obtido após o retorno do capital. De acordo com análises recentes sobre investimentos em energia solar, um payback inferior a 5 anos é considerado atrativo e seguro para esse tipo de projeto (LEMOS, 2024). Portanto, com um retorno estimado em 3 anos e 8 meses anos, conclui-se que este investimento apresenta elevada segurança e viabilidade econômica.

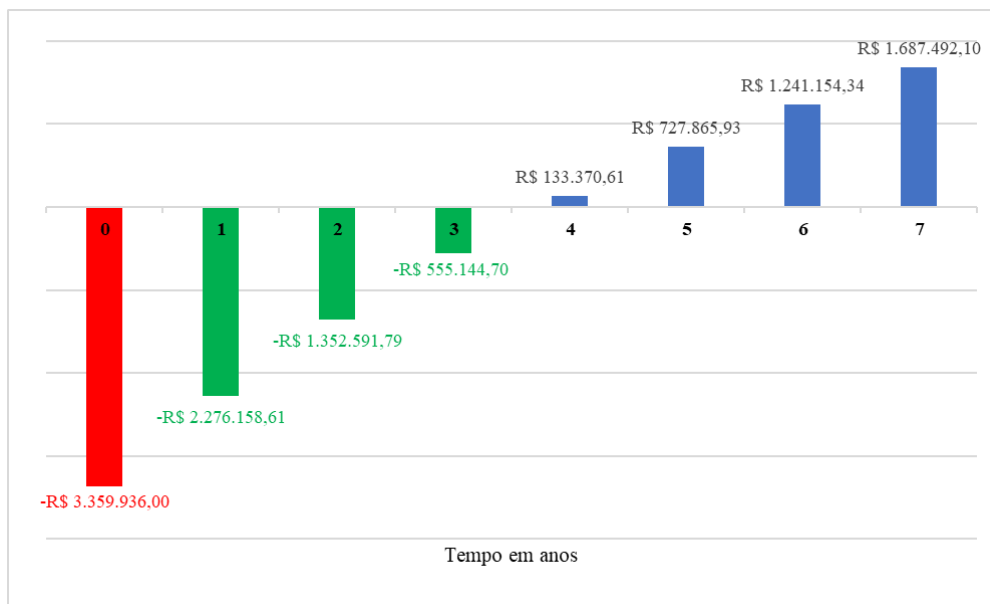
Figura 66 – Tempo de retorno do investimento



Fonte: Autor (2025)

Se considerarmos a degradação acumulada dos módulos fotovoltaicos ao longo do tempo, proporcionando uma avaliação mais realista do retorno do investimento. Essa redução gradual na eficiência dos painéis impacta diretamente a produção de energia e, conseqüentemente, a economia financeira gerada anualmente. Ao incorporar a perda de desempenho natural do sistema, o período de payback reflete de forma mais precisa o tempo necessário para que o investimento inicial seja recuperado, alinhando-se às condições reais de operação esperadas para a vida útil do sistema fotovoltaico (Figura 67).

Figura 67 – Tempo de retorno do investimento considerando degradação dos equipamentos.



Fonte: Autor (2025)

No Gráfico, apresentado com as mesmas características da figura 66, apresenta um payback descontado de aproximadamente 3 e 10 meses anos, se considerarmos a degradação acumulada dos módulos fotovoltaicos ao longo do tempo.

## 5. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um estudo detalhado de viabilidade econômica para a implantação de um estacionamento com estrutura metálica e cobertura fotovoltaica na Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), localizada em Barreiras-BA. A principal motivação do projeto foi conciliar a geração de energia limpa, por meio de fontes renováveis, com a oferta de sombreamento e proteção aos veículos estacionados, promovendo sustentabilidade aliada ao conforto dos usuários da instituição.

Em linha com essa perspectiva, o projeto desenvolvido dimensionou um sistema fotovoltaico de 802,8 kWp para o estacionamento da UFOB em Barreiras-BA, bem como a estrutura metálica necessária para suportar os painéis. O investimento total contemplou ambos os aspectos, com custo estimado em R\$ 3.359.936,00 (R\$ 1.583.936,00 para o sistema solar e R\$ 1.776.000,00 para a estrutura metálica). A análise financeira evidenciou viabilidade para o projeto, apresentando Valor Presente Líquido (VPL) positivo e Taxa interna de retorno (TIR), 36%, maior que a Taxa mínima de atratividade (TMA) em torno de 10%. O prazo de retorno do investimento foi calculado em aproximadamente 3 anos e 8 meses, estendendo-se a 3 anos e 10 meses quando considerada a degradação gradual do sistema fotovoltaico.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Otimização do dimensionamento e arranjo estrutural de carports solares para maximização da geração e redução de custos.
- Implantação de estacionamento com estrutura metálica e cobertura fotovoltaica na reitoria da universidade federal do Oeste da Bahia: Estudo de viabilidade para a instalação de energia solar no estacionamento.
- Análise do comportamento estrutural de telhados com instalações de painéis solares submetidos a cargas de vento.
- Planejamento e gestão da segurança estrutural em projetos integrados de energia solar e edificações existentes.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Bahia atinge 10 GW de potência outorgada em energia solar em 2024. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/dados/geracao>. Acesso em: abr. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). **Nordeste responde por 50% da geração distribuída do Brasil**. 2023. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/>. Acesso em: abr. 2024

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). **Panorama do solar fotovoltaico no Brasil e no mundo**. 2025. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 2023.

\_\_\_\_\_. NBR 6120 – Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. NBR 8800 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2024.

\_\_\_\_\_. NBR 9050 – Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2020.

BEZERRA, F. D. **Energia Solar: potencial e perspectivas para o Nordeste**. Cadernos Setoriais ETENE, n. 295, 2023. Disponível em: [https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1849/1/2023\\_CDS\\_295.pdf](https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1849/1/2023_CDS_295.pdf). Acesso em: 11 jun. 2025.

BEZERRA, F. D. **Energia solar fotovoltaica. Caderno Setorial ETENE**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/370>.

BURMESTER, C., CHANQUINI, L., NADER, A., TAVARES, S., & THOLKEN, D. (2021). Análise da Viabilidade de Implementação de Placas Fotovoltaicas No Estacionamento da Universidade Tuiuti Do Paraná. **Encontro Latino-Americano e Europeu Sobre Edificações E Comunidades Sustentáveis**, 548-562. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/euroelecs/article/view/2542>. Acesso em: 10 jun. 2025.

CARVALHO, F. D. de. **Análise do custo nivelado de energia (LCOE) de módulos bifaciais**. Monografia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2022. Disponível em: [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/50142/5/Monografia\\_Felipe%20Dantas%20de%20Carvalho%20\(4\).pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/50142/5/Monografia_Felipe%20Dantas%20de%20Carvalho%20(4).pdf). Acesso em: 12 jun. 2025.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SERGIO DE SALVO BRITO (CRESESB). Atlas Solarimétrico do Brasil: irradiação média no Oeste da Bahia. 2023. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>. Acesso em: abr. 2024.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. 4. ed. Rio de Janeiro: CEPEL/Eletronbras, 2022. Disponível em: <https://www.cresesb.cepel.br/publicacoes>. Acesso em: 15 jun. 2025.

DANTAS, A. V. V. **Análise de desempenho do sistema fotovoltaico: estacionamento solar da UFRJ**. 2024. Projeto de Graduação (Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/projpoli10044405.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2025.

DE SOUZA, B. N., SILVA, E. N., & FERRETTI, A. S. Z. (2024). Sustentabilidade: proposta de implementação de estacionamento solar em uma instituição de ensino pública. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, 6(1).DOI: <https://doi.org/10.61164/rmmm.v6i1.2543>. Acesso em: 10 jun. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Nacional de Energia 2050**. 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>. Acesso em: abr. 2024.

EPJ PHOTOVOLTAICS. Power generation characteristics of vertical bifacial photovoltaic arrays in heavy snow regions/Snapshot of photovoltaics. **EPJ Photovoltaics**, [S.l.], 2024. Disponível em: [https://www.epj-pv.org/articles/epjpv/full\\_html/2024/01/pv20240015/pv20240015.html](https://www.epj-pv.org/articles/epjpv/full_html/2024/01/pv20240015/pv20240015.html). Acesso em: 10 jun. 2025.

GOTTARDO, H. **Módulos monofaciais x bifaciais: estudo comparativo de geração em usinas fotovoltaicas**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2022. Disponível em:

<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/34645/1/modulosmonofaciaisbifaciasestudo-4.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2025.

MACHADO, A.; MIRANDA, J. **Energia solar fotovoltaica no Brasil: avanços e perspectivas**. In: Anais do Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2015. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/issue/view/4>. Acesso em: 11 jun. 2025.

MATTOS, A. D. **Como preparar orçamentos de obras**. 7ª ed. São Paulo: Pini, 2022.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Expansão da capacidade solar no Nordeste (2019-2023). 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/energia-solar-cresce-240-no-nordeste>. Acesso em: abr. 2024.

MTJJ ENGENHARIA. **Treliça é uma estrutura constituída por...** Blog MTJJ Engenharia, 2015. Disponível em: <https://mtjjengenharia.blogspot.com/2015/05/trelica-e-uma-estruturaconstituída-por.html>. Acesso em: 15 jun. 2025.

NAZARE, T. B. **Energia Solar Fotovoltaica: Revisão Bibliográfica**. Revista Brasileira de Energia Solar, v. 14, n. 2, 2023.

PALMA, G. Estruturas Metálicas. Apostila do curso de Engenharia Civil, Faculdade Assis Gurgacz, Cascavel, 2007.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2ª Edição. São José dos Campos: INPE, 2017.

PEREIRA, J. S. **Potencial de um sistema fotovoltaico em estacionamentos universitários: estudo de caso na UTFPR**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Disponível em: [https://utfpr-ct-static-content.s3.amazonaws.com/utfpr.curitiba.br/wpcontent/uploads/sites/85/2020/05/CT\\_PPGECC\\_M\\_Pereira-Juliano-da-Silva\\_2019\\_.pdf](https://utfpr-ct-static-content.s3.amazonaws.com/utfpr.curitiba.br/wpcontent/uploads/sites/85/2020/05/CT_PPGECC_M_Pereira-Juliano-da-Silva_2019_.pdf). Acesso em: 01 jun. 2025.

PEREIRA, N. X. **Desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no Brasil: geração distribuída vs geração centralizada**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2019. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/181288>. Acesso em: 11 jun. 2025.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de aço: dimensionamento prático**. 9ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022.

- PINHEIRO, A. C. **Estruturas metálicas: cálculos, detalhes, exercícios e projetos**. 2005. 2ª edição. São Paulo. Editora Edgard Blücher Ltda.
- PINHEIRO, A. C. da F. B.; CRIVELARO, M. **Planejamento e custos de obras**. 2ª ed. São Paulo: Erica, 2022
- PINHEIRO, C. A. B. **Estruturas de aço: conceitos básicos e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- PINHO, J. T. et al. Energia solar fotovoltaica em universidades brasileiras: casos da UFPE e UFC. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 12, n. 1, p. 45-60, 2021.
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, RJ, 2014.
- RIBEIRO, E.; FLORIAN, F.; FIGUEIRA, R. G. Instalação do sistema fotovoltaico on-grid como cobertura de um estacionamento utilizando carport solar. **RECIMA21**, v. 3, n. 6, 2022. DOI: <https://doi.org/10.47820/recima21.v3i6.1574>. Acesso em: 10 jun. 2025.
- RÜTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil**. Florianópolis: LABSOLAR/UFSC, 2004.
- SANTOS, M. G. dos. **Estudo de viabilidade econômica dos sistemas estrutural e fotovoltaico do estacionamento da UPA de Barreiras-BA**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
- SANTOS, M. R. dos; LIMA, F. J. L. de; COSTA, R. S. Current Panorama and 2025 Scenario of Photovoltaic Solar Energy in Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 62, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/babt/a/TktQtJKJH5gXykMs6xHkWFd/>. Acesso em: 11 jun. 2025.
- SANTOS, T. L.; SILVA, A. **Análise dos impactos da geração distribuída por painéis solares fotovoltaicos no sistema de baixa tensão**. 2023. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2023.
- SILVA, D. K. S. da; DE PAULA, M.; CACERES, M. C. de S. Sensibilidade a posteriori de um modelo de Captura-recaptura aplicado a estimação da frota de veículos. **Revista Brasileira de**

**Iniciação Científica**, [S. l.], p. e024026, 2024. Disponível em: <https://periodicoscientificos.itp.ifsp.edu.br/index.php/rbic/article/view/1323>. Acesso em: 13 jun. 2025.

SILVA, H. M. F.; ARAÚJO, F. J. C. Energia solar fotovoltaica no Brasil: uma revisão bibliográfica. **Revista Ibero-Americana de Humanidades**, Ciências e Educação, v. 8, n. 3, 2022.

SILVA, R. G.; CARMO, M. J. do. Energia Solar Fotovoltaica: uma proposta para melhoria da gestão energética. **Inter Science Place**, v. 12, n. 2, 2017. Disponível em: <http://www.interscienceplace.org/isp/index.php/isp/article/view/649/403>. Acesso em: 27 set. 2023.

SOUZA, L.; NOGUEIRA, P. Políticas públicas e incentivos à energia solar fotovoltaica no Brasil. In: Anais do Simpósio Nacional de Energias Renováveis, 2022. Disponível em: Disponível mediante solicitação ao autor ou à instituição promotora do evento. Acesso em: 11 jun. 2025.

SUREG. Estudo e implementação de um estacionamento solar. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado, 2018. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/download/35/35>. Acesso em: 12 jun. 2025.

TERRA, A. **Geração de Energia Solar aumenta no Brasil e no mundo**. Grupo de Estudos do Setor Elétrico (GESEL), UFRJ, 2024.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP). Usina solar de São Carlos: **economia e sustentabilidade**. 2022. Disponível em: <https://www5.usp.br/noticias/meio-ambiente/usina-solar-da-usp-em-sao-carlos-gera-economia-de-r-420-mil-por-ano/>. Acesso em: abr. 2024.

VALE, B. R. **Economic viability analysis for the implementation of solar parking lots: case studies**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei, 2018. Disponível em: <https://ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/ppgel/174-2018-08-22-DissertacaoBaltazarVale.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2025.

VIANA, V. **Análise técnica e econômica de um sistema de energia solar fotovoltaica**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Espírito Santo. Disponível em: [https://ele.ufes.br/sites/engenhariaeletrica.ufes.br/files/field/anexo/versao\\_finalprojeto\\_de](https://ele.ufes.br/sites/engenhariaeletrica.ufes.br/files/field/anexo/versao_finalprojeto_de)

[graduacao -vinicius viana -](#)

[analise tecnica e economica de um sistema de energia solar fotovoltaica.pdf.](#)

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2012.

ZILLES, R. et al. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.