



2023

Desenvolvimento de um Protótipo em Concreto Armado para Sustentação de Sistemas de Placas Fotovoltaicas

Matheus Henrique Cassiano^a; Sidiclei Formagini^b

^a Aluno de Graduação em Engenharia Civil, matheus.cassiano@ufms.br

^b Professor Orientador, titulação, sidiclei.formagini@ufms.br

Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Av. Costa e Silva, s/nº | Bairro Universitário | 79070-900 | Campo Grande, MS, Brasil.

RESUMO

Um dos principais objetivos da engenharia é conciliar projeto com execução a fim de evitar falhas, para isso um bom dimensionamento é essencial. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi dimensionar uma base de concreto armado que suportasse a instalação de placas fotovoltaicas. A base é constituída por um elemento inclinado apoiado em outro elemento ao centro, ambos de concreto armado. Para o dimensionamento foi necessário fundamentar nas normas vigentes, compreender e mensurar as cargas que atuam na base, escolher a resistência dos materiais empregados e a classe de agressividade ambiental. Para auxiliar o desenvolvimento do projeto, foram utilizados softwares de engenharia como o programa Ftool, que permite a verificação dos esforços e os deslocamentos resultantes. Além disso, o software PCalc 1.4 foi utilizado para determinar as armaduras necessárias para que a estrutura suporte os esforços solicitantes. Os resultados obtidos mostram que a base de concreto armado resiste a instalação de placas fotovoltaicas, e que ao longo dos anos o deslocamento causado nela está dentro dos padrões permitidos chegando no máximo a 1,205 mm. Portanto, o dimensionamento da base de concreto armado atende os requisitos solicitados, promovendo uma estrutura estável e segura.

Palavras-chave: Base de concreto armado, base para placa fotovoltaica, placa fotovoltaica.

ABSTRACT

One of the main purposes of engineering is to arrange design with execution in order to avoid failures, for which good measurement is essential. Therefore, the goal of this work was designing a reinforced concrete base that would support the installation of photovoltaic panels. The base consists of an sloping element supported by another element in the center, both made of reinforced concrete. For measuring, it is necessary to base it on current standards, understand and measure the loads that act on the base, choose the resistance of the materials used and the environmental aggressiveness rank. To assist the project development, engineering software such as the Ftool program was used, which allows the verification of efforts and resulting displacements. Furthermore, PCalc 1.4 software was used to determine the reinforcement necessary for the structure to support the requested forces. The results obtained show that the reinforced concrete base resists the installation of photovoltaic panels, and that over the years the displacement caused by it is within the permitted standards, reaching a maximum of 1,205 mm. Consequently, the design of the reinforced concrete base meets the requested requirements, promoting a stable and safe structure.

Keywords: Reinforced concrete base, base for photovoltaic plate, photovoltaic plate.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a procura por energia renovável aumentou em todo mundo, principalmente pela preocupação com as mudanças climáticas e pelo custo crescente no valor da energia elétrica. Entre diversas opções, a que mais se destaca é o sistema de geração de energia solar, uma alternativa limpa e abundante. O Brasil é rico em recursos naturais e possui recursos humanos disponíveis para atuar na geração de energia solar fotovoltaica (CGEE, 2010).

Os componentes básicos de um sistema de energia solar fotovoltaica incluem os módulos solares, mais conhecido como placa ou painel solar, o inversor, que transforma a corrente contínua para a alternada o que garante fluxo regular de eletricidade e segurança, a estrutura de suporte, controlador de carga, bateria e os materiais elétricos, os quais constituem os disjuntores de proteção, cabeamento, conectores de módulo, dentre outros.

Figura 1 – Componentes do sistema de energia solar.

Fonte: Ecomais.



Com esse crescimento, é necessário entender a correta instalação. Geralmente, essas placas solares são instaladas em telhados existentes ou em estruturas de suporte própria, como a de concreto armado ou metálica, com o objetivo de garantir estabilidade e durabilidade. “A estrutura de uma edificação é a parte da construção que resiste às diversas ações e garante o seu equilíbrio.” (CARVALHO & FILHO, 2014).

O dimensionamento de elementos estruturais que suportam as placas, seja em concreto armado ou metálico, deve considerar diversos fatores, como ações incidentes, disposição das placas solares, condições ambientais do local de instalação, características do solo e parâmetros fornecidos por norma. Logo, qualquer inconsistência no dimensionamento pode acabar ocasionando problemas como o mau funcionamento a até colapso

da estrutura. As figuras 2, 3 e 4 mostram colapsos de bases subdimensionadas que receberam placas fotovoltaicas.

Figura 2 – Desabamento de estrutura para placas fotovoltaicas. Fonte: ShareEnergy.



Figura 3 – Desabamento de estrutura para placas fotovoltaicas. Fonte: ShareEnergy.



Figura 4 – Desabamento de placas fotovoltaicas instaladas em cobertura metálica. Fonte: Canal Solar.



Diante disso, o presente trabalho tem por objetivo criar um modelo de base, realizar sua análise e construir um protótipo para validação de uma base isolada, em concreto armado, destinado ao suporte de

placas fotovoltaicas que garantam segurança e eficiência.

2. SOLICITAÇÕES NAS ESTRUTURAS DE SUPORTE DE PLACAS

Algumas das principais considerações que devem ser levadas em conta, quando se projeta estruturas isoladas destinadas ao suporte de sistemas de placas fotovoltaicas são: atendimento às normas técnicas da ABNT; geometria e tipo do modelo estrutural; ações incidentes (permanentes, acidentais e ocasionais); resistência dos materiais; durabilidade.

2.1. Normas técnicas

As normas técnicas são essenciais para garantir qualidade e segurança nas estruturas. No contexto na base de concreto armado, duas normas são essenciais, a NBR 6118 (ABNT, 2023) e a NBR 6123 (ABNT, 1988). A NBR 6118 estabelece critérios e procedimentos para projetos de estrutura em concreto, como cargas atuantes, coeficientes de segurança, prescrições construtivas, dentre outros. Já a NBR 6123 estabelece os critérios para dimensionamento da estrutura em relação a ação do vento, definindo os métodos para cálculo da força, coeficientes de pressão do vento, dentre outros.

2.2. Resistência dos materiais

Os materiais a serem utilizados para a construção de elementos estruturais em concreto armado, devem atender às condições normativas de classe de agressividade (Tabela 1) e especificações de concreto (Tabela 2) conforme NBR 6118 (ABNT, 2023), pois desempenham um papel fundamental na segurança da estrutura.

Tabela 1 – Classe de agressividade ambiental. Fonte: NBR 6118:2023.

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

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

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

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Tabela 2 – Correspondência classe de agressividade ambiental e cobrimento. Fonte: NBR 6118:2023.

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

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

3. METODOLOGIA

A metodologia consiste em elaborar, analisar, detalhar e validar, por meio de um protótipo, um sistema construtivo estrutural utilizando elementos individuais em concreto armado.

A estrutura do protótipo foi concebida para ser construída em um ambiente de agressividade classe I (ambiente rural com agressividade fraca), com concreto de classe de resistência C25 (25 MPa) e cobrimento da armadura de 2,5 cm (Tabela 2). Já o aço a ser utilizado foi o das classes de resistência CA50 e CA60.

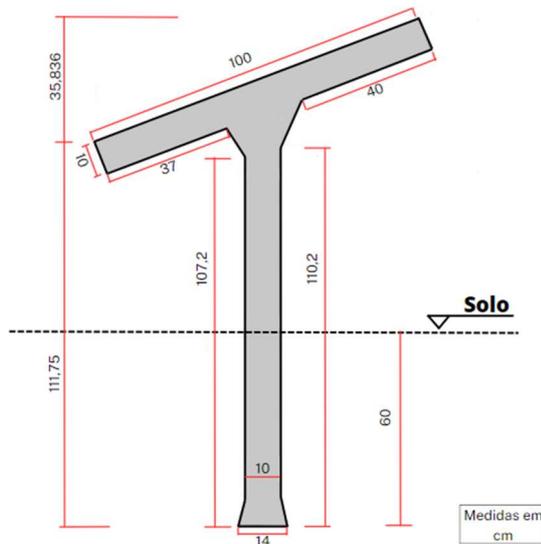
Após definir o formato e dimensões da base, foi utilizado o software Ftool para calcular os esforços e deformações resultantes e o software Pcalc para realizar o dimensionamento da armadura.

3.1. Geometria e Tipo do Modelo Estrutural

A Figura 5 mostra a vista lateral de um modelo de base de concreto armado proposto neste estudo. Basicamente, a estrutura em forma de “T” é composta por um elemento de seção transversal 10x10 cm² que serve de apoio para uma viga inclinada. A viga está inclinada em um ângulo de 17° para acompanhar a inclinação da placa fotovoltaica.

Como a fundação do elemento estrutural escolhido depende das características do perfil geotécnico, que varia de uma região para outra, considerou-se para fins de análise que o elemento ficará enterrado no solo a uma profundidade de 60 cm. Todo o solo envolto do elemento deverá ser compactado depois da fixação do elemento. Recomenda-se verificar a profundidade que o elemento deverá ser enterrado para cada perfil de solo.

Figura 5 – Modelo base de concreto armado. Fonte: Autor.



3.2. Ações incidentes

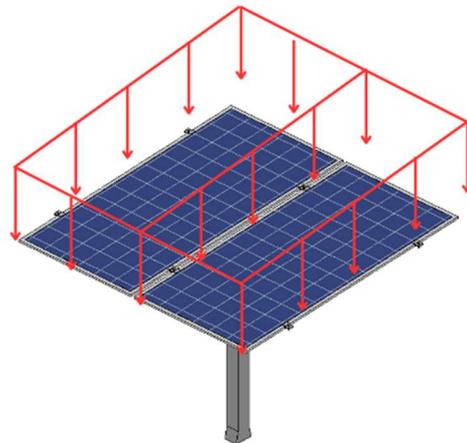
As ações incidentes podem ser permanentes, acidentais ou até mesmo ocasionais.

3.2.1. Ações permanentes

A primeira carga é o peso da placa fotovoltaica, que será apoiada na base. Essa carga depende do tamanho e tipo da placa que será utilizada. Considerando que cada placa de dimensões de 2m de comprimento por 1m de largura tem massa de 22 kg, tem-se um carregamento equivalente de $0,108 \text{ kN/m}^2$, conforme ilustrado na Figura 6. Majorando esse carregamento em 40% seu valor foi atualizado para $0,1512 \text{ kN/m}^2$.

A segunda carga é o peso próprio da estrutura que será de $0,25 \text{ kN/m}$ do elemento. Majorando o carregamento em 40% seu valor foi atualizado para $0,35 \text{ kN/m}$.

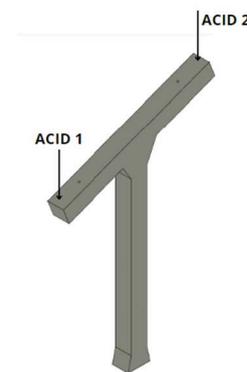
Figura 6 – Carga permanente atuando na base. Fonte: Autor.



3.2.2. Ações acidentais

O segundo tipo de carregamento que atuará no elemento estrutural é o acidental, sendo o peso do trabalhador que instalará a placa. Como durante a fixação das placas, o instalador terá que subir nas pontas da estrutura da base para parafusar as placas. É necessário considerar essa carga. Ela será aplicada em duas situações, uma em cada ponta da base, porém se ambas atuarem ao mesmo tempo tende a ter menor reação, portanto ela será analisada uma de cada vez. O posicionamento das cargas está na Figura 7.

Figura 7 – Cargas acidentais que atuam na base. Fonte: Autor.



Como o peso do instalador pode variar, foi adotado um carregamento pontual de 1 kN para a posição mais desfavorável, que é a extremidade do balanço.

3.2.3. Ações de vento

A ação do vento sobre a base da estrutura, principalmente se a instalação for em campo aberto, terá um grande impacto. Para mensurar a carga de vento, determina-se a velocidade básica do vento

(V_0), que varia de acordo com a localização da instalação e, conforme mapa de isopleias da NBR 6123 (ABNT, 1988) conforme Figura 8. Logo, a carga de vento que irá atuar na base deverá ser calculada em quatro direções, bem como distribuída conforme ilustrado nas Figuras 9 a 12.

Figura 8 – Isopleias da velocidade básica V_0 (m/s). Fonte: NBR 6123.

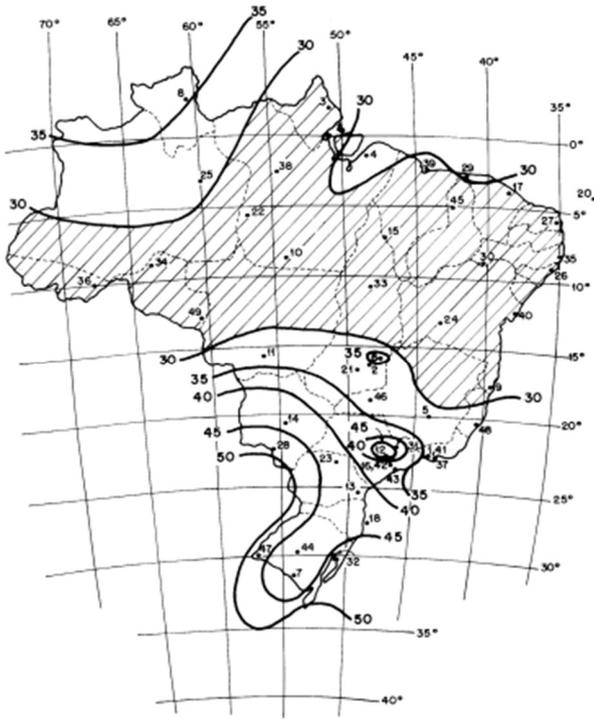


Figura 9 – Cargas de vento atuando a 0° na base. Fonte: Autor.

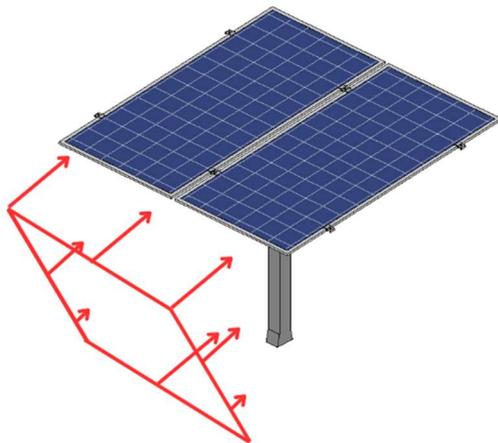


Figura 10 – Cargas de vento atuando a 90° na base. Fonte: Autor.

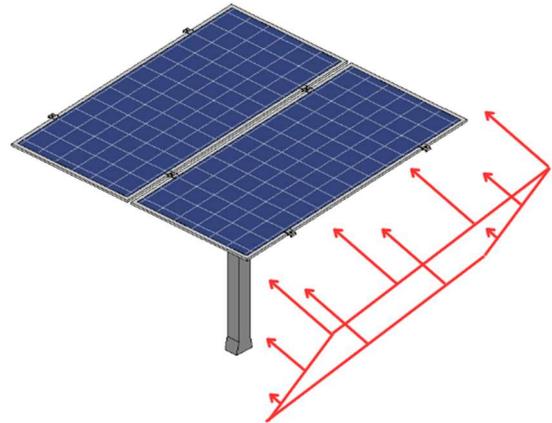


Figura 11 – Cargas de vento atuando a 180° na base. Fonte: Autor.

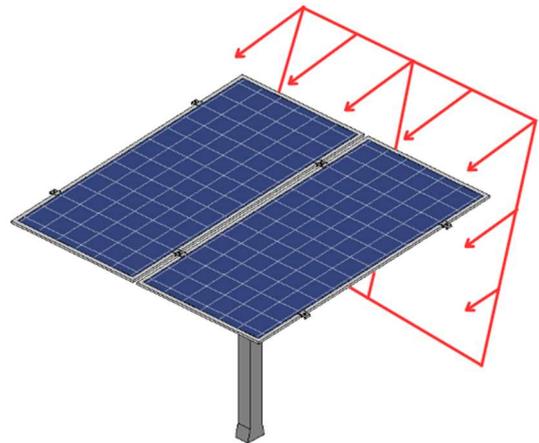
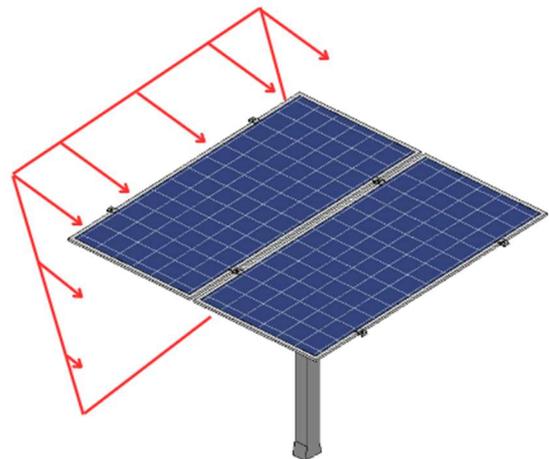


Figura 12 – Cargas de vento atuando a 270° na base. Fonte: Autor.



Supondo que o protótipo será instalado no interior de Mato Grosso do Sul a velocidade básica do vento corresponderá à $V_0 = 45$ m/s. A partir da velocidade básica do vento é possível calcular a velocidade característica do vento pela equação:

$$V_k = V_0 * S_1 * S_2 * S_3 \quad (1)$$

Com valores de S_1 , S_2 e S_3 fornecidos pela NBR 6123:1988, onde:

S_1 : 1,00 - Terreno plano ou fracamente acidentado;

S_2 : 1,01 - Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas. Com classe de edificação A, maior dimensão menor ou igual a 20m;

S_3 : 0,95 - Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação.

Sendo assim:

$$V_k = 45 * 1,00 * 1,01 * 0,95 = 43,18 \text{ m/s} \quad (2)$$

A partir de V_k calculou-se a pressão dinâmica (q) conforme:

$$q = 0,613 * V_k^2 = 1,14 \text{ kN/m}^2 \quad (3)$$

Com a pressão dinâmica determinou-se a força de arrasto pela equação:

$$F_a = C_a * q * A_e \quad (4)$$

Onde: C_a é o coeficiente de arrasto; e A_e é a área frontal efetiva (m^2).

Com a força de arrasto calculada, basta adicioná-la na base de concreto nos diferentes ângulos.

3.3. Uso do software Ftool

Após definir o formato e dimensões da base, foi utilizado o software Ftool para realizar o cálculo dos esforços.

3.3.1. Definições iniciais

Para a análise, os parâmetros calculados nos itens anteriores foram ajustados no software, como: geometria, módulo de elasticidade do concreto armado, os carregamentos e que o elemento está engastado ao solo. As Figuras 13 a 18 apresentam os dados lançados.

Figura 13 – Módulo de elasticidade. Fonte: Autor.

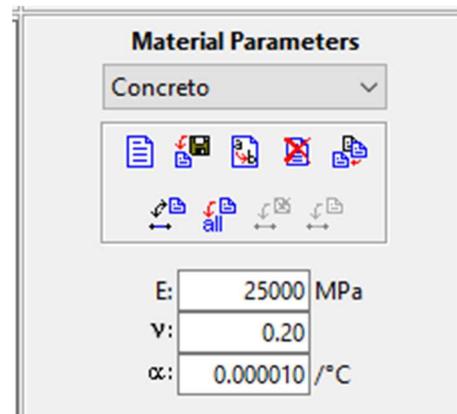


Figura 14 – Geometria da seção. Fonte: Autor.

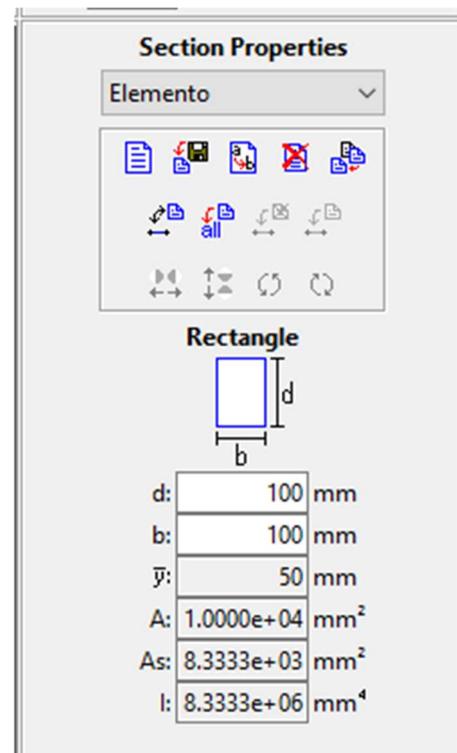


Figura 15 – Carregamento no “elemento”. Fonte: Autor.

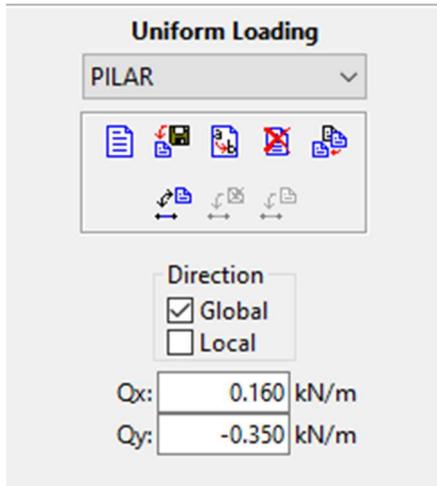


Figura 18 – Carregamento da hipótese a 0°. Fonte: Autor.

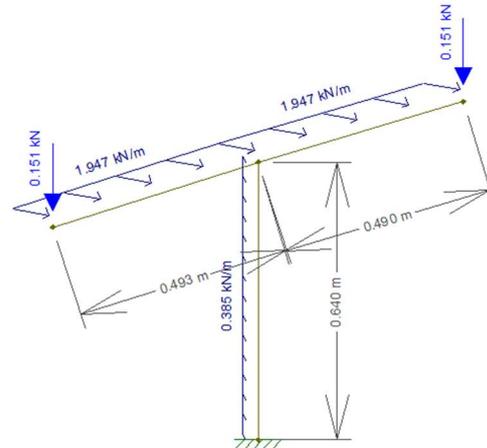
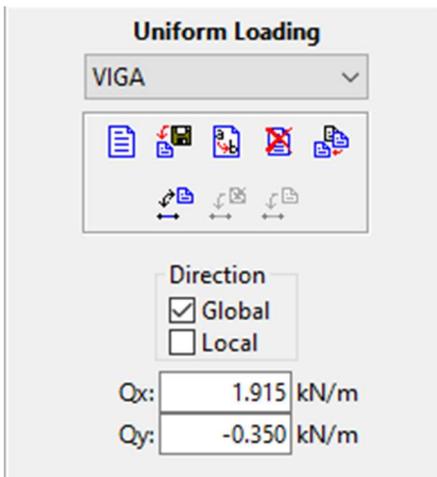


Figura 16 – Carregamento na “viga”. Fonte: Autor.



3.3.2. Modelagem da base

Após as definições iniciais introduziu-se o modelo da base do elemento e viga inclinada, em concreto armado com as dimensões definidas na figura 1.

Para uma análise precisa, considerou-se às ações de vento nas quatro direções, o peso da estrutura do sistema de placa e o peso próprio da estrutura.

3.3.3. Análise e Dimensionamento

Com os carregamentos definidos, resistência dos materiais e todas as outras definições prontas foi realizado o processamento da estrutura para análise dos resultados. Após o processamento da estrutura, obtêm-se os esforços no elemento ilustrado nas Figuras 19 e 20.

Figura 17 – Carregamento da placa solar. Fonte: Autor.

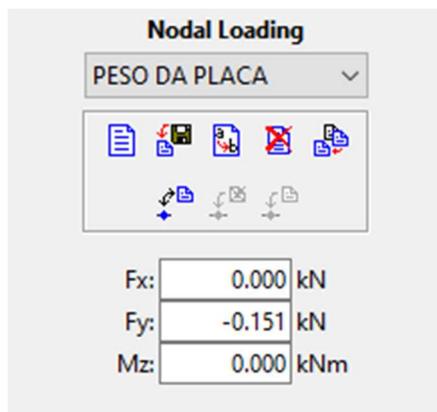


Figura 19 – Esforço normal. Fonte: Autor.

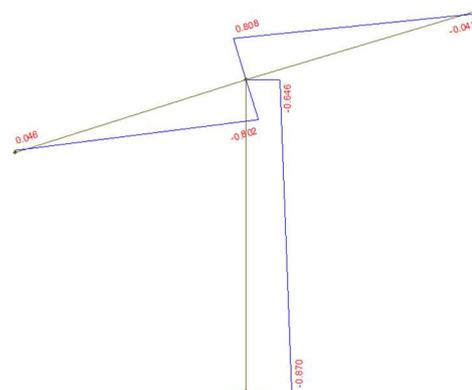
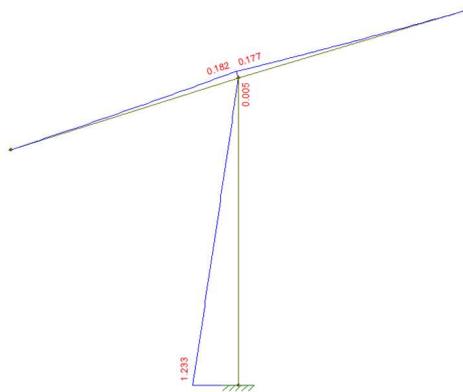


Figura 20 – Momento fletor. Fonte: Autor.



Como os valores dos esforços cortantes são baixos, eles foram desprezados.

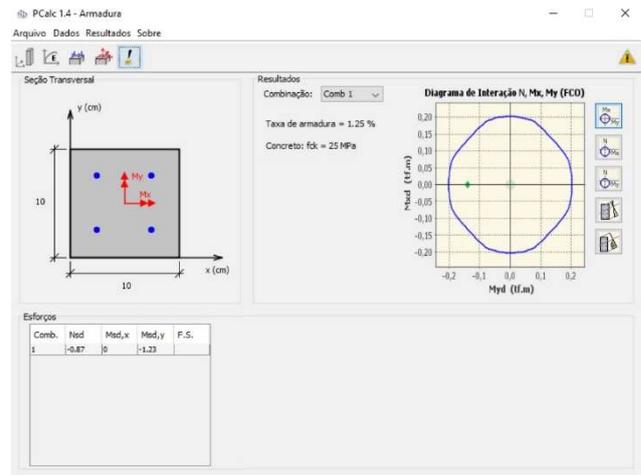
Conhecidos os valores dos esforços solicitantes internos de normal e momento fletor, utilizou-se os mesmos para uma verificação pelo software PCalc 1.4, comumente utilizado para verificação e dimensionamento de elementos de concreto armado, a fim de verificar a segurança da estrutura.

Foi adotado o maior valor dos esforços para dimensionar a armadura do elemento que será a mesma da viga. Ao usar o software definiu-se inicialmente a geometria do elemento, o material (concreto C25 e aço CA50). Em seguida adicionou-se o valor da normal e momento máximo.

Por fim adicionou-se a armadura que suportará os esforços. Essa armadura inicialmente será uma suposição, assim que o programa calcular e ver se essa armadura suporta ou não os esforços, adota-se uma bitola maior ou menor a fim de chegar numa armadura mais refinada. No caso desta análise da base, apenas 4 barras longitudinais de diâmetro 6,3 mm são necessárias para os esforços aplicados.

A Figura 21 mostra a interface do software Pcalc 1.4 com o desenho da seção transversal do elemento e a disposição das armaduras, junto com os esforços majorados que atuam nesse elemento e ao lado o diagrama de interações, que mostra que a base, apenas sendo armada com 4 barras de 6,3mm suporta os esforços que nela atuam.

Figura 21 – Resultado dimensionamento Pcalc. Fonte: Autor.



4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Deslocamentos

Em relação aos deslocamentos que a base sofrerá diante dos carregamentos que nela atuam, foi possível verificar que os valores são muito pequenos e dentro de um limite aceitável.

Com resultados da análise observa-se que o deslocamento em relação ao vento a 0° é o pior dos casos pois é a hipótese em que o vento tem a maior área de atuação, o que apresentou um deslocamento vertical na ordem de 1,205 mm na estrutura. Vale ressaltar que é necessário analisar o deslocamento na estrutura elemento-viga, o deslocamento apresentado na placa deve ser menosprezado.

Para a análise desse deslocamento foi utilizada a tabela 13.3 da NBR 6118 (ABNT, 2023) que limita os valores de deslocamento em elementos conforme limites estabelecidos na Tabela 5.

A partir da Tabela 3, o deslocamento-limite é de $2l/250$, sendo “l” o vão da viga que nesse caso é de 113cm. Sendo assim, o limite de deslocamento da viga é 9,04 mm como o pior caso deslocou 1,205 mm, o modelo está dentro dos limites.

Tabela 3 - Valores limites de deslocamento.
Fonte: NBR 6118:2023.

Tabela 13.3 – Limites para deslocamentos

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$l/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$l/350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$l/250^a$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	$l/350+$ contraflecha ^b
	Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$l/500^c$ e 10 mm e $\theta = 0,0017$ rad ^d
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	$l/250^c$ e 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação frequente ($\psi_1 = 0,30$)	$H/1700$ e $H/850^e$ entre pavimentos ^f
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$l/400^g$ e 15 mm

^a As superfícies devem ser suficientemente inclinadas ou o deslocamento previsto compensado por contraflechas, de modo a não se ter acúmulo de água.
^b Os deslocamentos podem ser parcialmente compensados pela especificação de contraflechas. Entretanto, a atuação isolada da contraflecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que $l/350$.
^c O vão l deve ser tomado na direção na qual a parede ou a divisória se desenvolve.
^d Rotação nos elementos que suportam paredes.
^e H é a altura total do edifício $\geq H_1$ o desnível entre dois pavimentos vizinhos.
^f Esse limite aplica-se ao deslocamento lateral entre dois pavimentos consecutivos, devido à atuação de ações horizontais. Não podem ser incluídos os deslocamentos devidos a deformações axiais nos pilares. O limite também se aplica ao deslocamento vertical relativo das extremidades de lntels conectados a duas paredes de contraventamento, quando H_1 representa o comprimento do Intel.
^g O valor l refere-se à distância entre o pilar externo e o primeiro pilar interno.

NOTAS
 1 Todos os valores-limites de deslocamentos supõem elementos de vão l suportados em ambas as extremidades por apoios que não se movem. Quando se tratar de balanços, o vão equivalente a ser considerado deve ser o dobro do comprimento do balanço.
 2 Para o caso de elementos de superfície, os limites prescritos consideram que o valor l é o menor vão, exceto em casos de verificação de paredes e divisórias, onde interessa a direção na qual a parede ou divisória se desenvolve, limitando-se esse valor a duas vezes o vão menor.
 3 O deslocamento total deve ser obtido a partir da combinação das ações características ponderadas pelos coeficientes definidos na Seção 11.
 4 Deslocamentos excessivos podem ser parcialmente compensados por contraflechas.

4.2. Detalhamento armadura

Como dimensionado, tem-se que a armadura necessária para suportar os esforços na base será de 4 barras com diâmetro de 6,3 mm tanto no elemento quando a viga conforme detalhamento apresentado nas Figuras 22, 23 e 24.

Figura 22 – Detalhamento armadura para base. Fonte: Autor.

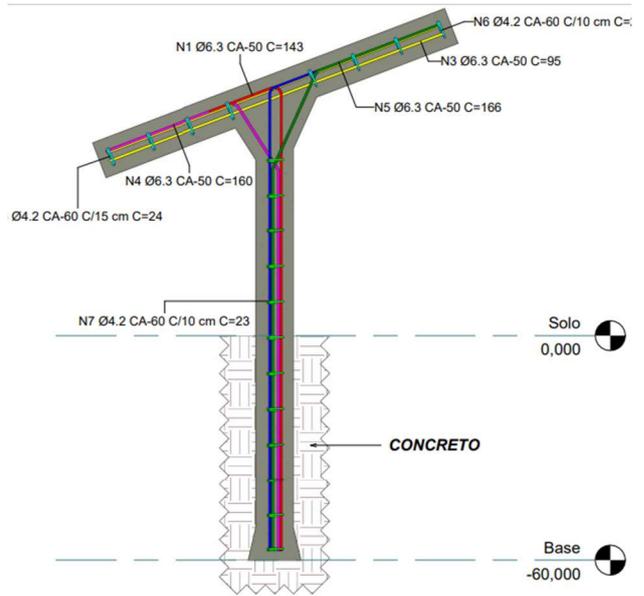


Figura 23 – Vista 3D da armadura para base. Fonte: Autor.

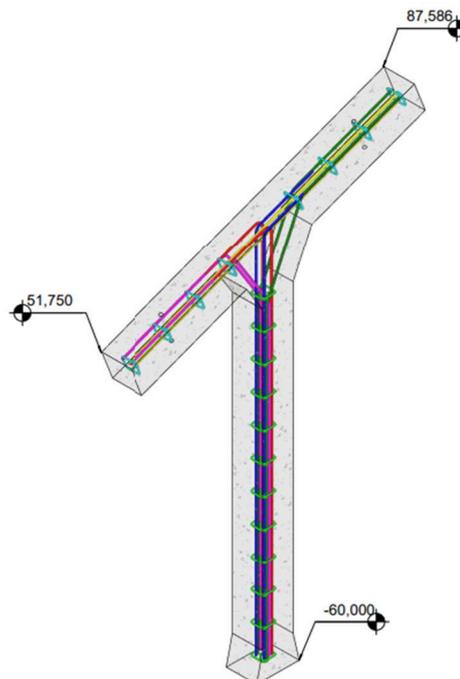
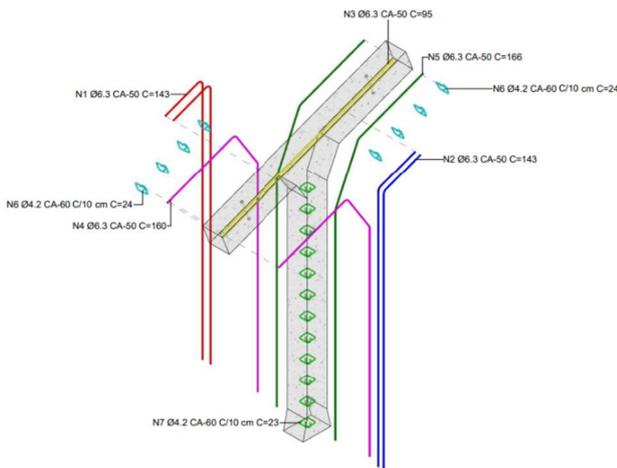


Figura 24 – Vista 3D da armadura para base. Fonte: Autor.



Com a armadura dimensionada foi obtido os quantitativos da estrutura, sendo apresentado nas Tabelas 4, 5 e 6.

Tabela 4 – Quantitativo de concreto. Fonte: Autor.

QUANTITATIVO DE CONCRETO		
Título	Volume (m³)	Área de Forma (m²)
BASE	0,0228	0,7154

Tabela 5 – Tabela de aço. Fonte: Autor.

TABELA DE AÇO					
Aço	Posição	Diâmetro da barra (mm)	Quantidade	Comprimento Unit. (cm)	Comprimento total (cm)
CA-50	1	6,3	2	143	286
CA-50	2	6,3	2	143	286
CA-50	3	6,3	4	95	380
CA-50	4	6,3	2	160	320
CA-50	5	6,3	2	166	332
CA-60	6	4,2	8	24	192
CA-60	7	4,2	12	23	276

Tabela 6 – Tabela de resumo de aço. Fonte: Autor.

TABELA RESUMO DE AÇO			
Aço	Diâmetro da barra (mm)	Comprimento total (cm)	Peso Total
CA-60	4,2	468	0,51 kg
CA-50	6,3	1074	2,63 kg

4.3. Desenvolvimento do Protótipo

Com os projetos em mãos, foi passado para empresas especializadas na dobra do aço o preparo das armaduras. E as formas também foram desenvolvidas por empresas especializadas.

Na Figura 25 podemos ver que as armaduras foram posicionadas dentro das formas junto aos espaçadores de cobertura 2,50 cm.

Em betoneira foi preparado o concreto nas proporções de 3:4:4:1. Sendo os elementos: concreto, areia, brita 4,75/12,5 e água.

Optou-se por trabalhar com um concreto com menos água para reduzir a porosidade do concreto, em contrapartida, o concreto demorava um pouco mais para preencher a forma por completo mesmo com o uso do vibrador de concreto.

A desforma ocorreu 48 hrs depois do início da concretagem usando um martelo emborrachado para soltar a estrutura da forma. Durante todo o processo foi realizado a cura do concreto.

Figura 25 – Armação e concretagem das bases. Fonte: Autor.



Para a fixação do protótipo na fazenda do cliente foi realizado um furo com perfurador de solo à gasolina. Foi adotada a broca de 20 cm de raio e 70 cm de profundidade conforme a Figura 26.

Após a escavação, foi preparado um concreto magro e o mesmo foi lançado nos 10 cm finais do buraco para servir de base para a peça.

Passadas 24 hrs do procedimento anterior, foi começado o posicionamento e concretagem das bases sendo ao mesmo tempo realizado o nivelamento conforme a Figura 26.

Figura 26 – Instalação das bases. Fonte: Autor.



Foi dado um prazo de 72 horas para a cura do concreto enquanto realizávamos as demais atividades necessárias para a execução da usina e após esse tempo começamos o posicionamento dos módulos.

O resultado final da usina está nas Figuras 27 e 28.

Figura 27 – Vista aérea das bases já executadas. Fonte: Autor.



Figura 28 – Vista aérea das bases já executadas. Fonte: Autor.



5. CONCLUSÃO

No presente trabalho foi concebido, analisado, dimensionado, detalhado e construído uma base de concreto armado com objetivo de apoiar um sistema de placas fotovoltaicas destinadas a geração de energia solar.

Com base nos resultados da análise, pode-se concluir que a base de concreto armado atende os requisitos de segurança às condições desejadas, suportando as cargas nela aplicadas, com um deslocamento baixo e garantindo estabilidade.

Vale ressaltar que as bases de concreto armado foram instaladas em uma área rural no mês de Abril no ano de 2023 e por inspeção visual a armadura está desempenhando a sua função sem apresentar avarias.

Portanto, o dimensionamento correto da base para placa fotovoltaica foi essencial para assegurar segurança ao sistema. Espera-se que o trabalho forneça informações suficientes para que outros profissionais da área consigam implementar de forma segura e eficaz esse método executivo para usinas de solo.

6. REFERÊNCIAS

Alonso, U. R. (1943). Exercícios de Fundações, São Paulo: Edgard Blucher.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8953: Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistência. Rio de Janeiro, 1992.

AVALIAÇÃO PRÉVIA DOS TELHADOS ANTES DA INSTALAÇÃO DE SISTEMA FV. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/avaliacao-previa-dos-telhados-antes-da-instalacao-de-sistemas-fv/>>

CGEE. **Energia solar fotovoltaica no Brasil: subsídios para tomada de decisão.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados->

abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-523/05.03%20Energia%20Solar.pdf

INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS: 10 ERROS MAIS COMUNS. Disponível em:
<<https://www.shareenergy.com.br/10-erros-mais-comuns-em-instalacoes-fotovoltaicas/>>

MORRISON, NELSON. Interacción suelo-estructuras: semiespaço de winkler. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 1993.

TIETZ, Waldemar. Fundações profundas sobre tubulões. Estrutura: revista técnica das construções engenharia e arquitetura. Rio de Janeiro, n°76, p 43-81, 1976.