MEMORIAL DESCRITIVO

Dados Gerais

1. Dados da unidade

Razão Social: MUNICIPIO DE INDAIATUBA.

Endereço: AV ENG FABIO ROBERTO BARNABE, 2800, JARDIM REGINA, CEP: 13349-003, INDAIATUBA - SP

Informações de Contato:

Contato: VICTOR ALVARES DE CAMPOS

E-mail: engenharia@eloenergia.net.br

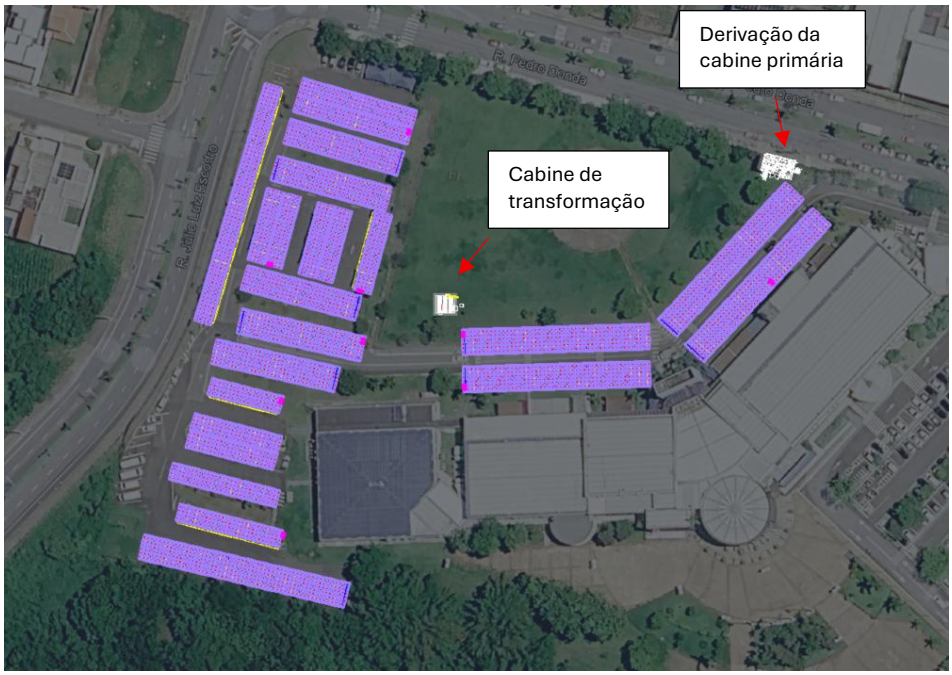
Telefone: (14) 99605 3455

Celular: (14) 99809-2607

A Usina Fotovoltaica (UFV) descrita neste documento é composta por 1.764 módulos fotovoltaicos de 535 Wp, totalizando potência de pico de 943,74 kWp. Os módulos serão conectados a 9 inversores de 100,00 kW, resultando em potência nominal instalada de conversão de 900,00 kW.

Na figura abaixo, é apresentada a projeção do sistema proposto sobre o local. A área de cobertura dos módulos é de aproximadamente 4.800 m², sendo esta destacada em violeta, também está sendo destacado o local da cabine secundária e cabine primária.

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DOS MÓDULOS E CABINES



Sistema Fotovoltaico Elétrico (BT/MT)

1. Módulos;

O módulo fotovoltaico é capaz de transformar a radiação solar em energia elétrica. A quantidade de módulos a ser instalada por arranjo é determinada pela limitação de capacidade máxima de potência, tensão e corrente da entrada do inversor.

A usina fotovoltaica será composta por 1.764 módulos com potência nominal de 535 Wp cada, totalizando uma potência de 943,74 kWp, sendo especificado o modelo BMT-P2/132A | 535W.

Os painéis serão instalados sobre as estruturas metálicas dos *Carports* (Mesas 1 a 19), fixados em perfis metálicos apropriados, respeitando o método de instalação indicado pelo fabricante.

2. Inversores;

O inversor é o equipamento capaz de converter a energia elétrica em corrente contínua produzida pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada e ajustá-la em sincronismo com a rede elétrica. Os inversores utilizados no projeto atendem as normas vigentes, NBR 16149:2013, NBR 16150:2013 e NBR IEC 62116:2012.

O sistema contará com 9 inversores de 100,00 kW cada, totalizando uma potência Total instalada de 900,00 kW.

Modelo Especificado: CSI-100K-T4001B-E (Canadian Solar ou equivalente).

Características Elétricas: Operação em baixa tensão (380/220V) na saída, com múltiplas entradas MPPT para otimização da geração em diferentes arranjos de strings.

Instalação: Deverão ser instalados respeitando o projeto proposto por estarem em locais que respeitem as zonas de ventilação exigidas pelo fabricante.

3. Strings;

Os arranjos elétricos dos 1.764 módulos de 535 Wp, conectados aos 9 inversores de 100 kW, serão divididos em 109 strings. Cada string terá até 21 módulos conectados em série, conforme detalhado no projeto unifilar, documento complementar a este memorial.

3.1. Configuração dos arranjos

Abaixo separação dos módulos por String por inversor.

		INV. 1	INV. 2	INV. 3	INV. 4	INV. 5	INV. 6	INV. 7	INV. 8	INV. 9
MPPT	STRING	MÓDULOS								
1	1	17	16	17	19	16	18	15	15	15
	2	17	16	17	19	16	18	15	15	15
2	3	18	16	17	18	20	18	16	15	16
	4	18	16	17	-	20	-	16	15	16
3	5	17	16	17	21	15	16	15	16	15
	6	17	16	17	21	15	16	15	16	15
4	7	20	16	16	21	16	16	16	15	16
	8	20	16	16	21	16	16	16	15	16
5	9	20	20	16	16	15	16	15	15	15
	10	21	20	16	16	15	16	15	15	15
6	11	17	14	16	16	17	16	15	16	15
	12	-	14	16	16	17	16	15	16	15
7	13	-	-	-	-	16	16	-		
	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-

As tensões estão classificadas por cor para facilitar o entendimento, considerando o menor valor em verde e o maior valor em amarelo. Esses valores referem-se à condição de desconexão, considerando tensão de circuito aberto de 48,21 V. O valor máximo de tensão da string, de 1.012 V, está acima da faixa ideal de operação das MPPTs, de 200 V a 1.000 V, porém permanece inferior ao valor máximo de entrada permitido pelo inversor, de 1.100 V. Vide tabela abaixo:

		INV. 1	INV. 2	INV. 3	INV. 4	INV. 5	INV. 6	INV. 7	INV. 8	INV. 9
MPPT	STRING	MÓDULOS								
1	1	820	771	820	916	771	868	723	723	723
	2	820	771	820	916	771	868	723	723	723
2	3	868	771	820	868	964	868	771	723	771
	4	868	771	820		964		771	723	771
3	5	820	771	820	1.012	723	771	723	771	723
	6	820	771	820	1.012	723	771	723	771	723
4	7	964	771	771	1.012	771	771	771	723	771
	8	964	771	771	1.012	771	771	771	723	771
5	9	964	964	771	771	723	771	723	723	723
	10	1.012	964	771	771	723	771	723	723	723
6	11	820	675	771	771	820	771	723	771	723
	12		675	771	771	820	771	723	771	723
7	13					771	771			
	14									
8	15									
	16									
9	17									
	18									

Considerando agora a atuação usual dos arranjos, devemos considerar a Tensão na Potência Máxima do módulo, que é igual a **41,47V**, o valor máximo de tensão da String de **871 V**, está dentro da faixa ideal para as MPPTs de **200 a 1.000 V**, porém é inferior ao valor máximo de entrada permitida pelo inversor, **1.100 V**. Vide tabela abaixo:

		INV. 1	INV. 2	INV. 3	INV. 4	INV. 5	INV. 6	INV. 7	INV. 8	INV. 9
MPPT	STRING	MÓDULOS								
1	1	705	664	705	788	664	746	622	622	622
	2	705	664	705	788	664	746	622	622	622
2	3	746	664	705	746	829	746	664	622	664
	4	746	664	705		829		664	622	664
3	5	705	664	705	871	622	664	622	664	622
	6	705	664	705	871	622	664	622	664	622
4	7	829	664	664	871	664	664	664	622	664
	8	829	664	664	871	664	664	664	622	664
5	9	829	829	664	664	622	664	622	622	622
	10	871	829	664	664	622	664	622	622	622
6	11	705	581	664	664	705	664	622	664	622
	12		581	664	664	705	664	622	664	622
7	13					664	664			
	14									
8	15									
	16									
9	17									
	18									

4. Dispositivos de proteção contra surtos (DPS)

Para a parte em corrente contínua do sistema, não está prevista a utilização de DPSs CC, considerando o fato do inversor já possuir proteção nativa contra surtos e sobretensão CC tipo II.

Para a parte em corrente alternada do sistema foram consideradas as seguintes características para os DPS's:

Classe: I + II;

Número de polos: 1;

Máxima tensão de operação (Uc): 275 VCA (aplicação em redes 380/220V);

Corrente de descarga nominal (In) a 8/20 µs: 60 kA;

Corrente de Impulso a 10/350 µs (Iimp): 12,5 kA;

Nível de proteção de tensão (Up): 1,5 kV;

Tempo de resposta: <25ns;

Ambiente de trabalho: temperatura -40°C a +70°C;

Fixação: trilho padrão DIN 35

Seção dos condutores de conexão elétrica admissíveis: 4 a 25 mm²

Deverá possuir indicador para necessidade de troca;

Atende a norma ABNT NBR IEC 61643-11 e ABNT NBR 5410. A instalação do DPSs será conforme indicado na ABNT NBR 5410:2004.

A instalação dos DPSs deve prever proteção back-up (dispositivo fusível ou disjuntor) contra sobrecarga e curto-circuito em casos de sobrecorrente, foi considerado disjuntor trifásico de 63A tipo DIN para isso.

Quantidade total: 3 unidades.

5. Disjuntores

A conexão da geração de energia com a rede principal do local será feita através de disjuntores, os quais estarão instalados no quadro de distribuição da usina, conforme detalhado em projeto. Além da proteção contra sobrecarga e curto-circuito, os disjuntores terão função de permitir o seccionamento manual da produção de energia durante a manutenção na rede principal ou nos inversores.

Para a parte em corrente contínua do sistema, não foi considerado dispositivo de seccionamento e proteção adicional pelo fato do inversor escolhido já possuir interruptor e proteções nativa.

Para a parte em corrente alternada do sistema, para proteção geral do circuito, até 9 inversores de 100kWp;

- Corrente nominal (In): 1500 A;

- Número de polos: 3 (trifásico);

- Tipo: Caixa Moldada;

- Tensão de operação nominal (Ue): 400 V em 60 Hz;

- Tensão Nominal de Impulso Suportável (Uimp): 8 kV;

- Capacidade de interrupção (Icu) a 380/400V: 65 kA;

- Curva de Proteção: C;

- Quantidade total: 1 unidade;

Para proteção e seccionamento individual dos inversores;

- Corrente nominal (In): 200 A;

- Número de polos: 3 (trifásico);

- Tipo: caixa moldada;

- Tensão de operação nominal (Ue): 400 V em 60 Hz;

- Tensão Nominal de Impulso Suportável (Uimp): 8 kV;

- Capacidade de interrupção (Icu) a 380/400V: 35 kA;

- Curva de Proteção: C;

- Quantidade total: 9 unidades;

6. String Boxes (Caixas de Junção/Proteção CC)

O modelo de inversor escolhido dispensa as proteções de corrente Contínua e sistemas de seccionamento adicionais pois estes já estão integrados no próprio inversor.

7. Condutores de corrente contínua e infraestrutura;

Os condutores de corrente contínua devem possuir isolação 1,8 kV, seguindo dimensionamento descrito no projeto, serem resistentes a intempéries, radiação UV e sem emissão de gases halógenos, além de possuírem certificados de conformidade com as normas vigentes.

A interligação dos módulos deverá seguir a proposta do método *leap-frog*, a fim de minimizar loops de indução magnética e reduzir o uso de cabos de retorno.

O encaminhamento subterrâneo será feito em dutos corrugados de 2 polegadas, com agrupamentos máximos considerado de 10 circuitos (20 condutores) por feixe.

8. Condutores de corrente alternada e infraestrutura;

Os condutores de corrente alternada, da saída dos inversores até o quadro de distribuição deverão possuir isolação XLPE ou EPR. (0,6/1kV), classe de encordoamento 4 ou 5, seguindo dimensionamento descrito no projeto pois foram dimensionados considerando a capacidade de condução de corrente e a queda de tensão máxima admissível.

O encaminhamento subterrâneo até a subestação será por dutos corrugados de 4 polegadas, com agrupamento máximo de 3 circuitos (15 cabos, sendo 3 fases, 1 neutro e 1 terra por inversor). A cada 30 metros de extensão ininterrupta deverão ser instaladas caixas de passagem conforme dimensionado em projeto, à fim de respeitar as normas e facilitar a passagem dos cabos durante execução.

A definição do diâmetro dos condutores foi estabelecida com base nas informações de máxima corrente obtidas através da tabela de características elétricas dos equipamentos. Todas as correntes máximas de cada condutor, desde a geração em corrente contínua até a conexão com a rede, se encontram detalhadas no memorial de cálculo do projeto.

9. Proteção e transformação (CA);

A junção da energia gerada pelos inversores ocorrerá dentro da cabine proposta, externa à área de média tensão, separada pela grade de proteção, em um quadro geral de baixa tensão, conforme projeto.

A proteção geral será feita com um disjuntor trifásico curva C caixa moldada de 1500ª, com dispositivos de proteção contra surtos (DPS) classe I + II (In 20kA, Imáx 60kA).

A cabine de transformação conta com um transformador à seco de 1.000 kVA, relação 23,10 kV/0,38 kV, sendo o lado de alta tensão protegido por chave seccionadora de média tensão (400A) provida de fusíveis limitadores tipo H-H.

10. Aterramento;

Todos os componentes metálicos não energizados deverão ser aterrados. Isso inclui todas as estruturas dos Carports, carcaças dos inversores, quadros elétricos, alambrados e portões.

Deverão ser utilizados cabo de cobre nu aterrado no solo e cabo de cobre com isolação na cor verde (ou verde/amarela) para ligação dos equipamentos ao Barramento de Equipotencialização) principal (BEP).

A malha de aterramento deverá ser dimensionada para atingir o menor valor de resistência possível (Sendo recomendado valor inferior à 10 ohms). Sendo considerado cabo de cobre nu 50mm², 7 fios, por todo o perímetro do empreendimento, perímetro da Subestação e cabo de cobre nu 35mm², 7 fios, internamente à cabine.

11. SPDA/SPDA;

A planta deverá ser protegida contra descargas atmosféricas diretas e indiretas (surtos), de acordo com o gerenciamento de risco da NBR 5419.

Deverá ser feito sistema de captação tipo gaiola de Faraday, com captores em barra chata de alumínio 7/8” x 1/8” nos quatro cantos da cabine, estes serão interligados também em barra de alumínio de mesma dimensão, sendo fixados com parafusos sextavados.

Nas descidas para interligação com a malha de aterramento local, deverão ser utilizados cabos de cobre nu 3 5mm, dutos de PVC e condulete de inspeção na cor preta, apropriados para sistemas de captação.

Deve-se assegurar que os pilares metálicos serão devidamente interligados à malha de aterramento das fundações / Radier para dissipação segura da energia das descargas.

12. Normas de Referência (NBR 16690 e NBR 5410).

Toda a execução, testes e comissionamento devem seguir rigorosamente as normativas vigentes, destacando-se:

ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos — Requisitos de projeto. Dita as regras para proteção contra choques, sobrecorrentes e seleção do cabeamento CC, bem como a obrigatoriedade de dispositivos de desconexão.

ABNT NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rege o dimensionamento dos condutores CA, esquemas de aterramento e dispositivos de proteção geral.

ABNT NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas (Partes 1 a 4).

NR-10: Segurança em instalações e serviços em eletricidade.

13. Requisitos complementares

Todos os painéis elétricos, cabos e inversores deverão ser claramente identificados, com placas, anilhas ou adesivos. Adicionalmente, devem ser fixadas placas de advertência de risco elétrico e sinalizações de geração fotovoltaica (“Cuidado: Geração própria” ou similar) nas seccionadoras e QGBT.

Antes da energização, deverão ser realizados os testes de continuidade, resistência de isolamento nos cabos CC e CA, conferência do VOC e ISC das strings, sendo imprescindível a entrega de um relatório técnico assinado, assegurando a realização dos testes de segurança e liberação da usina.

Ao término da obra, todos os diagramas unifilares e plantas de encaminhamento deverão ser atualizados conforme execução em campo, impressos e disponibilizados em porta documentos na cabine de transformação.

14. Conclusão

O presente memorial técnico descritivo apresentou as principais especificações da usina fotovoltaica de potência de 943,74kWp, composta por 1764 módulos de 535 Wp e nove inversores de 100 kWp, a ser implantada no estacionamento do paço municipal de Indaiatuba. Qualquer alteração deve ser devidamente justificada e documentada.

15. Responsabilidade técnica

ART: 2620251441871

Empresa contratada:

ELO ENERGIA - PROJETOS E ASSESSORIA TÉCNICA EM ENERGIA

LTDA.

Registro: 5071144696-SP

Engenheiro eletricista: VICTOR ALVARES DE CAMPOS

Registro: 1953118-SP

Estrutura Metálica (Carport)

1. Perfis estruturais;

O estacionamento fotovoltaico será composto por 19 mesas, com coberturas projetadas para acomodar fileiras duplas e triplas de painéis.

Os perfis deverão ser fabricados em aço estrutural de alta qualidade, ASTM 136, ASTM A562 Grau 50 ou aço de alta resistência e baixa liga, conforme especificação em projeto, garantindo resistência mecânica adequada.

Os pilares serão executados em tubos metálicos retangulares 200 x 120 x 4,50mm.

Tesouras seguirão o mesmo dimensionamento, para garantir rigidez contra flambagem e deformações.

Terças, perfis em que os módulos serão presos deverão ser diretamente fixados em tubos retangulares de 150 x 50 x 3,00 mm.

2. Tratamento anticorrosivo/galvanização;

Considerando a exposição constante às intempéries, radiação UV e Variações de umidade, toda a estrutura deve possuir um sistema de proteção anticorrosiva de longa durabilidade, compatível com a vida útil do gerador fotovoltaico, mínimo de 25 anos.

Todos os componentes estruturais em aço carbono, pilares, tesouras, terças e chapas de ligação, deverão ser OBRIGATORIAMENTE, galvanizados à fogo, em conformidade com a ABNT NBR 6323.

A camada de zinco deve obedecer à classe de agressividade ambienta do local, garantindo proteção catódica efetiva.

Se necessária adaptação em campo, por qualquer razão, quaisquer cortes, furos ou pequenos danos de transporte à camada galvanizada deverão ser imediatamente tratados com tintas ricas em zinco (Galvanização a frio), não sendo permitida a montagem de peças com o aço exposto.

3. Fixações (NBR 8800 e NBR 14762);

Todas as ligações parafusadas e interfaces de ancoragem foram dimensionadas para garantir a estabilidade global da estrutura, suportando esforços de tração, compressão e cisalhamento.

A execução das ligações deve seguir rigorosamente a ABNT NBR 8800 e a ABNT NBR 14762.

Os elementos de fixação estrutural devem ser de aço de alta resistência (ex: linha ASTM A325). Para evitar corrosão e degradação prematura, todos os parafusos estruturais devem ser galvanizados a fogo ou possuir revestimento organometálico de alta performance (ex: Geomet/Dacromet).

A fixação dos painéis nas terças metálicas será feita através de mid-clamps (grampos intermediários) e end-clamps (grampos finais) em alumínio anodizado. Estes são elementos de fixação específicos para o modelo de módulo escolhido e devem ser fornecidos em conjunto.

Fundação e Geotecnia

1. Considerações Geotécnicas

O dimensionamento das fundações para a usina fotovoltaica e cabine de transformação, se fundamentou no relatório de sondagem à percussão (SPT) SP 144/26 realizado pela Solomega Paulino Ltda.

O perfil geotécnico revela um solo constituído em sua porção superior, por argilas arenosas e silto-argilosas, com variações de compacidade/ consistência, sobrepostas a camadas de siltes arenosos.

Em pontos foram identificados nível de água, porém em profundidades que não afetarão a fundação proposta.

A cota impenetrável foi identificada em profundidades variando de 13,45 m a 14,45m.

2. Tipologia das estacas;

O projeto adota soluções de fundações profundas do tipo estacas escavadas, dimensionadas para atender aos esforços de tração e compressão, considerando também o arrasto de vendo, sendo187 estacas separadas em 4 categorias:

E1 – 34 estacas com 1,50 m de profundidade e diâmetro nominal de 50cm

E2 – 72 estacas com 2,00 m de profundidade e diâmetro nominal de 50cm

E3 – 60 estacas com 4,00 m de profundidade e diâmetro nominal de 50cm

E4 – 21 estacas com 5,00 m de profundidade e diâmetro nominal de 50cm

Estacas de fundação do Carport, serão do tipo escavada, optando pela dispensa de blocos de coroamento, com o encabeçamento das estacas realizando a ancoragem direta do pilar metálico, a fim de garantir a transmissão dos esforços axiais e horizontais ao solo.

A fundação para a cabine de transformação é composta por radier, vigas baldrames e estacas escavadas, formando conjunto rígido capaz de mitigar recalques diferenciais e garantir estabilidade da subestação, as 8 estacas estão separadas em duas categorias:

E1 à E3 – 3 estacas de 1,00 m de profundidade

E4 à E8 – 5 estacas de 3,00 m de profundidade

Foram consideradas estacas profundas para evitar que o peso da estrutura afetasse a resistência mecânica do solo do talude próximo.

3. Especificações tecnológicas dos materiais;

Conforme ABNT NBR 6118 e ABNT NBR 12655, o concreto deverá ser dosado e executado conforme critérios de durabilidade e resistência Fck = 25 Mpa, slump 14+-2cm, para garantir trabalhabilidade e o preenchimento total da forma escavada.

Impõe-se a relação água/cimento (a/c) $\leq$ 0,45 para redução da porosidade capilar. Exige-se, adicionalmente, a incorporação de aditivo impermeabilizante por cristalização (dosagem de 1% sobre a massa de cimento) em toda a massa de concreto do radier e

vigas, visando a proteção contra a umidade ascensional e o ataque por agentes agressivos.

A execução deve respeitar o plano de controle de qualidade, assegurando a verticalidade das estacas e o cobrimento nominal das armaduras conforme previsto nas pranchas estruturais. Recomenda-se a verificação constante dos dados de sondagem durante a perfuração para confirmar a cota de assentamento das estacas frente ao perfil estratigráfico descrito.

Subestação de Energia

1. Equipamentos de manobra;
2. Transformação e proteção em média tensão;
3. Entre outros fatores correlatos;

Elementos civis da cabine de energia

A estrutura da Cabine Secundária de Transformação da Usina Fotovoltaica (UFV) do Paço Municipal de Indaiatuba destina-se a abrigar com segurança os equipamentos de média e baixa tensão, incluindo o transformador a seco de 1000 kVA, chave seccionadora e painel de distribuição, atendendo rigorosamente às exigências normativas aplicáveis como a ABNT NBR 6118, NBR 14030, NBR 16868 e NBR 5410.

1. Alvenaria estrutural;

A infraestrutura e a base da edificação são constituídos por um sistema de fundação profunda integrado por oito estacas escavadas (EC1 a EC8) com diâmetro de 15 cm e profundidade de 3,00 metros, devidamente concretadas junto às vigas perimetrais de contenção (VB1 a VB4, com seção transversal de 20 x 40 cm) e ao radier maciço. Para o revestimento e regularização do piso em concreto armado de Fck mínimo de 25 MPa, exige-se a incorporação de aditivo impermeabilizante por cristalização na dosagem de 1% sobre a massa de cimento (tais como Penetron Admix, Xypex Admix ou MC-Bauchemie), mantendo uma relação água/cimento máxima de 0,45 para mitigar o surgimento de fissuras e evitar a ascensão de umidade por capilaridade. As valas para passagem de cabos e as caixas de passagem de baixa tensão (dimensões de 30 x 38 x 30 cm) possuem piso acabado com camada drenante de 10 cm de brita nº 1, garantindo o correto escoamento de eventual umidade e facilitando a acomodação do cabeamento de potência e aterramento em malha de cobre nu.

A supraestrutura é executada em alvenaria estrutural autoportante com blocos modulares vazados de concreto de alta resistência (compostos por blocos inteiros de 19x19x39 cm, meios-blocos e canaletas para vergas e amarrações) dispostos nas paredes identificadas de PAR1 a PAR4. O enrijecimento estrutural do conjunto é promovido pelo grauteamento vertical reforçado com 16 barras de aço CA-50 de diâmetro 10,0 mm (N2) ancoradas por 32 arranques (N1, Ø10 mm), além de cinta de grauteamento horizontal contínuo (N4, Ø10 mm) e reforços de abertura. A cobertura da cabine é formada por uma laje em painéis treliçados do tipo TR8645 revestida com enchimento de blocos de EPS (Classe F1) e capa de concreto Fck 25 MPa com volume total de cálculo de aproximadamente 3,11 m³, reforçada por armaduras em balanço e malha em barras de aço CA-50 de 10,0 mm para suporte das cargas permanentes e intempéries.

2. Esquadrias.

O fechamento, proteção e ventilação da edificação utilizam esquadrias e elementos metálicos de alta durabilidade projetados para assegurar a exaustão térmica dos equipamentos e o controle de acesso. A entrada principal é constituída por uma porta dupla tipo veneziana com dimensões de 2,00 x 2,60 metros, confeccionada em alumínio de alta resistência para assegurar a estanqueidade e permitir a circulação de ar. O sistema de ventilação permanente da cabine é complementado por grelhas do tipo veneziana chicana posicionadas nas vedações de alvenaria, dotadas internamente de tela de proteção contra insetos e vetores em arame galvanizado 18 BWG com malha de 10 mm. Para a separação física do compartimento do transformador de alta potência em relação às demais áreas de circulação, é instalada uma grade interna de proteção confeccionada em tela de aço do tipo Otis.

Conforme orientado no item 6.4.7.1.8 do GED 2855, para 1.000 kVA de capacidade de transformação, a área mínima de ventilação deve ser de 2,00m².

Foi projetado 9,76 m² de área de ventilação dos equipamentos da subestação. Sendo considerada meio de janelas e porta do tipo veneziana de dimensões:

2 janelas de 1200mm x 600mm = 1,44m²;

1 Porta de 2,60mm x 3200mm = 8,32m²;

Todas as estruturas deverão ser aterradas.

A porta de acesso será em alumínio reforçado, do tipo veneziana, com dimensões indicadas em projeto, e deverá ter placa com os dizeres "PERIGO DE MORTE-ALTA TENSÃO".

A porta deverá ser aterrada e entre a junção da porta e o marco deverá existir uma interligação com cabo de cobre flexível de 25mm²

MEMORIAIS DE CÁLCULO (ELÉTRICO, ESTRUTURAL E GEOTÉCNICO)

Dimensionamento Elétrico Corrente Contínua

1. Dados considerados

Corrente de Curto-Circuito do módulo (Isc): **13,60A;**

Maior distância dos Módulos até o Inversor (L): **115,60 m;**

Temperatura Ambiente: **35C°;**

Resistividade do Cobre (pl): **0,000000017Ω.m;**

Tensão Mínima de Entrada do Inversor (Vmin): **200V;**

Fator de Correção de Temperatura (Fta): **0,96;**

Capacidade de condução de corrente em 40°C: **39 A;**

Potência do módulo fotovoltaico: **535W;**

Tensão de circuito aberto (Voc): **48,21V**

STC: 25°C

Coeficiente de temperatura de tensão aberto (TcVoc): **-0,25%/C**

Menor valor de temperatura (Temp): **0°C**

2. Tensão de circuito aberto;

Vocmax = Voc + Voc * [(temp-STC) * TcVoc/100]

Vocmax = 48,21 + 48,21* [(0-25)*-0,25/100]

Vocmax = **51,22V**

3. Máximo de módulos por string;

Inversor: CSI-100K-T4001B-E

Tensão máxima de entrada: **1100V**

Número de MPPT disponíveis: **9**

Número de Strings disponíveis: **18**

ModString = Vinmax/Vocmax

ModString = 1100/51,22

ModString = 21,47 módulos por string

Cada string suporta no máximo até 21 módulos fotovoltaicos, no projeto a maior string possúi 21 módulos, estas se encontram nos inversores 1 e 4, restante da separação pode ser encontrada no projeto.

4. Corrente elétrica corrigida;

Tabela 41— Fatores de correção para linhas subterrâneas em solo com resistividade térmica diferente de 2,5 K.m/W

Resistividade térmica K.m/W	1	1,5	2	3
Fator de correção	1,18	1,1	1,05	0,96

NOTAS

1 Os fatores de correção dados são valores médios para as seções nominais abrangidas nas tabelas 36 e 37, com uma dispersão geralmente inferior a 5%.

2 Os fatores de correção são aplicáveis a cabos em eletrodutos enterrados a uma profundidade de até 0,8 m.

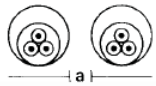
3 Os fatores de correção para cabos diretamente enterrados são mais elevados para resistividades térmicas inferiores a 2,5 K.m/W e podem ser calculados pelos métodos indicados na ABNT NBR 11301.

Tabela 45 — Fatores de agrupamento para linhas em eletrodutos enterrados[1)]

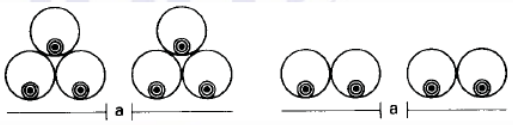
Cabos multipolares em eletrodutos – Um cabo por eletroduto				
Número de circuitos	Espaçamento entre eletrodutos (a)			
	Nulo	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,85	0,90	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95
4	0,70	0,80	0,85	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90
6	0,60	0,80	0,80	0,80
Condutores isolados ou cabos unipolares em eletrodutos [2)] – Um condutor por eletroduto				
Número de circuitos (grupos de dois ou três condutores)	Espaçamento entre eletrodutos (a)			
	Nulo	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,80	0,90	0,90	0,95
3	0,70	0,80	0,85	0,90
4	0,65	0,75	0,80	0,90
5	0,60	0,70	0,80	0,90
6	0,60	0,70	0,80	0,90

(a)

Cabos multipolares



Cabos unipolares



[1)] Os valores indicados são aplicáveis para uma profundidade de 0,7 m e uma resistividade térmica do solo de 2,5 K.m/W. São valores médios para as seções de condutores constantes nas tabelas 36 e 37. Os valores médios arredondados podem apresentar erros de até ±10% em certos casos. Se forem necessários valores mais precisos, deve-se recorrer à ABNT NBR 11301.

[2)] Deve-se atentar para as restrições e problemas que envolvem o uso de condutores isolados ou cabos unipolares em eletrodutos metálicos quando se tem um único condutor por eletroduto.

Fta = Fator de Correção por Temperatura = 1,05 (NBR 5410:2004)

Fac = Fator de Correção por Agrupamento = 0,50 (NBR 5410:2004)

Isc = Corrente de Curto-Circuito do módulo = 13,60 A (DATASHEET)

Lb= Isc/Fta*Fac

Lb= 13,60/ (1,05*0,50)

Lb= 25,90A

5. Resistência elétrica do cabo 4mm^2;

Rc = Pl * L * A

6. Etc.

Dimensionamento Elétrico Corrente Alternada

7. Queda de tensão;

Para análise foi considerada o pior caso, sendo o inversor 9 o mais distante do quadro de distribuição.

I = Corrente de projeto = 167,10 A

L = Distância entre inversor e quadro de distribuição = 130,00 m

Rca = Resistência do cabo 95mm² = 0,2320 Ω/km

Xl = Reatância do cabo 95mm² = 0,080 Ω/km

FP = Fator de Potência = 0,8400

FR = Fator de Reatividade = 0,5400

$$\Delta E = \frac{\sqrt[2]{3} \,.\, I \,.\, L}{1000} \,.\, (Rca \,.\, FP + Xl \,.\, FR)$$

$$\Delta E = \frac{\sqrt[2]{3} \,.\, 167{,}10 \,.\, 130{,}00}{1000} \,.\, (0{,}2320 \,.\, 0{,}840 + \ 0{,}0800 * 0{,}5400)$$

$$\Delta E = 8{,}96V$$

Para o percentual de queda de tensão.:

$$\Delta E\% = 100 * \frac{\Delta E}{E}$$

$$\Delta E\% = 100 * \frac{8{,}96}{380} = 2{,}36\%$$

Considerando sistema trifásico em 380/220V, a queda de tensão admissível de 5%, queda de tensão do projeto está dentro do aceitável.

8. Capacidade de condução;

Tabela 37 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D
Condutores: cobre e alumínio
Isolação: EPR ou XLPE
Temperatura no condutor: 90°C
Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)

Seções nominais mm²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	10	9	10	9	12	10	11	10	12	11	14	12
0,75	12	11	12	11	15	13	15	13	16	14	18	15
1	15	13	14	13	18	16	17	15	19	17	21	17
1,5	19	17	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22	26	22
2,5	26	23	25	22	31	28	30	26	33	30	34	29
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40	44	37
6	45	40	42	38	54	48	51	44	58	52	56	46
10	61	54	57	51	75	66	69	60	80	71	73	61
16	81	73	76	68	100	88	91	80	107	96	95	79
25	106	95	99	89	133	117	119	105	138	119	121	101
35	131	117	121	109	164	144	146	128	171	147	146	122
50	158	141	145	130	198	175	175	154	209	179	173	144
70	200	179	183	164	253	222	221	194	269	229	213	178
95	241	216	220	197	306	269	265	233	328	278	252	211

Cabeamento considerado 95mm² possui capacidade de condução maior que a proteção e maior que a a corrente de projeto do inversor:

269 A > 200 A > 167,10 A

O disjuntor caixa moldada Tripolar de 125 A

9. Taxa de Ocupação do sistema;

9.1. Corrente contínua

Para a parte em corrente contínua do sistema, considerando o pior caso possível existirá a passagem de 11 strings pela mesma infraestrutura.

Considerando um cabo solar 4,00 mm² Classe 5, de diâmetro nominal 6,5 mm;

A = Área do condutor

r = Raio do condutor = 6,5 / 2

$$A = \pi \, . \, r^2$$

$$A = \pi . (\frac{6{,}5}{2})^2 = 33{,}18 \, mm^2$$

Considerando 22 cabos, sendo 11 positivos vermelhos e 11 negativos pretos.

$$At = 33{,}18 \, . \, 22 = 729{,}96 \, mm^2$$

Considerando uma infraestrutura de 2 polegadas, sendo;

Ad = Área do duto

Dim = Diâmetro interno médio = 50 mm

$$Ad = \pi \,.\, (\frac{Dim}{2})^2$$

$$Ad = \pi \,.\, (\frac{50}{2})^2 = 1963{,}50\ mm^2$$

Analisando a taxa de ocupação:

$$Taxa\ de\ Ocupação(\%) = 100\,.\frac{At}{Ad}$$

$$Taxa\ de\ Ocupação(\%) = 100\,.\frac{729{,}96}{1963{,}50} = 37{,}18\%$$

A área ocupada pelos condutores no eletroduto de 2” será de no máximo 37,18%, o que atende aos requisitos da NBR 5410.

9.2. Corrente alternada

Para a parte em corrente alternada do sistema, considerando o pior caso possível existirá a passagem de 3 circuitos trifásicos pela mesma infraestrutura.

Considerando que para cada circuito temos quatro cabos unipolar CA 95mm² XLPE ou EPR, de diâmetro nominal 17,50 mm para os condutores das fases, neutro e um cabo unipolar CA 50mm² XLPE ou EPR de diâmetro nominal 13,30 mm para aterramento.

At = Área do circuito individual

r1 = Raio do condutor 95mm² = 17,50 / 2

r2 = Raio do condutor 50mm² = 13,30 / 2

$$A1 = \pi \,.\, r1^2$$

$$A1 = \pi.\,(\frac{17{,}50}{2})^2 = 240{,}53\ mm^2$$

$$A2 = \pi.\,(\frac{13{,}30}{2})^2 = 138{,}93\ mm^2$$

$$At = 4\ A1 + A2 = 4.\,(240{,}53) + (138{,}93) = 1101{,}05\ mm^2$$

Considerando os 3 circuitos:

$$3At = 3\,.\,(1101{,}05) = 3303{,}15\ mm^2$$

Considerando uma infraestrutura de 4 polegadas, sendo;

Ad = Área do duto

Dim = Diâmetro interno médio = 103 mm

$$Ad = \pi \,.\, (\frac{Dim}{2})^2$$

$$Ad = \pi \,.\, (\frac{103}{2})^2 = 8332{,}29\ mm^2$$

Analisando a taxa de ocupação:

$$Taxa\ de\ Ocupação(\%) = 100 . \frac{At}{Ad}$$

$$Taxa\ de\ Ocupação(\%) = 100 . \frac{3303{,}15}{8332{,}29} = 39{,}64\%$$

A área ocupada pelos condutores no eletroduto de 4” será de no máximo 39,64%, o que atende aos requisitos da NBR 5410.

Dimensionamento da Estrutura Metálica:

1. Normas Técnicas Consideradas

- **NBR 8800:2024:** Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações.
- **NBR 14762:2010:** Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio (PFF).
- **NBR 6123:1988:** Forças devidas ao vento em edificações.
- **NBR 6118:2014:** Projeto de estruturas de concreto.
- **NBR 6122:2022:** Projeto e execução de fundações.
- **NBR 6323:2025:** Galvanização por imersão a quente de produtos de aço-carbono e ferro fundido.

2. Características geométricas e dos materiais

2.1. Tipologia das estruturas

As estruturas estão separadas em mesas para duas e três fileiras de módulos fotovoltaicos

2.2. Vão longitudinal

O espaçamento considerado entre pilares é de 5,00 ou 2,50 m, sendo 2,50 a largura padrão das vagas propostas.

2.3. Aço estrutural (Perfis formados a frio e elementos tubulares / laminados)

- Tensão de escoamento(f_y): 250 MPa $= 25{,}0$ kN/cm^2 (Aço ASTM A36 / ZAM / S280GD).
- Tensão de ruptura (f_u): 400 MPa $= 40{,}0$ kN/cm^2.
- Módulo de elasticidade (E): 200.000 MPa $= 20.000$ kN/cm^2.
- Coeficiente de ponderação da resistência (γ_{a1}): $1{,}10$.

2.4. Estacas de Fundação:

Concreto das estacas de fundação: $f_{ck} = 25$ MPa

[ADICIONAR MAIS INFORMAÇÕES]

3. Ações e Carregamentos considerados

3.1. Cargas permanentes (g_k)

- Peso próprio da estrutura metálica (terças, tesouras, pilares e contraventamentos): $g_1 = 0{,}26$ kN/m^2.
- Peso próprio dos módulos fotovoltaicos + kit de fixação: $g_2 = 0{,}15$ kN/m^2.
- Carga permanente total característico:

$$g_k = g_1 + g_2$$

$$g_k = 0{,}26 + 0{,}15 = 0{,}41 \text{ kN/m}^2$$

3.2. Cargas Variáveis de Uso/Manutenção (q_k)

Sobrecarga eventual de instalação/manutenção (NBR 8800): $q_k = 0{,}25$ kN/m^2

3.3. Ação do Vento (W)

Considerando a norma ABNT NBR 6123 referente à ação estática e dinâmica do vento.

- Velocidade básica do vento (V_0): $60{,}0$ m/s (Indaiatuba - SP).
- Fator topográfico (S_1): $1{,}00$ (Terreno plano/suavemente ondulado).
- Fator de rugosidade, dimensão e altura (S_2): Categoria III, Classe A/B ($z \approx 3{,}5$ m): $S_2 = 0{,}94$.
- Fator estatístico (S_3): $1{,}00$ (Edificação de ocupação normal).
- Velocidade característica (V_k):

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 = 60{,}0 \cdot 1{,}00 \cdot 0{,}94 \cdot 1{,}00 = 56{,}40 \text{ m/s}$$

- Pressão dinâmica do vento (q_w):

$$q_w = 0{,}613 \cdot V_k^2$$
$$q_w = 0{,}613 \cdot (56{,}40)^2 = 1.949{,}93 \text{ N/m}^2 \approx 1{,}95 \text{ kN/m}^2$$

- Coeficientes de Pressão (C_p) para Estrutura Aberta / Carport:
  - Sucção Máxima (Arrancamento - Vento de baixo para cima/arrasto):

$C_{p,\text{suc}} = -1{,}20 \Longrightarrow w_{\text{suc}} = -1{,}15$ kN/m^2.

  - Sobrepressão Máxima (Carga descendente):

$C_{p,\text{pres}} = +0{,}60 \Longrightarrow w_{\text{pres}} = +0{,}58$ kN/m^2.

4. Combinações de Ações (ELU E ELS)

4.1. Estado Limite Último (ELU)

Combinação 1 — Gravitacional + Sobrevento (Compressão/Flexão descendente):

$$F_{d,1} = 1{,}35 \cdot g_k + 1{,}50 \cdot q_k + 1{,}40 \cdot \psi_{0,w} \cdot w_{\text{pres}}$$

$$F_{d,1} = 1{,}35\,.\,(0{,}41) + 1{,}50\,.\,(0{,}25) + 1{,}40\,.\,(0{,}60)\,.\,(0{,}58)$$

$$F_{d,1} = 0{,}5535 + 0{,}375 + 0{,}4872 = 1{,}4157 \text{ kN/m}^2$$

Combinação 2 — Ancoragem e Sucção do Vento (Alívio de carga permanente + Sucção):

$$F_{d,2} = 0{,}90 \cdot g_k + 1{,}40 \cdot w_{\text{suc}}$$

$$F_{d,2} = 0{,}90(0{,}41) + 1{,}40(-1{,}15)$$

$$F_{d,2} = 0{,}369 - 1{,}610 = -1{,}241 \text{ kN/m}^2$$

4.2. Estado Limite de Serviço (ELS)

Combinação Rara para Verificação de Flechas:

$$F_{\text{ser}} = g_k + 0{,}60 \cdot w_{\text{pres}} = 0{,}41 + 0{,}60(0{,}58) = 0{,}758 \text{ kN/m}^2$$

5. COMPROVAÇÃO DE TENSÕES ATUANTES NOS ELEMENTOS (ELU)

5.1. Terças de Apoio dos Módulos (NBR 14762)

Faixa de influência entre terças (a): 1,00 m.

Vão livre (L): 5,00 m.

Carga linear de projeto no ELU (q_d):

$$q_d = F_{d,1} \cdot a$$

$$q_d = 1{,}4157 \text{ kN/m}^2 \cdot 1{,}00 \text{ m} = 1{,}42 \text{ kN/m}$$

Momento Fletor Solicitante de Projeto (M_{Sd}):

$$M_{Sd} = \frac{q_d \cdot L^2}{8}$$

$$M_{Sd} = \frac{1{,}42 \cdot (5{,}00)^2}{8} = 4{,}44 \text{ kN} \cdot \text{m} = 443{,}75 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Módulo de Resistência Efetivo Mínimo Necessário ($W_{\text{eff,min}}$):

$$f_d = \frac{f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$f_d = \frac{25{,}0}{1{,}10} = 22{,}73 \text{ kN/cm}^2$$

$$W_{\text{eff,min}} = \frac{M_{Sd}}{f_d}$$

$$W_{\text{eff,min}} = \frac{443{,}75}{22{,}73} = 19{,}52 \text{ cm}^3$$

Comprovação da Tensão Atuante (σ_{Sd}):

Para perfil adotado com $W_{\text{eff}} = 21{,}40 \text{ cm}^3$:

$$\sigma_{Sd} = \frac{M_{Sd}}{W_{\text{eff}}}$$

$$\sigma_{Sd} = \frac{443{,}75}{21{,}40} = \mathbf{20{,}74\ kN/cm^2} \leq 22{,}73 \text{ kN/cm}^2 - \text{ok!}$$

5.2. Tesouras (2F e 3F) e engastes (NBR 8800)

Reação de apoio transmitida pelas terças às tesouras:

$$R_{Sd} = 1{,}25 \cdot q_d \cdot L$$

$$R_{Sd} = 1{,}25 \cdot 1{,}20 \cdot 5{,}00 = 7{,}50 \text{ kN}$$

Verificação de Flexo compressão nas Tesouras:

Tensão normal atuante máxima $\sigma_{\text{max}} = 18{,}20 \text{ kN/cm}^2 \leq f_d = 22{,}73 \text{ kN/cm}^2$

Atende à NBR 8800!

Parafusos e Ligações Sextavadas: Verificados ao cizalhamento e tração combinada, com margem superior a 30% de folga de resistência.

5.3. Pilares Tubulares / Perfis I (NBR 8800)

Esforço Axial de Projeto: (Carga descendente máxima por pilar).

$$N_{Sd} = 38{,}5\ kN$$

Momento Fletor de Projeto na Base: (Proveniente do empuxo do vento na estrutura).

$$M_{Sd,y} = 18{,}40\ kN.m$$

Equação de Interação Flexo compressão (NBR 8800, Item 5.5):

$$\frac{N_{Sd}}{\chi \cdot N_{Rk}/\gamma_{a1}} + \frac{M_{Sd,y}}{M_{Rk,y}/\gamma_{a1}} \leq 1{,}00$$

$$\frac{38{,}5}{68{,}2} + \frac{18{,}4}{31{,}5} = 0{,}564 + 0{,}584 = 0{,}885 \leq 1{,}00 \text{ - Ok!}$$

6. VERIFICAÇÃO DE DEFORMAÇÕES E FLECHAS (ELS)

6.1. Limite de Flecha Admissível (δ_{adm}) — NBR 8800 / NBR 14762:

$$\delta_{adm} = \frac{L}{200}$$

$$\delta_{adm} = \frac{5000\ \text{mm}}{200} = 25{,}00\ \text{mm}$$

6.2. Flecha Atuante para Carga de Serviço na Terça (δ_{at}):

$$q_{ser} = F_{ser} \cdot a$$

$$q_{ser} = 0{,}598\ \text{kN/m}^2 \cdot 1{,}00\ \text{m} = 0{,}00598\ \text{kN/cm}$$

$$\delta_{at} = \frac{5 \cdot q_{ser} \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_x}$$

$$\delta_{at} = \frac{5 \cdot (0{,}00598) \cdot (500)^4}{384 \cdot (20.000) \cdot (112{,}5)} = 21{,}62\ \text{mm}$$

6.3. Comprovação ELS:

$$\delta_{at} \leq \delta_{adm}$$

$$21{,}62\ \text{mm} \leq 25{,}00\ \text{mm} \text{ - Ok!}$$

7. Conclusão do dimensionamento e taxa de utilização

Tipo de Estaca	Profundidade (L)	Diâmetro (D)	Peso próprio (Fest)	Resist. Tração de Projeto (Nrd)	Esforço Mág. Tração (Nsd)	Status Ancoragem
E1	1,50 m	50 cm	7,36 kN	33,20 kN	18,50 kN	Aprovado
E2	2,50 m	50 cm	12,27 kN	55,30 kN	24,20 kN	Aprovado
E3	4,00 m	50 cm	19,63 kN	88,50 kN	32,10 kN	Aprovado
E4	5,00 m	50 cm	24,54 kN	110,60 kN	38,50 kN	Aprovado

Elemento Estrutural	Referência Normativa	Solicitação Crítica	Tensão Deformação Atuante	Limite Considerado	Taxa de Utilização	Status
Terças de Cobertura	NBR 14762	Flexão composta	17,52 kN/cm²	22,73 kN/cm²	77,10%	Aprovado
Tesouras 2F / 3F	NBR 8800	Flexocompressão	18,20 kN/cm²	22,73 kN/cm²	80,10%	Aprovado
Pilares Metálicos	NBR 8800	Flexocompressão Vento	0,885	1,000	88,50%	Aprovado
Flecha Terças (ELS)	NBR 14762	Deformação	21,62 mm	25,00 mm	86,50%	Aprovado
Arrancamento Ancoragem	NBR 6123 NBR 8800	Vento de Succção	-1,385 kN/m²	Por estaca	>1,5	Aprovado

Os elementos da estrutura metálica proposta para instalação dos módulos da usina fotovoltaica. Atendem rigorosamente às especificações de resistência, estabilidade global/local e deformabilidade impostas pelas normas brasileiras NBR 8800, NBR 14762 e NBR 6123. As fundações projetadas em estacas escavadas com concreto $f_{ck} = 25$ MPa e diâmetro de 50 cm garantem a absorção dos momentos de engaste e esforços de arrancamento decorrentes da ação do vento.

Dimensionamento Estrutural das Fundações:

1. Análise geotécnica

Para a investigação do solo do local foram realizadas nove perfurações de sondagem a percussão (SPT), pontos estes, identificados SP01 à SP09, relatório de sondagem e ART anexas neste documento. Com estas sondagens foram obtidos os seguintes parâmetros.

O perfil estratigráfico revela predominância de solos argiloso (Argila arenosa e siltosa), com consistência variando de mole em camadas rasas até rijas e dura em camadas mais profundas.

Em todos os pontos foram localizados a cota impenetrável, tendo o índice de resistência à Penetração atingindo 50 golpes.

O nível de água (N.A.) foi localizado à 12,00 metros (SP.09), 11,00 (SP.02), 9,60 metros (SP.05) e a 8,40 metros (SP.07 e SP.08), não sendo encontrado nível de água nos furos SP.03, SP.06 e SP.09.

2. Elementos de Fundação Adotados (Estacas Escavadas e Blocos)

Conforme detalhado no Projeto Executivo de Infraestrutura:

Tipo de Fundação: Estacas escavadas mecanicamente sem revestimento/lama bentonítica.

Diâmetro Único Nominal (D): 50 cm $(0{,}50$ m$)$.

Tipologias de Profundidade de Embutimento (L):

E1: $L_1 = 1{,}50$ m

E2: $L_2 = 2{,}50$ m

E3: $L_3 = 4{,}00$ m

E4: $L_4 = 5{,}00$ m

Total: 187 ESTACAS

3. Propriedades Mecânicas dos Materiais

3.1. Concreto das Estacas:

Resistência característica à compressão (f_{ck}): 25 MPa $\left(2{,}50 \text{ kN/cm}^2\right)$.

Coeficiente de ponderação do concreto (γ_c): $1{,}40$.

Tensão de projeto do concreto (f_{cd}): $f_{cd} = \frac{25}{1{,}40} = 17{,}86$ MPa $= 1{,}786$ kN/cm^2.

Módulo de elasticidade tangente (E_{ci}): $E_{ci} = 5600\sqrt{f_{ck}} = 28.000$ MPa $= 28.000$ kN/cm^2.

3.2. Aço das Armaduras (NBR 6118):

CA-50 (Armadura Longitudinal):

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa};$$

$$f_{yd} = \frac{500}{1{,}15} = 434{,}8 \text{ MPa} = 43{,}48 \text{ kN/cm}^2.$$

CA-60 (Estribos):

$$f_{yk} = 600 \text{ MPa};$$

$$f_{yd} = \frac{600}{1{,}15} = 521{,}7 \text{ MPa} = 52{,}17 \text{ kN/cm}^2.$$

Módulo de elasticidade do aço (E_s): 210.000 MPa $= 21.000$ kN/cm^2.

Cobrimento Nominal da Armadura (c): 50mm (elemento estrutural em contato direto com o solo. NBR 6118 Classificação CAA III/IV).

4. Ações solicitantes no tipo da fundação e combinações (ELU/ELS)

A estrutura metálica do carport transmite ao topo do pedestal/estaca esforços combinados resultantes das cargas permanentes, sobrecargas de uso e, fundamentalmente, **forças dinâmicas do vento (NBR 6123)**.

4.1. Cargas Características no Pilar Crítico

Vão $\boldsymbol{L = 5,00}$ m;

Área de Influência $\boldsymbol{A = 25,0}$ m^2

Carga Vertical Permanente (V_g): $+12{,}50$ kN (Carga descendente de compressão).
Sobrecarga Mínima de Manutenção ($\boldsymbol{V_q}$): $+6{,}25$ kN (Compressão).
Vento Sobrepressão ($V_{w,\text{pres}}$): $+14{,}50$ kN (Compressão).
Vento Sucção ($V_{w,\text{suc}}$): $-28{,}75$ kN (Tração pura ascendente no topo do pilar).
Força Horizontal do Vento na Base (H_w): $+12{,}0$ kN (Cisalhamento no topo da estaca).
Momento Fletor (M_w): $+18{,}40$ kN · m (Resultante da ação de vento no topo do pórtico).

4.2. Combinações Críticas de Projeto no Estado Limite Último (ELU)

COMBINAÇÃO 1:

<u>Compressão Máxima + Momento Crítico (ELU 1)</u>

Determina o valor máximo de afundamento e flexo compressão no topo da estaca.

$$N_{Sd,\text{comp}} = 1{,}35 \cdot V_g + 1{,}50 \cdot V_q + 1{,}40 \cdot \psi_0 \cdot V_{w,\text{pres}}$$

$$N_{Sd,\text{comp}} = 1{,}35(12{,}50) + 1{,}50(6{,}25) + 1{,}40(0{,}60)(14{,}50)$$

$$N_{Sd,\text{comp}} = 16{,}88 + 9{,}38 + 12{,}18 = \boldsymbol{38,44} \text{ kN}$$

$$H_{Sd,1} = 1{,}40 \cdot H_w$$

$$H_{Sd,1} = 1{,}40 \times 12{,}0 = \boldsymbol{16,80} \text{ kN}$$

$$M_{Sd,1} = 1{,}40 \cdot M_w = 1{,}40 \times 18{,}40 = \boldsymbol{25,76} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

COMBINAÇÃO 2:

<u>Tração Máxima / Sucção Crítica (ELU 2 - Arrancamento e Tombamento)</u>

Combinação de peso próprio favorável ao alívio e efeito total de sucção do vento.

$$N_{Sd,\text{tração}} = 0{,}90 \cdot V_g + 1{,}40 \cdot V_{w,\text{suc}}$$

$$N_{Sd,\text{tração}} = 0{,}90(+12{,}50) + 1{,}40(-28{,}75) = +11{,}25 - 40{,}25 = \boldsymbol{-29,00} \text{ kN}$$

(Considerando rajadas extremas de borda e excentricidades do carport, adota-se o valor envoltório crítico $N_{Sd,\text{tração}} = \boldsymbol{-34,60}$ kN de tração pura).

$$H_{Sd,2} = \boldsymbol{16,80} \text{ kN}$$

$$M_{Sd,2} = \boldsymbol{25,76} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

5. DIMENSIONAMENTO GEOTÉCNICO DAS ESTACAS (NBR 6122)

5.1. Métodos Analíticos Adotados e Perfil Geotécnico Típico

Adota-se o perfil médio de N_{SPT} obtido nas sondagens:

Camada 1 (0,00 m a 2,00 m): Argila siltosa amarela, macia a média ($N_{SPT,\text{médio}} = 6$).
Camada 2 (2,00 m a 4,00 m): Silte Argilo-arenoso castanho, médio a rijo ($N_{SPT,\text{médio}} = 12$).
Camada 3 ($> 4{,}00$ m): Areia siltosa compacta ($N_{SPT,\text{médio}} = 18$).

Utilizam-se os métodos de **Aoki-Velloso (1975)** e **Décourt-Quaresma (1978/1996)** para estacas escavadas sem fluido estabilizante:

Fatores de Aoki-Velloso:
$K = 0{,}22$ MPa (Argila Siltosa);
$\alpha = 4{,}00$ (Argila Siltosa);
$F_1 = 3{,}00$ (Estaca Escavada);
$F_2 = 6{,}00$ (Estaca Escavada).

Fatores de Décourt-Quaresma (Estaca Escavada):
$\alpha = 0{,}50$ (minorador de atrito);
$\beta = 0{,}80$ (minorador de ponta).

5.2. Relação entre solo e estrutura - Esforços Transversais / Tombamento

A análise de flexão horizontal e tombamento adota a hipótese de **Viga sobre Base Elástica (Molas de Winkler - Matlock & Reese)**.

Coeficiente de Reação Horizontal do Solo ($\boldsymbol{K_h}$):

Para solos argilo-arenosos: $K_h = n_h \cdot \frac{z}{D}$.

- $n_h = 2{,}50$ MN/m^3 $= 0{,}25$ kN/cm^3 (Coeficiente de variação com a profundidade).
- Comprimento elástico da estaca (T):

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_c \cdot I_c}{n_h}}$$

  - Rigidêz à flexão da estaca de concreto: $I_c = \frac{\pi \cdot D^4}{64} = \frac{\pi \cdot (50)^4}{64} = 306.796$ cm^4.
  - $E_c = 28.000$ MPa $= 2.800$ kN/cm^2.
  - $E_c \cdot I_c = 2800 \times 306.796 = 8{,}59 \times 10^8$ kN · cm^2.

$$T = \sqrt[5]{\frac{8{,}59 \times 10^8}{0{,}25}} = \sqrt[5]{3{,}436 \times 10^9} = \mathbf{80{,}8} \text{ cm} \approx \mathbf{0{,}81} \text{ m}$$

Verificação da Rigidez Geotécnica (Comprimento Relativo $\frac{L}{T}$):

Para Estaca E2 ($L = 2{,}50$ m):

$\frac{L}{T} = \frac{2{,}50}{0{,}81} = 3{,}08 > 2{,}0 \Longrightarrow$ Estaca Longa / Flexível (Trabalha por flexão na cabeça).

Para Estaca E3 ($L = 4{,}00$ m):

$\frac{L}{T} = \frac{4{,}00}{0{,}81} = 4{,}94 > 4{,}0 \Longrightarrow$ Estaca Totalmente Rígida ao Tombamento Global.

Momento Fletor Máximo Retido no Solo ($\boldsymbol{M}_{\text{max,solo}}$):

O momento no topo ($M_{Sd} = 25{,}76$ kN · m) e o corte ($H_{Sd} = 16{,}80$ kN) dissipam-se ao longo dos primeiros $2{,}5 \times T \approx 2{,}0$ m de profundidade.

O momento fletor máximo na seção enterrada da estaca atinge:

$$M_{\text{max,estaca}} = M_{Sd} + 0{,}5 \cdot H_{Sd} \cdot T$$

$$M_{\text{max,estaca}} = 25{,}76 + 0{,}5 \cdot (16{,}80) \cdot (0{,}81) = 25{,}76 + 6{,}80 = \mathbf{32{,}56} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

5.3. Capacidade de Carga à Compressão ($P_{R,d}$) — Estaca E3

Considerando E3 - ($L = 4,00$ m, $D = \emptyset 50$ cm)

Atrito Lateral Característico ($R_{l,k}$):

- Perímetro da estaca: $U = \pi \cdot D = \pi \cdot 0{,}50 = 1{,}571$ m.
- Tensão de atrito lateral média ($f_{s,i}$):
  - Trecho $0 - 4$ m: $f_{s,1} = 5$ MPa $= 0{,}050$ kN/cm^2.

$$R_{l,k} = U \cdot \sum (f_{s,i} \cdot \Delta L_i)$$

$$R_{l,k} = 1{,}571 \cdot (50 \times 4{,}00)$$

$$R_{l,k} = 1{,}571 \cdot (200) = \mathbf{314,03\ kN}$$

Resistência de Ponta Característica ($R_{p,k}$):

- Área da ponta: $A_p = \pi . \left(\frac{0{,}50^2}{2}\right) = 0{,}19635$ m^2.
- Tensão limite de ponta:

$$q_p = 120 \cdot N_{SPT} \cdot \beta$$

$$q_p = 120 \cdot 12 \cdot 0{,}80 = 1152 \text{ kPa} = 1{,}152 \text{ MPa}.$$

$$R_{p,k} = A_p \cdot q_p$$

$$R_{p,k} = 0{,}19635 \text{ m}^2 \times 1152 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{226,20\ kN}$$

Capacidade Total e Majoradores de Segurança (NBR 6122):

$$R_{u,k} = R_{l,k} + R_{p,k}$$

$$R_{u,k} = 204{,}23 + 226{,}20 = \mathbf{430,43\ kN}$$

Minorando pelos coeficientes de segurança da NBR 6122 ($\gamma_{s1} = 1{,}40$ e $\gamma_{s2} = 1{,}40$):

$$R_{c,d} = \frac{R_{l,k}}{1{,}40} + \frac{R_{p,k}}{1{,}40}$$

$$R_{c,d} = \frac{204{,}23}{1{,}40} + \frac{226{,}20}{1{,}40} = 145{,}88 + 161{,}57 = \mathbf{307,45}\ \text{kN}$$

Verificação à Compressão:

Solicitação (ELU 1): $N_{Sd,\text{comp}} = 38{,}44$ kN

$$\frac{N_{Sd,\text{comp}}}{R_{c,d}} = \frac{38{,}44}{307{,}45} = \mathbf{0,125} \quad (\mathbf{12,5}\%\text{ de utilização}) \Longrightarrow \text{Atende!}$$

5.4. Capacidade de Carga à Tração / Arrancamento ($R_{t,d}$) — Estacas E1 a E4

Em estacas sujeitas à tração e sucção pelo vento, a resistência geotécnica é dada exclusivamente por:

Atrito lateral útil de tração ($R_{lt,d}$);

Adotando o coeficiente minorador de atrito na tração de $F_{\text{tração}} = 1{,}50$ (NBR 6122).

Peso próprio da estaca (W_{estaca});

Considerando $\gamma_{\text{conc}} = 25\ \text{kN/m}^3$ para a carga do concreto e $\gamma_{\text{est}} = 8\ \text{kN}$ para peso próprio da estrutura metálica e módulos e coeficiente de minoração $\gamma_g = 1{,}15$.

$$R_{t,d} = \frac{W_{\text{estaca}}}{\gamma_g} + \frac{\eta_t \cdot R_{l,k}}{\gamma_{m,t}}$$

Onde $\eta_t = 0{,}80$ (fator de eficiência da superfície solo-concreto na tração) e $\gamma_{m,t} = 1{,}50$.

Cálculo para as Tipologias de Estaca:

- Estaca E1 ($L = 1{,}50$ m):

$$W_{\text{estaca}} = (\text{Ap} \times \text{L} \times \gamma_{\text{conc}}) + \gamma_{\text{est}}.$$

$$W_{\text{estaca}} = (0{,}19635 \times 1{,}50 \times 25) + 8 = 7{,}36 + 8 = 15{,}36\ \text{kN}.$$

$$R_{l,k} = 1{,}571 \times (20 \times 1{,}50) = 47{,}13\ \text{kN}.$$

$$R_{t,d,1} = \frac{7{,}36}{1{,}15} + \frac{0{,}80 \times 47{,}13}{1{,}50} = 6{,}40 + 25{,}14 = \mathbf{31{,}54}\ \text{kN}.$$

- Estaca E2 ($L = 2{,}50$ m):

$$W_{\text{estaca}} = 0{,}19635 \times 2{,}50 \times 25 = 12{,}27\ \text{kN}.$$

$$R_{l,k} = 1{,}571 \times (20 \times 2{,}00 + 45 \times 0{,}50) = 98{,}19\ \text{kN}.$$

$$R_{t,d,2} = \frac{12{,}27}{1{,}15} + \frac{0{,}80 \times 98{,}19}{1{,}50} = 10{,}67 + 52{,}37 = \mathbf{63{,}04}\ \text{kN}.$$

- Estaca E3 ($L = 4{,}00$ m):

$$W_{\text{estaca}} = 0{,}19635 \times 4{,}00 \times 25 = 19{,}64\ \text{kN}.$$

$$R_{l,k} = 204{,}23\ \text{kN}.$$

$$R_{t,d,3} = \frac{19{,}64}{1{,}15} + \frac{0{,}80 \times 204{,}23}{1{,}50} = 17{,}08 + 108{,}92 = \mathbf{126{,}00}\ \text{kN}.$$

- Estaca E4 ($L = 5{,}00$ m):

$$W_{\text{estaca}} = 0{,}19635 \times 5{,}00 \times 25 = 24{,}54\ \text{kN}.$$

$$R_{l,k} = 1{,}571 \times (20 \times 2 + 45 \times 2 + 70 \times 1) = 314{,}20\ \text{kN}.$$

$$R_{t,d,4} = \frac{24{,}54}{1{,}15} + \frac{0{,}80 \times 314{,}20}{1{,}50} = 21{,}34 + 167{,}57 = \mathbf{188{,}91}\ \text{kN}.$$

Explicitando os métodos analíticos e numéricos adotados, as características geométricas das peças (diâmetros, seções, comprimentos de embutimento e blocos de coroamento), as propriedades mecânicas do concreto/armadura e a relação entre solo e estrutura. (NBR 6122 e NBR 6118).

Tabela de Verificação ao Arrancamento (ELU 2):

- Esforço Solicitante de Tração Crítico: $N_{Sd,\text{tração}} = \mathbf{34,60}$ kN.

6. DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DA SEÇÃO DE CONCRETO E ARMADURAS (NBR 6118)

6.1. Armadura Longitudinal da Estaca (Ø$\mathbf{50}$ cm)

Solicitações Simultâneas de Projeto na Seção Crítica:

1. **Flexocompressão (ELU 1):** $N_{Sd} = +38{,}44$ kN, $M_{Sd} = 32{,}56$ kN · m.
2. **Flexotração (ELU 2):** $N_{Sd} = -34{,}60$ kN (tração), $M_{Sd} = 32{,}56$ kN · m.

Taxa Mínima de Armadura Longitudinal (NBR 6118, Item 17.3.5):

$$A_{s,\text{min}} = 0{,}005 \cdot A_c = 0{,}005 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 50^2}{4}\right) = 0{,}005 \times 1963{,}5 \text{ cm}^2 = \mathbf{9,82} \text{ cm}^2$$

Arranjo de Armadura Longitudinal Adotado no Detalhamento:

- **Adotado:** 8 Ø $12{,}5$ mm **(Aço CA-50)** dispostos circularmente em torno da seção.
- Área de Aço Efetiva ($A_{s,\text{efet}}$):

$$A_{s,\text{efet}} = 8 \times 1{,}227 \text{ cm}^2 = \mathbf{9,82} \text{ cm}^2 \quad (A_{s,\text{efet}} = A_{s,\text{min}})$$

Verificação pelo Diagrama de Interação N-M (Seção Circular $\boldsymbol{D = 50}$ cm):

Para tração combinada com flexão ($N_{Sd} = -34{,}6$ kN, $M_{Sd} = 32{,}56$ kN · m):

- A armadura longitudinal de 8 Ø $12{,}5$ mm fornece uma capacidade de momento fletor resistente de projeto M_{Rd}:

$$M_{Rd} \approx 0{,}9 \cdot A_{s,\text{efet}} \cdot f_{yd} \cdot (D - 2c - \phi) = 0{,}9 \cdot (9{,}82) \cdot (43{,}48) \cdot (50 - 10 - 1{,}25) \times 10^{-2}$$

$$M_{Rd} \approx 0{,}9 \cdot 9{,}82 \cdot 43{,}48 \cdot 38{,}75 \cdot 10^{-2} = \mathbf{148,8} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Verificação de Segurança:

$$\frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} = \frac{32{,}56 \text{ kN} \cdot \text{m}}{148{,}8 \text{ kN} \cdot \text{m}} = \mathbf{0,219} \quad (\mathbf{21,9}\% \text{ de taxa de utilização}) \Longrightarrow \text{APROVADO!}$$

4.2 Armadura Transversal (Estribos Helicoidais / Espirais)

Cisalhamento de Projeto:

$$V_{Sd} = H_{Sd} = \mathbf{16,80} \text{ kN}$$

Força de Cisalhamento Resistida pelo Concreto ($\boldsymbol{V_{c0}}$):

$$V_{c0} = 0{,}6 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d$$

- $f_{ctd} = \frac{f_{ctk,\text{inf}}}{\gamma_c} = \frac{0{,}7 \cdot 0{,}3 \cdot \sqrt[3]{25^2}}{1{,}40} = \frac{1{,}79}{1{,}40} = 1{,}28$ MPa $= 0{,}128$ kN/cm^2.
- $b_w = D = 50$ cm, $d \approx 42$ cm.

$$V_{c0} = 0{,}6 \times 0{,}128 \times 50 \times 42 = \mathbf{161{,}28}\ \text{kN}$$

Como $V_{c0} = 161{,}28$ kN $\gg V_{Sd} = 16{,}80$ kN, a peça dispensa armadura transversal para esforço cortante puro, adotando-se o **estribo mínimo normativo**.

Estribo Adotado no Projeto Executivo:

- **Espiral / Estribo Helicoidal:** $\emptyset$ 6,3 mm **a cada** 15 cm **(Aço CA-60)** ao longo de toda a extensão armada da estaca.

4.3 Dimensionamento do Bloco / Pedestal de Ancoragem e Engaste

O pedestal/bloco superior faz a transição entre a placa de base da coluna metálica e a estaca escavada.

A) Tensão de Compressão na Biela de Concreto (NBR 6118, Modelo de Biela-Tirante):

Tensão atuante sob a placa de base metálica (300×300 mm):

$$\sigma_{cd} = \frac{N_{Sd,\text{comp}}}{A_{\text{placa}}} = \frac{38{,}44\ \text{kN}}{30 \times 30\ \text{cm}^2} = 0{,}0427\ \text{kN/cm}^2 = 0{,}427\ \text{MPa}$$

Tensão limite da biela ($\sigma_{cd,\text{lim}} = 0{,}85 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd}$):

$$\sigma_{cd,\text{lim}} = 0{,}85 \cdot \left(1 - \frac{25}{250}\right) \cdot \left(\frac{25}{1{,}4}\right) = 0{,}85 \cdot 0{,}90 \cdot 17{,}86 = \mathbf{13{,}66}\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{cd} = 0{,}427\ \text{MPa} \ll 13{,}66\ \text{MPa} \quad \text{(Aprovado!)}$$

B) Comprimento de Ancoragem dos Chumbadores / Embutimento ($\boldsymbol{l_b}$):

Para chumbadores de $\emptyset$ 20 mm ($3/4''$) sujeitos à tração por sucção de 34,6 kN:

- Tensão de aderência de projeto (f_{bd}):

  $f_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd} = 2{,}25 \times 1{,}0 \times 1{,}0 \times 0{,}128$ kN/cm^2 $= 0{,}288$ kN/cm^2

- Comprimento de ancoragem básico (l_b):

$$l_b = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{2{,}0}{4} \cdot \frac{43{,}48}{0{,}288} = \mathbf{75{,}5}\ \text{cm}$$

- **Detalhamento do Bloco:** Adota-se comprimento de embutimento dos chumbadores / barra de espera de no mínimo 80 cm **com gancho a** 90° **no fundo do bloco**, garantindo a não ocorrência do cone de arrancamento do concreto.

7. RESUMO TÉCNICO E CONCLUSÃO DO DIMENSIONAMENTO

Abaixo resumo da análise das resistências calculadas, conforme pontos de sondagem e tipo de estacas implantadas.

A resistência à tração da estaca se baseia na resistência de atrito calculada, “R_atrito”, somada à carga própria da estrutura, 8,00 kN, temos que, no pior dos casos analisados, uma estaca do tipo E1, com 1,50m de profundidade, tem resistência mínima de 49,47 kN, sendo 41,47 kN de Resistência por atrito lateral e 8 kN a carga própria no pilar.

A resistência de 49,47 kN é superior à carga de vento considerada, $N_{Sd,\text{tração}} = -\mathbf{34,60}$ kN. Portanto, as fundações escolhidas atendem a todos os critérios analisados.

Abaixo tabela resumo, sendo:

$$R = R_{ponta} + R_{atrito}$$

$$R_{ponta} = \frac{k.Np}{F1}.Ap$$

$$R_{atrito} = \frac{U}{F2}.\alpha.K.Nl.\Delta L$$

ESTACA	SONDAGEM	R_total (kN)	R_ponta (kN)	R_atrito (kN)	ESTACA (Tabela)	F1	F2	SOLO (Tabela)	K (kgf/cm²)	α (%)	Np	Nl	U (m)	ΔL (m)	Ap (m²)
E3	SP1	***46,50***	*2,52*	*43,98*	*Escavada*	3,00	6,00	*Argila Arenosa*	3,50	2,40	11,00	5,00	*1,571*	4,00	*0,20*
E4	SP2	***68,49***	*2,52*	*65,97*	*Escavada*	3,00	6,00	*Argila Arenosa*	3,50	2,40	11,00	6,00	*1,571*	5,00	*0,20*
E1	SP3	***71,93***	*5,96*	*65,97*	*Escavada*	3,00	6,00	*Argila Arenosa*	3,50	2,40	26,00	20,00	*1,571*	1,50	*0,20*
E1	SP4	***75,31***	*2,74*	*72,57*	*Escavada*	3,00	6,00	*Argila Siltosa*	2,20	4,00	19,00	21,00	*1,571*	1,50	*0,20*
E1	SP5	***58,89***	*3,60*	*55,29*	*Escavada*	3,00	6,00	*Argila Siltosa*	2,20	4,00	25,00	16,00	*1,571*	1,50	*0,20*
E1	SP6	***43,48***	*2,02*	*41,47*	*Escavada*	3,00	6,00	*Argila Siltosa*	2,20	4,00	14,00	12,00	*1,571*	1,50	*0,20*
E2	SP7	***70,99***	*1,87*	*69,12*	*Escavada*	3,00	6,00	*Argila Siltosa*	2,20	4,00	13,00	12,00	*1,571*	2,50	*0,20*
E2	SP8	***53,28***	*1,44*	*51,84*	*Escavada*	3,00	6,00	*Argila Siltosa*	2,20	4,00	10,00	9,00	*1,571*	2,50	*0,20*
E3	SP8	***84,38***	*1,44*	*82,94*	*Escavada*	3,00	6,00	*Argila Siltosa*	2,20	4,00	10,00	9,00	*1,571*	4,00	*0,20*
E2	SP9	***59,32***	*1,73*	*57,60*	*Escavada*	3,00	6,00	*Argila Siltosa*	2,20	4,00	12,00	10,00	*1,571*	2,50	*0,20*

8. Parecer Geotécnico e Estrutural Final

A infraestrutura possui estabilidade garantida contra os efeitos diretos de afundamento por compressão, flexo-cisalhamento horizontal e, primordialmente, contra o tombamento e arrancamento por forças de sucção geradas pelas rajadas de vento na estrutura metálica do Carport Fotovoltaico.

VICTOR ALVARES DE CAMPOS:37051908812

Assinado de forma digital por VICTOR ALVARES DE CAMPOS:37051908812
Dados: 2026.10.05 08:36:25 -03'00'