



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO *OFF-GRID* PARA
ESCRITÓRIO MÓVEL**

LAÍS RAYNNE PINHEIRO LINS

FORTALEZA

2018

LAÍS RAYNNE PINHEIRO LINS

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO *OFF-GRID* PARA
ESCRITÓRIO MÓVEL**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do Grau de Engenheiro Mecânico.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Ana Fabíola Leite Almeida

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L731d Lins, Laís Rayne Pinheiro.

Dimensionamento de sistema fotovoltaico off-grid para escritório móvel / Laís Rayne Pinheiro Lins. – 2018.

66 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Arquitetura e Urbanismo, Fortaleza, 2018.

Orientação: Profa. Dra. Ana Fabíola Leite Almeida.

1. Escritório móvel. 2. Container. 3. Dimensionamento. 4. Sistema fotovoltaico off-grid. I. Título.

CDD 720

DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO *OFF-GRID* PARA ESCRITÓRIO MÓVEL

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do Grau de Engenheiro Mecânico.

Aprovada em: ___/___/_____

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª.Dr^ª. Ana Fabíola Leite Almeida (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Nildson de Alencar Bezerra
Universidade Federal do Ceará (UFC)

E eu vos direi: "Amai para entendê-las!"

*Pois só quem ama pode ter ouvido
Capaz de ouvir e de entender estrelas.*

Olavo Bilac

*Dedico este trabalho aos meus pais, Edilberto Alves e Lenita Lins,
e a meus irmãos Ancelmo, Renata e Edilberto.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por me abençoar com inúmeras oportunidades.

À minha mãe, Lenita Lins, por todo amor, perseverança e dedicação que me proporcionaram as condições necessárias alcançar meus objetivos. Essa vitória é sua.

Ao meu pai, Edilberto Alves, *in memoriam*.

Aos meus irmãos, Ancelmo Lins, Renata Lins e Edilberto Lins, obrigado por sempre estarem ao meu lado me fazendo uma pessoa feliz e grata.

À minha tia, Claudia Carvalho, por ser uma pessoa tão incrível, que nunca mediu esforços para me incentivar, sendo um exemplo de força e coragem.

Ao meu tio, Arnaldo Lins, por todo esforço para me fazer chegar até aqui, mesmo com todas as dificuldades.

À minha tia, Erilmária Pinheiro, por cuidar tão bem de mim, quando tudo estava difícil, você foi um abraço que me incentivou a continuar.

Aos meus tios, Liduina Amorim e João Amorim, pelo acolhimento e sempre me ouvirem com respeito e carinho.

Agradeço aos meus tios, Sueli Lins, Ronaldo Lins, Francisco Lins, por todo suporte para que eu pudesse dar continuidade em minha caminhada.

Ao meu supervisor de estágio na Enel X, Nildson de Alencar Bezerra, por todo incentivo, apoio e colaboração neste trabalho, e por todos os aprendizados e oportunidades que me proporcionou, além da amizade, respeito e lanches.

À Prof.^a Dr.^a Ana Fabíola Leite Almeida, que me orientou na execução deste trabalho com paciência e empenho.

Aos professores participantes da banca examinadora: Ana Fabíola Leite Almeida, Francisco Nivaldo Aguiar Freire e Nildson de Alencar Bezerra pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Agradeço a todos os meus professores, em especial para meu grande amigo e influenciador de sempre, Robson Cavalcante, você mudou meu jeito de ver a vida, e para Washington Barros que me fez querer fazer engenharia.

Ao meu amigo-irmão, Pedro Noronha, por sempre se fazer perto, mesmo longe.

Ao meu amigo Phellype Rerison, por todo seu altruísmo, paciência e companheirismo que me ajudaram a chegar até aqui.

Aos amigos da faculdade, Paolla Paim, Renato de Paula, Italo Angelim, Anderson Germano, Vinicius Ferreira, Caio Maciel, Arthur Vieira, pelo carinho, sinceridade e pelas dificuldades e noites viradas que superamos juntos.

Aos amigos da Enel X, Stênio Rodrigues, Jack Vanier, Raisa Bruno, Washington Perez, Carlos Raphael, Sandro Magalhães, Celso Mizerani, Karine Ribeiro, David Pessoa, por todo apoio, compreensão e alegria.

RESUMO

Diante da acirrada concorrência no segmento de execução de serviços de infraestrutura, sejam obras civis, elétricas ou eletromecânicas, as empresas necessitam diminuir os custos operacionais, otimizar o aproveitamento de recursos e encurtar prazos para assim apresentarem orçamentos mais enxutos, resultando em uma proposta com preço final competitivo. Operando nesses aspectos, apresenta-se a utilização de escritórios móveis, reutilizáveis, sustentáveis e independentes do sistema elétrico capazes de fornecer apoio para canteiro de obras em locais de difícil acesso. Esses escritórios móveis utilizam *containers* marítimos como materiais alternativos para construção de escritórios que até então eram de alvenaria, proporcionando assim uma redução no tempo de mobilização das obras oferecendo as condições necessárias para início das atividades, tais como: iluminação adequada, conforto térmico e instalações de rede de comunicação, contando com sistema fotovoltaico *off-grid* gerando energia para consumo e armazenamento em baterias. Convencionalmente, os escritórios utilizam para fornecimento de energia as redes externas da concessionária local, porém em regiões isoladas essa conexão muitas vezes não é possível em tempo hábil, logo, como alternativas disponíveis estão os geradores a diesel e os sistemas de geração de energia solar fotovoltaica. Neste contexto, este trabalho compara os custos totais para implementação das alternativas de fornecimento de energia, mostrando que a utilização de sistemas fotovoltaicos sendo além de uma alternativa sustentável, é economicamente viável.

Palavra Chave: Escritório móvel. *Container*. Dimensionamento. Sistema fotovoltaico *off-grid*.

ABSTRACT

Facing the fierce competition in the infrastructure services execution segment, whether civil, electrical or electromechanical works, companies need to reduce operating costs, optimize resource utilization and shorten deadlines to present lean budgets resulting in a proposal with final price competitive. Operating in these aspects is the use of mobile offices, reusable, sustainable and independent of the electrical system capable of providing support for construction sites in hard-to-reach places. These mobile offices use marine *containers* as alternative materials for building offices that until then were masonry, thus providing a reduction in the time of mobilization of the works, offering the necessary conditions to start activities, such as adequate lighting, thermal comfort and network of communication, counting on photovoltaic system off-grid generating energy for consumption and storage in batteries. Conventionally, the offices use the external networks of the local concessionaire as power supply, but in isolated regions this connection is often not possible in a timely manner, so diesel generators and solar photovoltaic systems are available as alternatives. In this context, this work compares the total costs for the implementation of energy supply alternatives, showing that the use of photovoltaic systems besides being a sustainable alternative is economically viable.

Keywords: Mobile office. *Container*. Dimensioning. Off-grid photovoltaic system.

LISTA DE SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AT	Alta tensão
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio Brito
FDI	Fator de Dimensionamento de Inversores
HSP	Horas de sol pico por dia
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VPL	Valor Presente Líquido

LISTA DE IMAGENS

Figura 1. Matriz energética (a) brasileira e (b) elétrica.

Figura 2. Estrutura de montagem de um módulo fotovoltaico.

Figura 3. Curva característica I-V, com definição de fator de forma.

Figura 4. Componentes do sistema *on-grid*.

Figura 5. Componentes do sistema *off-grid*.

Figura 6. Inversor.

Figura 7. Controlador de carga.

Figura 8. Detalhes bateria estacionária seladas.

Figura 9. Exemplo de perfis de radiação solar diária com valores equivalentes de HSP.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Horas de Sol Pleno em Fortaleza, CE.

Tabela 2. Levantamento de cargas dos equipamentos instalados no *container*.

Tabela 3. Especificação Técnica Controlador de carga.

Tabela 4. Especificação Técnica Inversor Victron Energy – Phoenix 48/5000.

Tabela 5. Especificação Técnica bateria Moura Clean.

Tabela 6. Especificações do Gerador.

Tabela 7. Cálculo da potência diária necessária com base no mês crítico em irradiação solar.

Tabela 8. Cálculo da geração total para o sistema fotovoltaico.

Tabela 9. *Payback* simples para o sistema fotovoltaico em comparação ao uso de geradores.

Tabela 10. Tarifa estimada e valor pago anualmente energia contratada.

Tabela 11. *Payback* simples para o sistema fotovoltaico em comparação à economia com contratação de energia.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	MOTIVAÇÃO	16
3	OBJETIVOS.....	17
3.1	Objetivo geral.....	17
3.2	Objetivos específicos	17
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
4.1	<i>Containers</i> Marítimos	18
4.2	Energia Solar no Brasil	19
4.3	Geração de Energia Solar Fotovoltaica.....	22
4.3.1	Módulo Fotovoltaico.....	23
4.3.2	Sistema Fotovoltaico	25
4.3.2.1	Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede.....	25
4.3.2.2	Sistemas Fotovoltaicos Isolados	26
4.3.3	Componentes dos Sistemas Fotovoltaicos Isolados	27
4.3.3.1	Inversor	27
4.3.3.2	Controlador de Carga	28
4.3.3.3	Bateria.....	29
4.3.3.4	Estrutura de fixação.....	29
5	METODOLOGIA.....	31
5.1	Avaliação do Recurso Solar	31
5.2	Localização	33
5.3	Levantamento da demanda e do Consumo Elétrico	33
5.4	Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico Isolado.....	34
5.5	Dimensionamento do Controlador de carga	35
5.6	Dimensionamento do Inversor.....	38
5.7	Dimensionamento do Banco de Baterias	39
5.8	Análise de Viabilidade Econômico-Financeira.....	41
5.8.1	Taxa Mínima de Atratividade Financeira	41
5.8.2	Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno	41
5.8.3	Análise dos custos do Sistema Fotovoltaico Isolado.....	42

5.8.4	Análise dos custos com sistema de unidade geradora a diesel.....	43
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
6.1	Resultados do Dimensionamento	44
6.2	Resultados da Análise de Viabilidade Econômica Financeira.....	45
7	CONCLUSÃO	51
7.1	Sugestão para trabalhos futuros	52
8	REFERÊNCIAS	53
9	ANEXOS	55
	Anexo 1. Desenhos.....	56
	Anexo 2. Lista de Materiais.....	63
	Anexo 3. Folha de dados do Módulo Fotovoltaico – Jinko.....	65

1 INTRODUÇÃO

A crescente evolução do mercado tem resultado em clientes mais exigentes e a busca constante por soluções eficientes, inovadoras e tecnológicas que obrigam as companhias a redefinirem e reorganizarem suas estratégias. Dessa forma, as empresas buscam novas alternativas na efetividade dos processos operacionais como ferramentas para permanecer no mercado ofertando os preços mais competitivos, por redução de gastos, mas oferecendo qualidade.

Visando diminuir os custos operacionais e encurtar prazos para início das obras opta-se por utilização de *containers* marítimos como unidade de apoio em canteiros de obras, sendo de fácil e rápida instalação *in loco* se comparados com construção de instalações similares que utilizam os materiais convencionais de alvenaria, que muitas vezes podem não se justificarem pela duração da obra, sendo demolidos ao final, gerando acúmulo de resíduos e entulhos.

A aplicação do *container* como opção de escritório em canteiros de obras é uma prática sustentável por sua reutilização, pois se trata de um descarte a menos na natureza. Aliada à sustentabilidade estão a agilidade e economia, pois eles demandam menos tempo na mobilização inicial do projeto e o reaproveitamento dos mesmos em obras seguintes.

Estes *containers* são fornecidos previamente adaptados para o uso corporativo, e até mesmo residencial, disponibilizados por diversas empresas que trabalham com locação dos mesmos. Aliando isso ao crescente interesse em energia solar fotovoltaica que vem se tornando competitiva como solução para geração distribuída, é proposta uma estrutura com suporte para placas solares e para armazenamento das baterias e demais equipamentos componentes do sistema, que encaixe diretamente na estrutura do *container*. Assim, o aluguel do *container* é uma opção viável visto que a logística de transporte e o espaço necessário para armazenamento do mesmo pode ser um empecilho para que as empresas adquiram o próprio.

2 MOTIVAÇÃO

O sistema estudado propõe uma alternativa mais sustentável e econômica para a alimentação de instalações de apoio utilizadas em obras. Geralmente os escritórios em canteiros de obras utilizam energia 220V ou 380V, monofásica ou trifásica, respectivamente, para alimentar seus sistemas de iluminação, tomada, refrigeração e aquecimento, entre outras. Logo, a possibilidade de fornecimento de energia depende da proximidade das obras à rede elétrica e da disponibilidade das equipes responsáveis pelo serviço de conexão e corte de ligações à rede, ficando assim a energização do canteiro das obras à mercê do planejamento das companhias Distribuidoras de Energia.

Caso a interligação demande mais tempo do que a empresa pode aguardar para o início das atividades, opta-se geralmente pelo uso de grupos geradores a diesel, opção essa de alto custo pois é necessário a locação dos mesmos (se a empresa não dispor de geradores próprios), manutenção e o custo do combustível utilizado. Os gastos associados a locação são compostos por uma taxa fixa determinada pelo período pretendido de utilização destes equipamentos, 12 ou 24 horas, informados no momento da locação.

Assim, a utilização de um sistema gerador de energia solar fotovoltaica encaixado à estrutura do *container* para suprimento da demanda energética do escritório, bem como um banco de baterias para armazenamento de energia e utilização em horários de produção abaixo do necessário, torna o *container* uma opção independente do sistema elétrico, flexível, adaptável, reutilizável e sustentável capaz de fornecer todo o apoio necessário para canteiro de obras em locais de difícil acesso.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Este estudo tem como objetivo geral realizar um estudo da viabilidade técnica e econômica para implantação de um sistema fotovoltaico de energia elétrica *off-grid* capaz de atender a demanda de consumo de um escritório de apoio para canteiros de obras em locais afastados da rede de fornecimento.

3.2 Objetivos específicos

Projetar um sistema fotovoltaico *off-grid* para um escritório móvel constituído de um *container* marítimo adaptado, desenvolvendo as seguintes atividades:

- Dimensionamento de um sistema de painéis solares que atenda a demanda requerida pelo *container*;
- Propor as estruturas para sustentação e transporte dos painéis solares;
- Analisar do ponto de vista financeiro a viabilidade dessa instalação em comparação aos métodos de alimentação alternativos que utilizando unidades geradoras de energia a diesel ou rede de distribuição convencional da concessionária.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 *Containers* Marítimos

O *container* é uma estrutura metálica robusta destinada a acondicionamento e transporte de materiais de diferentes procedências a longas distâncias por via marítima, terrestre ou ferroviária. Os *containers* possuem, de acordo com Goebel (1996), vida útil mínima de 8 anos e máxima de 12 anos, dependendo do seu uso original e do material de construção, uma vez que é um equipamento durável e de uso repetitivo. Para fins arquitetônicos, os *containers* passaram a ser reaproveitados para diversas funções como a estruturação de residências, lojas, escritórios, museus, dentre outros usos.

Segundo Occhi (2016), devido ao uso prolongado do *container* e dos materiais que o conformam, há risco de contaminação tanto por meio das cargas, quanto pelos materiais utilizados no tratamento de manutenção destas caixas metálicas, principalmente, o piso, que, por ser de madeira, recebe a aplicação de pesticidas para conservá-lo por mais tempo, devendo assim, ser completamente substituído. Logo, o *container* precisa passar por todo um processo de adequação para uso, após expirada sua vida útil, para que este possa ser adequado como acomodação. Metalica (2014) ressalta a importância de jatear o aço do *container* com um abrasivo e, posteriormente, repintar com tinta não tóxica para evitar a contaminações dos futuros habitantes.

Sócrates (2012) explana que o conjunto estrutural do *container* permite que o mesmo seja autoportante, uma vez que são resistentes, destinados originalmente a suportar cargas que exigem mais esforço do que uma residência típica.

Outras adaptações também se fazem necessárias para a utilização dos *containers* como a aplicação de isolamento térmico e acústico visto que o aço (Corten ou Galvanizado) utilizado na construção dos mesmos é um ótimo condutor térmico. Para tais finalidades, além da proteção antichamas, que podem ser utilizados materiais relativamente baratos e facilmente encontrados no mercado, a exemplo a lã de vidro ou lã de rocha, colocadas em forma de sanduíche entre a estrutura e as placas, ou mesmo o isopor, conforme indicado por Occhi (2016).

Assim, que apesar de apresentar alguns limitantes estruturais e funcionais, e das necessidades de tratamentos das superfícies, de uma maneira geral, os *containers* são uma alternativa muito viável para adaptação conforme necessidade, seja habitacional ou empresarial. Esses ajustes geralmente são previamente realizados pela empresa de venda e locação dos *containers*, bem como as esquadrias e outras adaptações das chapas de aço devem ser inseridas por mão de obra especializada no corte e solta da estrutura conforme solicitado pelo interessado, logo não se aplica a finalidade deste trabalho explicar detalhadamente cada um dos processos de adaptação, visto que o *container* é recebido já pronto para uso.

Aliada à sustentabilidade e flexibilidade, está a agilidade, pois estas estruturas proporcionam menos tempo na mobilização do projeto. É garantido também o reaproveitamento dos mesmos em obras seguintes. Há no mercado diversas empresas que trabalham com a locação de *containers* marítimos adaptados, visto que essas estruturas demandam um espaço considerável para ser estocado quando em não uso que alguns clientes podem não ter disponível. Os *containers* mais comumente utilizados são os da categoria Dry de 20 e 40 pés, que possuem as dimensões externas de largura e altura, 2,44 e 2,59 metros respectivamente, e comprimentos diferentes, com 6,06 metros de comprimento para o modelo de 20 pés e 12,92 metros para o modelo de 40 pés. Diante disto, a logística de locação dessas estruturas é bastante viável.

4.2 Energia Solar no Brasil

A eletricidade desempenha um papel fundamental no apoio dos padrões de vida modernos em todo o mundo, uma vez que a demanda energética de um país está diretamente relacionada com seu desenvolvimento. Porém, o aumento desta demanda aliado a possibilidade de redução da oferta de combustíveis convencionais e a crescente preocupação com a preservação do meio ambiente estão impulsionando a comunidade científica a desenvolver fontes alternativas de energia menos poluentes, renováveis e que produzam pouco impacto ambiental.

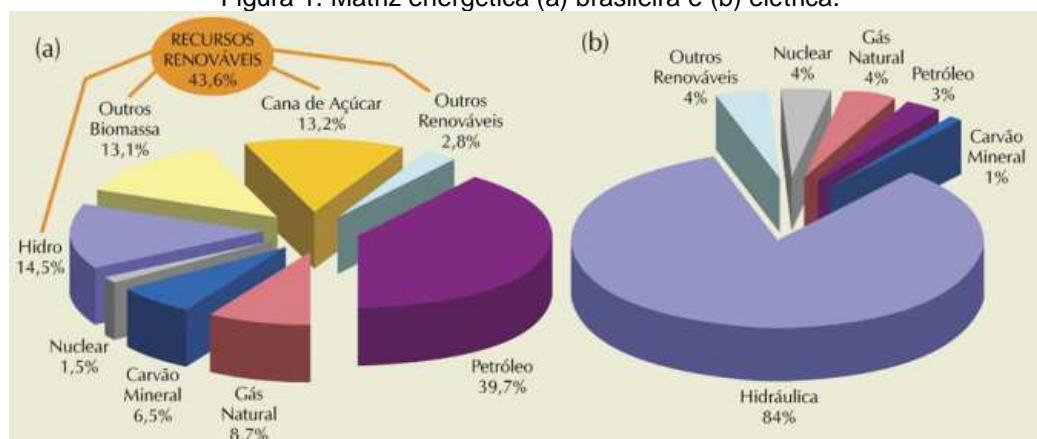
O Brasil é um dos países com maior potencial de energia solar no mundo. Sendo o Brasil um país localizado na sua maior parte na região intertropical e por isso possui

grande potencial para aproveitamento de energia solar durante todo ano. Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006), diariamente incide uma radiação solar entre 4,4 kWh/m² a 5,5 kWh/m² no país, que é bem acima da radiação solar diária média de 2,5 kWh/m² que incide na Alemanha, um dos líderes mundiais em energia solar fotovoltaica instalada.

O investimento de um país no desenvolvimento de energia solar proporciona diversos benefícios a longo prazo, possibilitando a disponibilização de energia elétrica para regiões remotas nas quais o acesso à rede convencional de distribuição é de alto custo, regulando a oferta de energia em períodos de estiagem, diminuindo a dependência da energia proveniente de combustíveis fósseis e reduzindo as emissões de gases poluentes à atmosfera.

No entanto, hoje em dia essa energia ainda tem uma participação incipiente na matriz energética brasileira, apesar de existir um grande potencial a ser aproveitado, no entanto, são necessários investimentos em tecnologia para redução dos custos de implantação e geração. A Figura 1 apresenta a estrutura da matriz de oferta de energia primária brasileira e a empregada na produção de eletricidade.

Figura 1. Matriz energética (a) brasileira e (b) elétrica.



(Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006)

Visando nortear o aproveitamento do potencial solar no território brasileiro, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou a resolução normativa nº 482/2012 apresentando os critérios e condições para micro e minigeração distribuída, sobre o sistema de compensação de energia gerada e outros temas referentes à geração

fotovoltaica, fazendo com que as companhias responsáveis pela distribuição de energia elétrica criem suas próprias regras de acesso à rede elétrica baseados nessa resolução.

Em 2015, a resolução normativa 482/2012 foi atualizada pela 687/2015, classificando e definindo a micro e a minigeração como centrais geradoras de energia elétrica que adotem a cogeração qualificada ou fontes renováveis de energia, conectadas à rede elétrica de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras, diferenciando-as de acordo com a potência instalada:

- Microgeração Distribuída: Potência instalada menor ou igual a 75 kW;
- Minigeração Distribuída: Potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para as demais fontes renováveis.

Inicialmente para regulamentação pertinente à geração de energia não conectada à rede de distribuição, *off-grid*, tema relevante ao presente trabalho, tem-se a resolução normativa nº 83/2004 da ANEEL, que teve fundamental importância na inserção de sistemas fotovoltaicas como alternativa para programas de eletrificação rural do país. Devido potencial de uso e demanda existente para os tais sistemas a Resolução normativa nº 493/2012 da ANEEL foi publicada, substituindo a anteriormente citada, estabelecendo procedimentos e condições para de fornecimento por meio de Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica – MIGDI ou Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente – SIGFI.

Esta regulamentação diz respeito ao fornecimento de eletricidade por parte das distribuidoras em localidades remotas que deveriam ser atendidas pela rede elétrica convencional, porém por serem localidades geralmente distantes dos grandes centros urbanos é incentivado a individualização da geração, de forma a atender essas unidades consumidoras dispersas e a otimizar o aproveitamento do recurso energético, sendo então o aproveitamento de fontes renováveis uma alternativa viável.

A grande dificuldade no aproveitamento de energia solar fotovoltaica ainda reside no alto preço dos materiais e equipamentos envolvidos nessa modalidade de geração. Segundo relatório de 2016 do *World Energy Council*, a capacidade global instalada para eletricidade gerada por energia solar teve um crescimento exponencial, atingindo cerca

de 227 GW no final de 2015, produzindo 1% de toda a eletricidade utilizada globalmente, e como os preços dos módulos fotovoltaicos solares caíram cerca de 80% desde 2007 (de ~ US\$ 4/W em 2007 para ~ US\$ 1,8/W em 2015), o custo associado ao sistema representa o próximo grande desafio para o setor fotovoltaico solar.

Essa redução nos custos dos componentes apresenta-se como uma tendência, visto o aumento da atratividade dos projetos de geração de energia solar fotovoltaica e do interesse por parte da sociedade, vem gerando queda no valor médio de instalação de um sistema fotovoltaico. De acordo com levantamento divulgado em junho de 2017 feito pelo instituto Ideal, em parceria com a Câmara de Comércio Brasil – Alemanha do Rio de Janeiro, que ouviu 350 empresas cadastradas no programa América do Sol, o custo médio de um sistema fotovoltaico de geração distribuída de até 5 kW que abrange toda faixa residencial, teve queda de R\$ 1.000,00 em um ano. O custo médio do kW está em R\$ 7.500,00, diferente dos R\$ 8.500,00 registrados em junho de 2016. Para sistemas de grande porte (acima de 100 kW) o preço médio é da ordem de R\$ 5.570,00.

Logo, para fomentar o interesse das empresas no uso de energias renováveis cabe a sugestão de alternativas para o uso destas visando solucionar desafios no mercado de trabalho, bem como redução de custos, beneficiando o desenvolvimento sustentável em geração de energia limpa. A expectativa nesse âmbito é alta, bem como as projeções otimistas divulgadas por diversos participantes do setor, como pode se ver no estudo divulgado em 2018 pela Exxon Mobil:

Entre as fontes de energia mais rápida expansão será de eletricidade a partir de energia solar e eólica, juntamente crescendo cerca de 400%. A parcela combinada de energia solar e eólica para o abastecimento global de eletricidade provavelmente até 2040, ajudando a intensidade de CO₂ da eletricidade entregue a cair mais de 30%. (Outlook for Energy: A View to 2040, Exxon Mobil 2018, p. 3).

4.3 Geração de Energia Solar Fotovoltaica

Somente parte da radiação solar atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera. Mesmo assim, estima-se que a energia

solar incidente sobre a superfície terrestre seja da ordem de 10 mil vezes o consumo energético mundial (CRESESB, 2006).

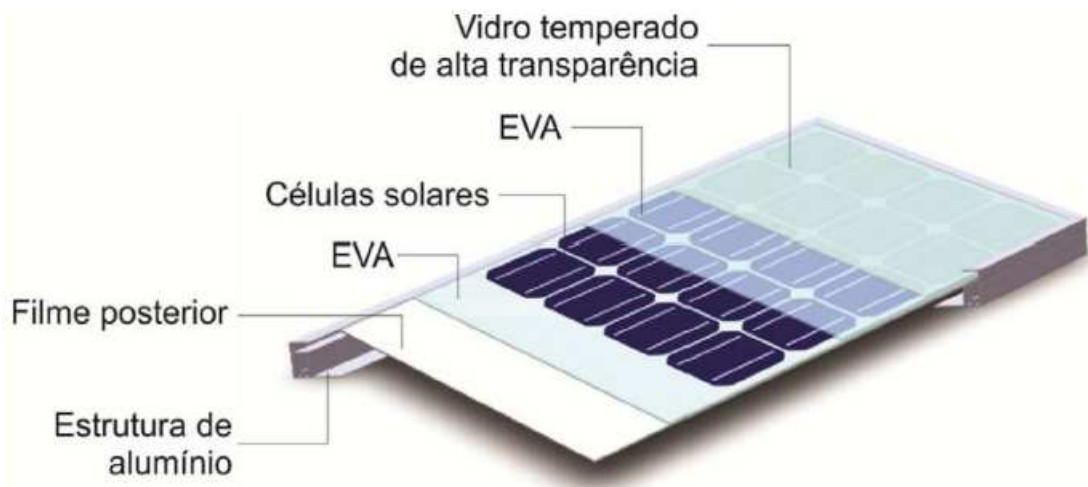
O aproveitamento da radiação solar para a geração de energia solar fotovoltaica, foco do desenvolvimento deste trabalho, dá-se pela conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico), a partir de células fotovoltaicas, material semicondutor que absorve a energia proveniente dos fótons transformando-a em eletricidade, conforme dissertado no Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (Pinho e Galdino 2014).

Dentre a variedade de materiais disponíveis para a fabricação das células, os mais utilizados são as células de silício monocristalino (m-Si), as de silício policristalino (p-Si) e as células de filmes finos, as quais se sobressaem as células de silício amorfo (a-Si). O Silício (Si) é o material que mais se destaca na produção de células fotovoltaicas, por ser uma tecnologia confiável, consolidada e eficiente frente ao mercado atual.

4.3.1 Módulo Fotovoltaico

A principal tecnologia envolvida na geração de eletricidade são as células fotovoltaicas fabricadas em materiais semicondutores capazes de realizar o efeito fotovoltaico citado anteriormente. Um conjunto de células fotovoltaicas encapsuladas e interligadas eletricamente formam o módulo fotovoltaico e constitui a unidade comercial do sistema de geração fotovoltaica. O número e o arranjo das células fotovoltaicas ligadas em série e/ ou paralelo depende da tensão e da corrente desejada pelo fabricante. Os módulos predominantes no mercado são os de 60 células conectadas em série. Comumente é garantido dez anos contra defeitos de fabricação e vinte e cinco anos de rendimento mínimo de 80%. Na Figura 2 está representada o esquema de componentes de um módulo fotovoltaico com células de silício cristalino.

Figura 2. Estrutura de montagem de um módulo fotovoltaico.



(Fonte: Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaico, 2014)

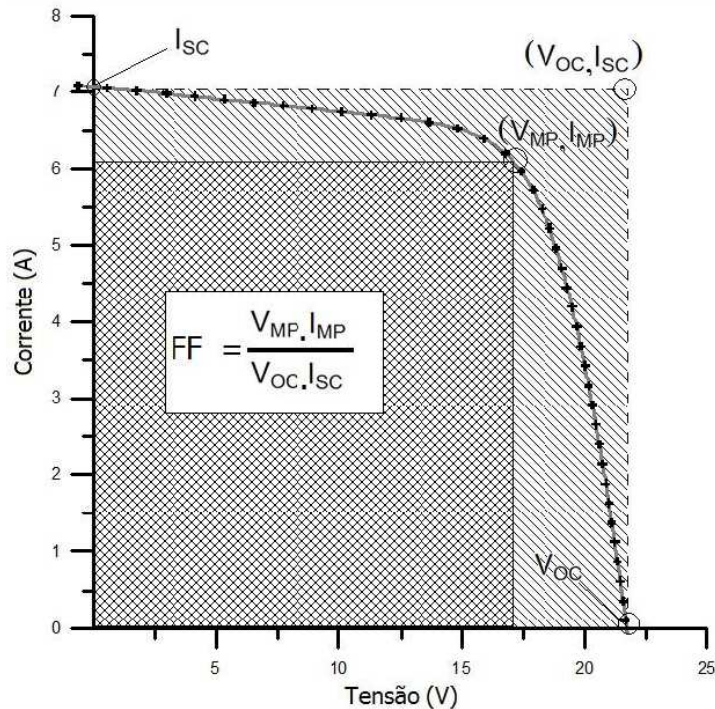
Abaixo as principais propriedades elétricas que caracterizam as células e módulos fotovoltaicos, também demonstradas na Figura 3.

- **Tensão do circuito aberto (V_{oc}):** é a máxima tensão que uma célula fotovoltaica pode produzir, representa a tensão entre os terminais de uma célula fotovoltaica quando não há corrente elétrica circulando.
- **Corrente de curto-circuito (I_{sc}):** é a máxima corrente que se pode obter e é medida quando a tensão entre os terminais da célula é nula.
- **Tensão de máxima potência (V_{mp}):** é a tensão referente ao ponto de máxima geração de energia do painel.
- **Corrente de máxima potência (I_{mp}):** é a corrente referente ao ponto de máxima geração de energia do painel.
- **Potência Nominal (P_{mp}):** é o valor de máxima potência que o módulo fotovoltaico pode fornecer em condições padrão de ensaio. É o produto entre a tensão de máxima potência (V_{mp}) e a corrente de máxima potência (I_{mp}).
- **Fator de forma (FF):** é a razão entre a máxima potência da célula e o produto da corrente de curto circuito como a tensão de circuito aberto, dada por:

$$FF = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (\text{Equação 1})$$

- **Eficiência (h):** É a razão entre a potência elétrica gerada e a potência de energia solar incidente sobre o módulo.

Figura 3. Curva característica I-V, com definição de fator de forma.



(Fonte: Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaico, 2014)

4.3.2 Sistema Fotovoltaico

4.3.2.1 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

Os sistemas *grid-tie* (ou *on-grid*) ficam conectados diretamente à rede elétrica existente complementando o sistema, conforme Figura 4. Estes não fazem uso de armazenadores de energia e controladores de carga, pois trabalham com a modalidade de compensação, isto é, quando a energia injetada na rede é superior à consumida esta é injetada é gerado um “crédito de energia” junto à distribuidora local que não pode ser revertido em dinheiro, mas será descontado quando a demanda for superior a geração, esse crédito tendo validade de 60 meses, conforme Resolução Normativa nº 687/2015 revisando a Resolução Normativa nº 482/2012 (ANEEL, 2015).

Figura 4. Componentes do sistema *on-grid*.

(Fonte: Enel X, 2016)

4.3.2.2 Sistemas Fotovoltaicos Isolados

Nos sistemas isolados da rede elétrica (ou *off-grid*), a energia gerada é consumida diretamente e a remanescente é armazenada contando também unidades responsáveis por controle carga, conforme pode ser visto na Figura 5.

Figura 5. Componentes do sistema *off-grid*.

(Fonte: Enel X, 2016)

Os sistemas isolados podem ser individuais, onde a geração é para uma única unidade consumidora, ou em minirredes, onde a geração é partilhada com unidades consumidoras localizadas perto entre si. O sistema utilizado nesse trabalho é isolado e individual, cujos componentes serão explanados a seguir. As primeiras aplicações de sistemas fotovoltaicos eram principalmente em sistemas isolados, proporcionando o acesso de para locais afastados da rede de distribuição. Este cenário começou a mudar no final da década de 90 quando os primeiros sistemas conectados à rede passaram a obter números mais expressivos de aplicações (Oliveira, 2017).

4.3.3 Componentes dos Sistemas Fotovoltaicos Isolados

No processo de geração de energia, apenas o módulo fotovoltaico não garante o aproveitamento da energia solar, e, uma vez que este gera energia em corrente contínua (CC), o consumo direto da energia gerada nesta forma é pouco usual, já que praticamente todas as cargas residenciais, comerciais e industriais funcionam em corrente alternada (CA). Logo, é necessária a integração de diversos equipamentos projetados para disponibilizar a energia gerada ao consumidor final.

4.3.3.1 Inversor

Como já mencionado, é necessário a conversão da corrente contínua (CC) gerada pelos módulos fotovoltaicos para ser possível o consumo em corrente alternada (CA) no qual operam a grande maioria dos aparelhos elétricos. Esta conversão é realizada pelo inversor, que, além disso, tem a função de proporcionar a compatibilidade dos níveis de tensão de saída aos equipamentos ligados a ele. Na Figura 6, inversor selecionado.

Figura 6. Inversor.



(Fonte: Victron Energy, 2018).

4.3.3.2 Controlador de Carga

É o dispositivo responsável por regular e gerenciar o fluxo energético dos geradores fotovoltaicos para as baterias, buscando otimizar a otimização do banco de baterias, desconectar o gerador quando a carga plena tiver sido atingida, evitar descarga profunda após longo período sem geração e proteger contra o aumento excessivo de consumo ou uma possível intervenção humana. Na Figura 7, controlador selecionado.

Figura 7. Controlador de carga.



(Fonte: Victron Energy, 2018).

4.3.3.3 Bateria

As baterias são dispositivos capazes de armazenar energia elétrica por meio de um processo eletroquímico de oxirredução ocorrido em seu interior, podendo ser recarregáveis (chamadas de células secundárias) ou não (células primárias). As baterias recarregáveis e aplicáveis por um longo período de tempo se fazem necessárias em sistemas fotovoltaicos isolados para atender a demanda nos períodos de geração insuficiente (à noite, dias nublados ou chuvosos, etc.)

Para compor o banco de baterias proposto no projeto capaz de proporcionar autonomia e segurança ao sistema fotovoltaico desenvolvido são utilizadas baterias estacionárias, em detalhe na Figura 8.

Figura 8. Detalhes bateria estacionária selada.



(Fonte: Catálogo Baterias Moura, 2002).

4.3.3.4 Estrutura de fixação

Os módulos fotovoltaicos são suportados por estruturas metálicas geralmente de aço galvanizado, alumínio ou aço inoxidável. As estruturas de fixação têm o papel de garantir as condições ótimas de posicionamento e angulação dos painéis, mantendo

angulação mantendo os módulos seguros apesar das intempéries, sendo a qualidade do material utilizado na construção dessas peças fundamental pois deve garantir sua integridade ao longo da vida útil projetada para o sistema.

As estruturas de fixação dos painéis solares podem ser as mesmas tanto para sistemas *off-grid* quanto sistemas integrados a rede, porém nesse trabalho foi desenvolvido uma estrutura de fixação particular que se adequa a estrutura do *container*, sem modificá-lo permanentemente, utilizando as cantoneiras (*corner fitting*) como encaixe à estrutura de sustentação do sistema fotovoltaico. Mais detalhes da estrutura de suporte dos painéis e do abrigo dos equipamentos disponíveis no Anexo 1.

5 METODOLOGIA

Como ponto de partida para dimensionamento um sistema de geração de energia fotovoltaica, diversos parâmetros podem ser adotados como, por exemplo, área disponível para instalação dos painéis, recurso financeiro disponível ou em função da minimização do tempo de retorno financeiro. Porém, em sistemas isolados autônomos é necessário basear-se no consumo estimado com o máximo de precisão, para que a energia produzida pelo sistema seja suficiente.

O dimensionamento utilizado nesse trabalho segue a metodologia apresentada no livro Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos por Pinho e Galdino (2014).

Em seguida é demonstrada a metodologia utilizada para análise de viabilidade econômico da aplicação financeira no sistema dimensionado, que é necessária para demonstrar quais vantagens de se investir em um sistema de geração de energia próprio em comparação ao sistema de fornecimento de energia por geradores a diesel utilizado, podendo ser extrapolado para áreas atendidas por redes de distribuição de uma concessionária de energia elétrica, pois nestas, há cobranças de taxas e encargos setoriais além do consumo direto que oneram a fatura de energia e torna atrativa a ideia de gerar a própria energia.

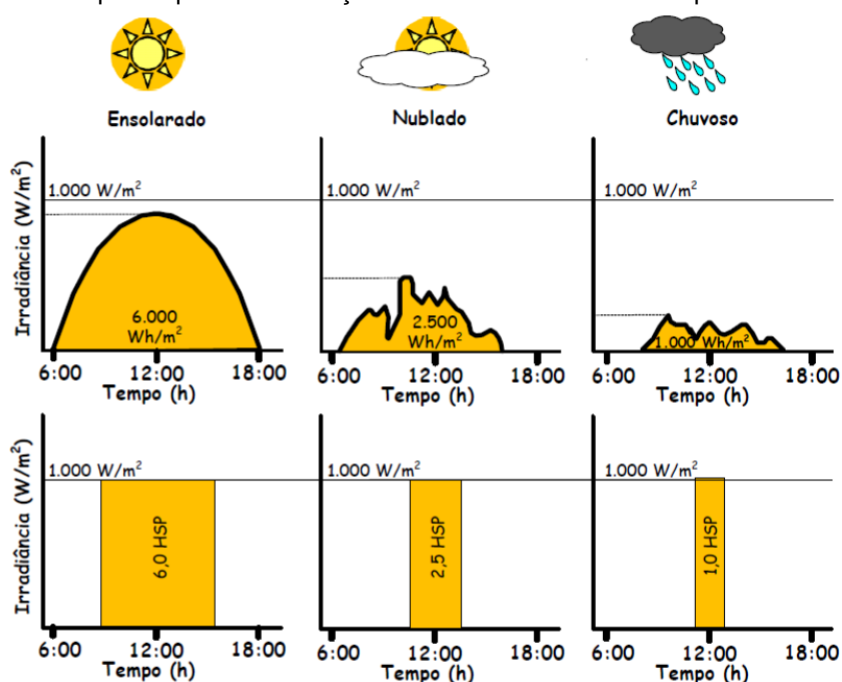
No estudo deste projeto são utilizados como indicadores o *Payback* Simples, o VPL (Valor Presente Líquido) e a TIR (Taxa Interna de Retorno) para análise de investimento do projeto em questão, levando em consideração uma TMA (Taxa Mínima de Atratividade) que será baseada nos ganhos de uma aplicação financeira.

5.1 Avaliação do Recurso Solar

As características elétricas de um painel solar fotovoltaico são dependentes da temperatura e da irradiância incidente, sendo esta segunda muito mais significativa. Para determinar a energia gerada é necessário a quantificação da radiação solar incidente sobre o painel fotovoltaico, pois são diretamente proporcionais.

Para estimar a produção de energia elétrica é interessante ignorar a variação instantânea de irradiação solar e considerar a totalidade de energia nos intervalos horários, para tal, utiliza-se o número de Horas de Sol Pleno (HSP) que expressa o valor acumulado de energia ao longo de um dia. Este reflete o número de horas em que a irradiação solar deve permanecer constante e igual a 1 kW/m^2 , de forma que a energia resultante seja equivalente à energia disponibilizada pelo sol no local em questão, conforme explicado mais detalhadamente na Figura 9.

Figura 9. Exemplo de perfis de radiação solar diária com valores equivalentes de HSP.



(Fonte: Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 2014)

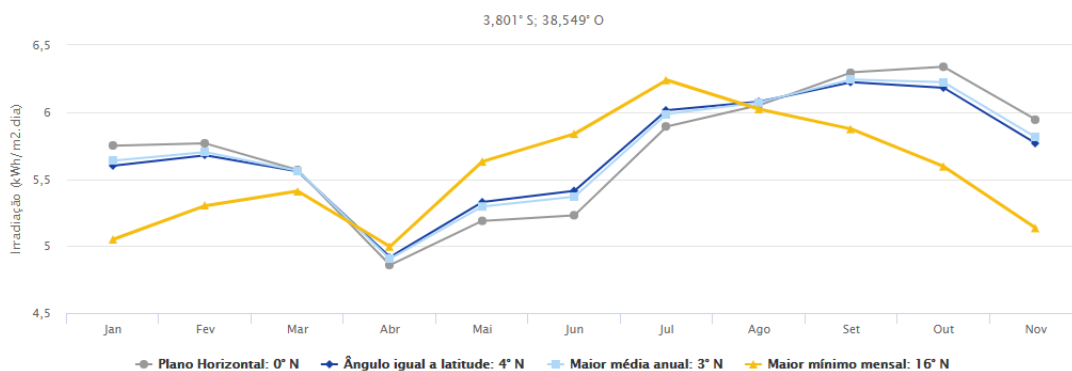
Na Tabela 1 são mostrados os dados de HSP para a cidade Fortaleza, no Estado do Ceará.

Tabela 1. Horas de Sol Pleno em Fortaleza, CE.

Estação: Fortaleza
 Município: Fortaleza, CE - BRASIL
 Latitude: 3,801° S
 Longitude: 38,549° O
 Distância do ponto de ref. (3,7° S; 38,543055° O): 11,3 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	5,75	5,77	5,57	4,86	5,19	5,23	5,45	5,89	6,05	6,30	6,34	5,94	5,69	1,48
✓	Ângulo igual a latitude	4° N	5,60	5,68	5,56	4,92	5,33	5,41	5,62	6,01	6,08	6,22	6,18	5,77	5,70	1,30
✓	Maior média anual	3° N	5,64	5,70	5,56	4,90	5,29	5,37	5,58	5,99	6,07	6,24	6,22	5,81	5,70	1,34
✓	Maior mínimo mensal	16° N	5,05	5,30	5,41	5,00	5,63	5,84	6,02	6,24	6,02	5,87	5,59	5,13	5,59	1,24

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Fortaleza–Fortaleza, CE–BRASIL



(Fonte: Site Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito - CRESESB, 2018)

5.2 Localização

Para o presente projeto sabe-se que os painéis serão instalados acima da estrutura de um *container* marítimo, com 0° de inclinação. Por se tratar de uma adaptação de escritório utilizado em obras em um terreno já desmatado, limpo e mobilizado, geralmente localizado em locais longe de centros urbanos, logo, com pouca possibilidade de sombreamento no por árvores, outras construções ou elementos de infraestrutura, como postes e linhas de transmissão.

5.3 Levantamento da demanda e do Consumo Elétrico

Entende-se que o sistema deve gerar mais eletricidade que o limite estabelecido para o consumo. Para determinar com precisão a demanda da unidade consumidora é somada a energia consumida por cada equipamento, para assim obter uma média de consumo diário, conforme detalhado na Tabela 2.

Tabela 2. Levantamento de cargas dos equipamentos instalados no *container*.

Equipamento	Potência (W)	Tempo de Utilização (h)	Consumo Diário (Wh/dia)
Ar condicionado	580	10	5800
Computador 1	300	10	3000
Computador 2	300	10	3000
Computador 3	300	10	3000
Computador 4	300	10	3000
Impressora	100	10	1000
Geláguia	100	10	1000
Cafeteira	300	10	3000
Iluminação	97	10	970
Total	2377		23770

(Fonte: Autora)

5.4 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico Isolado

Para realizar o correto dimensionamento do sistema é necessário o entendimento da função de cada componente e sua correta especificação. O primeiro componente a ser dimensionado é o banco de baterias que deve ser suficiente para armazenar toda a energia necessária aos equipamentos. As baterias devem prover a energia necessária para garantir a autonomia diária da instalação sendo recarregada simultaneamente e mantendo o fornecimento por um período de no mínimo 4 horas sem recarga que é função dos painéis solares fotovoltaicos, levando em consideração as 10 horas de funcionamento estipulado, sendo em média 6 horas com sol suficiente para geração e 4 horas sem sol.

A potência e o tempo de uso dos equipamentos da instalação devem ser verificados, para permitir a definição (ou estimativa) do tempo de utilização dos mesmos, considerando um período de um dia.

Inicialmente são tomados os valores médios de irradiação solar mensais (Tabela 1) e potência total demandada total (Tabela 2), carga esta que é fixa para todos os períodos de operação do *container*, e apenas os valores para o mês mais desfavorável é considerando (neste caso Abril, conforme Tabela 1), visto que se o sistema atender a demanda no mês de menor irradiação será capaz de atender nos meses de maior também. A potência total do gerador fotovoltaico é dada pelo valor da potência instalada

multiplicada pelo total de horas que as cargas estarão em funcionamento, estabelecido 10 horas, multiplicado pelo HSP do mês crítico.

$$P_{\text{total}} = \frac{P_{\text{instalada}} \times T_{\text{utilização}}}{\text{HSP}} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

P_{total} = Potência do gerador fotovoltaico (W).

$P_{\text{instalada}}$ = Somatório total das cargas da instalação elétrica do *container* (W).

$T_{\text{utilização}}$ = Tempo de utilização diário de cada carga instalada (h).

$T_{\text{utilização}}$ = Horas de Sol Pleno na localidade (h).

Para determinação da quantidade de placas solares necessárias ao arranjo fotovoltaico depende não só da quantidade de energia a ser gerada diariamente, mas da quantidade de radiação solar média do local de instalação, da potência e eficiência dos painéis e da tensão de sensibilização dos demais componentes como controlador de carga e inversor. Para isso, a potência total do gerador fotovoltaico é dividida pela potência do módulo fotovoltaico, conforme Equação 3.

$$N_{\text{módulos}} = \frac{P_{\text{total}}}{P_{\text{módulos}}} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

$N_{\text{módulos}}$ = Quantidade de módulos necessária.

P_{total} = Potência do gerador fotovoltaico (W).

$P_{\text{módulos}}$ = Potência do módulo fotovoltaico (Wp).

5.5 Dimensionamento do Controlador de carga

Por se tratar de um sistema *off-grid*, o projeto necessita de um componente para realizar a compatibilização da tensão fornecida pelo arranjo dos painéis fotovoltaicos e o banco de baterias. Para tanto, é necessário que o controlador tenha a capacidade compatível com a corrente máxima do sistema instalado.

Após a definição da quantidade de painéis fotovoltaicos é necessário definir o arranjo que deverá se adequar ao controlador de carga definido para o projeto. Dentre as opções de mercado o controlador de carga BlueSolar MPPT 150/100 da Victron Energy se mostrou como mais atrativo, cujos dados pertinentes estão na Tabela 3, retirados da ficha de especificações técnicas do equipamento disponibilizada pelo fabricante. Esse componente é responsável pelo controle da energia elétrica que vem das placas solares e vai para o banco de baterias, o seu dimensionamento é feito em função das características elétricas do arranjo fotovoltaico e do conjunto de baterias.

Tabela 3. Especificação Técnica Controlador de carga.

BLUESOLAR MPPT 150/100 - VICTRON ENERGY	
ENTRADA	
Potência máxima de entrada (W)	5800
Voltagem máxima de entrada (Vcc)	150
Faixa de Voltagem do MPP (Vcc)	80-120
Voltagem máxima de entrada (Vcc)	150
Voltagem para inicialização (Vcc)	145
Corrente máxima de entrada (A)	56
SAÍDA	
Potência nominal de saída (W)	5800
Faixa de Voltagem de saída (Vcc)	12 / 24 / 48
Corrente máxima de saída (A)	100
Corrente máxima de curto circuito (A)	70
OUTRAS CARACTERÍSTICAS	
Eficiência Máxima	>98%
Consumo interno (noite)	<0,1 W
Temperatura de Operação (°C)	-30 a +60
ESPECIFICAÇÕES MECÂNICAS	
Dimensões L x A x P (mm)	246 x 295 x 103
Peso (kg)	4,5

(Fonte: Victron Energy).

É possível dividir o arranjo fotovoltaico entre vários controladores de carga, e ligá-los todos ao mesmo banco de baterias. Isso é prática comum, especialmente em sistemas fotovoltaicos *off-grid* de grande porte, porém, para prover o sistema de uma maior simplicidade foi dimensionado um único equipamento.

O controlador de carga define a tensão dos arranjos de painéis e deve ser escolhido com a tensão de saída adequada ao arranjo de baterias. A capacidade do controlador deve superar a geração dos painéis ou de a potência consumo, tomando-se como base a maior das duas.

O arranjo de painéis é determinado tendo como base a tensão máxima do controlador de carga escolhido que definirá quantos painéis devem ser organizados em série ao sistema para não superar a tensão máxima que o controlador suporta, sabendo que a tensão unitária dos painéis é multiplicada pela quantidade destes quando associados em série. Se necessário uma quantidade maior painéis, estes devem ser ligados em paralelo a este arranjo.

$$I_{\text{entrada}} = \frac{P_{\text{Tsolar}}}{V_{\text{INcontrolador}}} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

I_{entrada} = Corrente máxima de entrada do controlador de carga (A).

P_{Tsolar} = Potência total do sistema fotovoltaico (Wp).

$V_{\text{INcontrolador}}$ = Tensão nominal de entrada do controlador de carga (V).

$$I_{\text{saída}} = \frac{P_{\text{Tsolar}}}{V_{\text{OUTcontrolador}}} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

$I_{\text{saída}}$ = Corrente máxima de saída do controlador de carga (A).

P_{Tsolar} = Potência total do sistema fotovoltaico (Wp).

$V_{\text{OUTcontrolador}}$ = Tensão nominal de saída do controlador de carga (V).

$$N_{\text{arranjo}} = \frac{V_{\text{INcontrolador}}}{V_{\text{MP}}} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

N_{arranjo} = Quantidade de módulos conectados em série.

$V_{\text{INcontrolador}}$ = Tensão nominal de entrada do controlador de carga (V).

V_{MP} = Tensão máxima por painel fotovoltaico (V).

5.6 Dimensionamento do Inversor

Os inversores são indispensáveis para interligação do arranjo fotovoltaico com a unidade consumidora, e para funcionar satisfatoriamente é necessário a compatibilidade dos parâmetros de entrada (potência gerada) e parâmetros de saída (frequência, corrente e tensão).

Em virtude dos picos de radiação são mais frequentes nas regiões próximas à Linha do Equador, não é interessante subdimensionar os inversores em locais de alto nível de irradiação. O subdimensionamento pode levar a decréscimos consideráveis de potência no projeto.

O fator de dimensionamento de inversores (FDI), que representa a relação entre a capacidade do inversor e a potência nominal do gerador fotovoltaico, deve ser avaliado de acordo com o local de operação do sistema. Segundo Pinho e Galdino (2014), o FDI deve ser um valor entre 0,75 e 0,85. Sendo 0,75 para um projeto em que as perdas consideradas são menores e o inversor se encontra em local bastante arejado e 0,85 para um projeto mais conservador.

$$P_{\text{inversor}} = P_{\text{total}} * \text{FDI} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

P_{inversor} = Potência nominal do inversor solar (W).

P_{total} = Potência do gerador fotovoltaico (Wp).

FDI = Fator de dimensionamento de inversores.

Foi selecionado o Inversor Victron Energy – Phoenix 48/5000 com potência nominal de 5000 W, cujos demais dados pertinentes estão na Tabela 4, retirados da ficha de especificações técnicas do equipamento disponibilizada pelo fabricante.

Tabela 4. Especificação Técnica Inversor Victron Energy – Phoenix 48/5000.


PHOENIX INVERTER 5000VA - VICTRON ENERGY	
ENTRADA	
Potência máxima de entrada (W)	5000
Voltagem máxima de entrada (Vcc)	66
Faixa de Voltagem do MPP (Vcc)	38-66
Voltagem mínima de entrada (Vcc)	38
Voltagem para inicialização (Vcc)	48
Corrente máxima de entrada (A)	105
SAÍDA	
Potência nominal de saída (W)	5000
Faixa de Voltagem de saída (Vca)	230
Frequência de saída (Hz)	60 ou 50
Corrente máxima de saída (A)	28
OUTRAS CARACTERÍSTICAS	
Eficiência Máxima	95%
Consumo interno (noite)	<0,1 W
Temperatura de Operação (°C)	-25 a +60
ESPECIFICAÇÕES MECÂNICAS	
Dimensões L x A x P (mm)	444 x 328 x 240
Peso (kg)	30

(Fonte: Victron Energy).

5.7 Dimensionamento do Banco de Baterias

O banco de baterias deve ter carga suficiente para atender o consumo do total do escritório por pelo menos 4 horas sem irradiação solar para recarregamento. Para o banco de baterias foi considerado o descarregamento de no máximo 40% da capacidade da bateria para evitar danos ou perda de capacidade de armazenamento a mesma. Para o projeto foram utilizadas baterias com as características indicadas na Tabela 5. As baterias selecionadas para o projeto já estavam disponíveis no estoque como saldo de um projeto anterior.

Tabela 5. Especificação Técnica bateria Moura Clean.

Bateria 12MF220/12MC220	
Tensão Nominal (V)	12
Capacidade a 25° C (A.h)	220
Potência (W)	2640
Dimensões (C x L x A) (mm)	517 x 290 x 240
Peso (kg)	56,2
Posição dos Terminais	
Tipo de terminal	Tipo "L"
Tensão de Flutuação (V)	13,20 - 13,38 a 25°C
Tensão de Equalização (V)	14,20 - 14,40 a 25°C
Compensação de Temperatura	-0,33V para cada 10°C acima de 25°C
	+0,33V para cada 10°C acima de 25°C

(Fonte: Catálogo Técnico Moura Clean).

Utilizando a Equação 8 é possível descobrir o número mínimo de baterias necessárias para promover autonomia ao sistema proposto de no mínimo 4 horas sem irradiação solar.

$$N_{\text{baterias}} = \frac{P_{\text{instalada}} \times T_{\text{s/sol}}}{V_{\text{bateria}} \times I_{\text{bateria}} \times \text{FD}} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

N_{baterias} = Quantidade de baterias necessárias.

$P_{\text{instalada}}$ = Somatório total das cargas da instalação elétrica do *container* (W).

$T_{\text{s/sol}}$ = Horas sem irradiação solar (h).

V_{bat} = Tensão nominal da Bateria (V).

I_{bat} = Capacidade nominal da Bateria (Ah).

FD = Fator de descarga máxima da bateria.

5.8 Análise de Viabilidade Econômico-Financeira

5.8.1 Taxa Mínima de Atratividade Financeira

A taxa mínima de atratividade financeira representa uma referência do mínimo que um projeto deve render ao investidor levando em consideração o custo de oportunidade, o risco do investimento e a liquidez.

Essa taxa pode ser estimada, segundo Nakabaiashi (2015), tomando por base a taxa de juros SELIC (Sistema Especial de Liquidação e de Custódia). O valor tomado neste estudo será o valor da taxa SELIC acumulado nos últimos meses em janeiro de 2018, de 5,68%.

5.8.2 Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno

O valor presente líquido tem como finalidade medir o valor presente dos fluxos de caixa gerados pelo projeto ao longo de sua vida útil. Se não houver restrição de capital, argumenta-se que esse critério leva à escolha ótima, pois maximiza o valor da empresa. O VPL analisa o balanço entre os custos de instalação de manutenção de um projeto e os benefícios obtidos durante sua vida útil. A Equação 9 define o VPL:

$$VPL = -CF_0 + \sum \frac{CF_j}{(1+i)^n} \quad (\text{Equação 9})$$

Nessa equação, o fluxo de caixa inicial ($-CF_0$) representa o investimento inicial realizado no projeto e, por isso, está negativo, seguido pelo somatório dos fluxos de caixa esperado (CF_j), a uma taxa (i) por uma determinada quantidade de anos (n).

Seguindo com a análise, faz-se necessário o cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR) que é por definição, a taxa de retorno do investimento. Matematicamente, a TIR é uma taxa hipotética que anula o VPL, ou seja, é aquele valor de TIR que satisfaz a Equação 10, segundo Macedo (2014):

$$-CF_0 \sum \frac{CF_n}{(1+TIR)^n} = 0 \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

TIR = Taxa Interna de Retorno

CF = Fluxo de caixa

n = Período do movimento no fluxo de caixa

Por fim, o valor da TIR é de 10%, que, conseqüentemente é maior do que a taxa de atratividade do investimento estabelecida de 5,68%, ocasionando a aprovação do projeto em questão.

Para analisar o *payback* do projeto é necessário aplicar uma tabela demonstrando a depreciação do valor investido *versus* o valor economizado em comparação a utilização de unidades geradoras. Para melhor entendimento, nos resultados será apresentando o fluxo de caixa do período em que entende-se que projeto estará em atividade.

5.8.3 Análise dos custos do Sistema Fotovoltaico Isolado

A energia prevista para ser consumida pelo *container* escritório normalmente seria fornecida pela concessionária de distribuição de energia local, quando possível, ou por um gerador a diesel que realiza alimentação das cargas quando em locais remotos ou quando o prazo de ligação da concessionária não atende ao planejamento da mobilização, como no caso em consideração.

Após dimensionamento do sistema solar fotovoltaico proposto, foram contabilizados todos os equipamentos utilizados e suas respectivas quantidades para a geração de uma lista de materiais, apresentada no Anexo 2. Nessa lista são descritos detalhadamente os equipamentos e materiais necessários para a completa instalação e disponibilização do sistema, e a mão de obra requerida para execução do projeto, após cotação com empresa especializada.

O valor para aquisição do *container* não foi incluso no cálculo do valor final, visto que a proposta destina-se a sugerir a um sistema que se adapte a um *container* alugado já adaptado para uso como escritório, no qual seria realizada a instalação e encaixe das

estruturas de suporte dos painéis e do abrigo das baterias, inversores e controladores de carga.

5.8.4 Análise dos custos com sistema de unidade geradora a diesel

Para determinação do valor despendido para o aluguel, foi consultada a empresa fornecedora de unidades geradoras a diesel, que forneceu os dados referentes ao geralmente gerador utilizado para fornecer suporte em obras de médio e longo prazo. Na Tabela 6, algumas especificações das unidades geradoras disponíveis para locação pela empresa.

Tabela 6. Especificações do Gerador.

ESPECIFICAÇÕES	UND.	55 KVA	80 KVA	100 KVA	115 KVA	140 KVA	150 KVA
Stand-by	kVA	55	80	100	115	140	150
Prime	kVA	50	78	90	105	128	141
Motor		MWM	MWM	PERKINS	MWM	CUMMINS	MWM
Modelo		D229-4 GG	D229-6	1104A	TD229E-6	C11D6	6.10T
Capacidade Tanque de combustível	L	105 a 150	175	175 a 300	125	250	280
Consumo de diesel em carga plena	L/h	12	18	24	27	31	33
Autonomia	h	9 a 13	10	7 a 13	5	8	9
Alternador		CRAMACO	CRAMACO	LEROY SOMMER	CRAMACO	STANFORD	WEG
Dimensões (A x B x C)	m	2,10 x 0,95 x 1,50	2,80 x 1,20 x 2,00	2,30 x 1,10 x 1,64	2,30 x 1,10 x 1,60	3,15 x 1,10 x 1,80	3,80 x 1,20 x 2,20
Peso	Kg	1.354	1.500	1.435	1.400	2.221	2.000
Quadro de comando		DIGITAL	ANALÓGICO	ANALÓGICO	ANALÓGICO	ANALÓGICO/DIGITAL	ANALÓGICO
Ruído a 1,5m	dB	85	85	85	85	85	85

(Fonte: Ageradora, 2018).

O gerador selecionado foi o de 55 kVA. Há duas modalidades de utilização dos geradores que definem a taxa fixa mensal do valor do aluguel do mesmo, a primeira é de R\$ 2.400,00 para geradores que irão funcionar até 12 horas por dia, a segunda é de R\$ 4.800,00 para 24 horas de funcionamento. Em virtude da necessidade da aplicação, a primeira opção se faz mais viável e foi a opção utilizada.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Resultados do Dimensionamento

Após a aplicação da metodologia apresentada anteriormente obtém-se as características do sistema dimensionado. Pelo método do mês crítico é indicado que a geração diária do sistema será de no mínimo 4890,9 Wp, conforme indicado na Tabela 7.

Tabela 7. Cálculo da potência diária necessária com base no mês crítico em irradiação solar.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Horas Plan. Horiz. (0° N)	5,75	5,77	5,57	4,86	5,19	5,23	5,45	5,89	6,05	6,3	6,34	5,94	5,69
Demanda (Wh)	23770	23770	23770	23770	23770	23770	23770	23770	23770	23770	23770	23770	23770
Potência Diária (W)	4133,9	4119,6	4267,5	4890,9	4580,0	4544,9	4361,5	4035,7	3928,9	3773,0	3749,2	4001,7	4177,5

(Fonte: Autora)

Logo, o sistema então necessita de no mínimo 16 módulos de 315Wp de potência, porém visando aproveitar ao máximo a área disponível para instalação dos painéis serão utilizados 18 módulos de 315Wp, resultando em uma potência total de 5670 Wp. No Anexo 3, consta a folha de dados para o painel disponibilizado para a realização do projeto.

É o controlador de carga adotado que define a tensão dos arranjos de painéis fotovoltaicos (150 V) e deve ser escolhido com a tensão de saída adequada ao arranjo de baterias (48 V). A capacidade do controlador deve superar a geração dos painéis ou de a potência consumo, tomando-se como base a maior das duas. Sendo a geração dos painéis superior, conforme dito anteriormente, e igual a 4890,9Wp, quando dividido pelo valor de tensão de operação do sistema, 48 V, obtém-se que o controlador de carga opera com corrente máxima de saída de 102 A, sendo o controlador adotado de 100 A.

O arranjo de painéis, que possuem tensão máxima de 37,2 V, deve ter no máximo 4 unidades em série resultando em 148,8 Volts, quando necessário uma quantidade maior, estes devem ser ligados em paralelo a este arranjo. Assim, os 18 painéis necessários para atendimento da potência do sistema foram interligados em 4 arranjos em paralelo ao controlador de carga, estados esses organizados em 2 arranjos com 4 painéis em série cada, e os outros 2 arranjos cada um com 4 painéis em série e 1 em paralelo.

Para determinar o inversor necessário para atendimento do arranjo selecionado será utilizado um FDI de 83%, considerando 16% de ineficiência no painel solar devido a temperatura e outros fatores e 1,5% devido a sujeira. Assim, para a potência da unidade geradora de 5670 Wp, a potência nominal do inversor deverá ser de no mínimo 4706 W, sendo selecionado o Inversor Victron Energy – Phoenix 48/5000 com potência nominal de 5000 W.

Como resultado da quantidade de baterias recomendadas obteve-se o número mínimo de 9 baterias. Por uma questão de arranjo, serão utilizadas 12 baterias, onde estas estarão associadas em 3 arranjos em paralelo cada um com 4 unidades em série, resultando em uma tensão equivalente de 48V e uma autonomia de 13 horas, suficiente para o funcionamento do sistema em um dia completo de atividade.

O arranjo elétrico e estrutural do sistema proposto está detalhado no Anexo 1 deste trabalho.

6.2 Resultados da Análise de Viabilidade Econômica Financeira

Foi analisada a viabilidade econômica para o uso de geradores a diesel e para o uso da energia contratada da concessionária em comparação ao sistema dimensionado.

O valor total do sistema fotovoltaico é de R\$75.644,39, representando o investimento nos equipamentos, estrutura e mão de obra para implementação do sistema, acrescido do custo estimado para manobras de operação e manutenção, pelo período de 25 anos (garantia dada pelo fornecedor pelos painéis fotovoltaicos) estipulado no primeiro ano de utilização no valor de 0,5% do valor do custo inicial do sistema. O custo com mão de obra para implantação foi estimado com uma empresa especializada como 23% do valor do investimento inicial. Para o cálculo da tarifa de energia solar para o sistema autônomo, foi estimado quanto o sistema produzirá pelos 25 anos de vida estimado pelo projeto, também levando em conta a depreciação na eficiência dos módulos fotovoltaicos indicada pelo fabricante. O resultado estimado encontra-se na Tabela 8.

Tabela 8. Cálculo da geração total para o sistema fotovoltaico.

	Eficiência Módulos FV	Geração Estimada Anual*** (kWh)
Ano 1	100%	10.800
Ano 2	97,5%	10.530
Ano 3	96,8%	10.449
Ano 4	96,0%	10.368
Ano 5	95,3%	10.287
Ano 6	94,5%	10.206
Ano 7	93,8%	10.125
Ano 8	93,0%	10.044
Ano 9	92,3%	9.963
Ano 10	91,5%	9.882
Ano 11	90,8%	9.801
Ano 12	90,0%	9.720
Ano 13	89,3%	9.639
Ano 14	88,5%	9.558
Ano 15	87,8%	9.477
Ano 16	87,0%	9.396
Ano 17	86,3%	9.315
Ano 18	85,5%	9.234
Ano 19	84,8%	9.153
Ano 20	84,0%	9.072
Ano 21	83,3%	8.991
Ano 22	82,5%	8.910
Ano 23	81,8%	8.829
Ano 24	81,0%	8.748
Ano 25	80,3%	8.667
Total Energia Gerada (kWh)		241.164

Fonte: Autora.

Fazendo a divisão da produção total do sistema pelo preço de concepção, instalação e manutenção, obtém-se que o preço da tarifa de geração de energia solar para este projeto é de R\$ 0,31/kWh.

Para os geradores a diesel é calculado o custo de operação com base na taxa fixa de utilização definida pela empresa locadora, mais o custo do combustível utilizado para a geração da energia demandada pelos equipamentos do escritório. O preço utilizado para o litro de óleo diesel foi de R\$ 3,79, preço médio para o mês de outubro de 2018 no Ceará, de acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Conforme já citado, o gerador utilizado para fornecimento de

energia para uma obra anterior foi de 55 kVA, locado a R\$ 2.400 reais por mês. Este equipamento é superdimensionado visto a demanda do escritório, porém foi escolhido por ser o de menor potência fornecido pela empresa, sendo robusto, estável e apropriado para uso em locais remotos. Assim, o investimento mensal para o uso do gerador é de R\$ 9.980,00, resultando em uma tarifa de energia de R\$ 1,07/kWh.

Comparando o sistema fotovoltaico com a unidade geradora a diesel, o VPL será encontrado para fluxo de caixa inicial de -R\$75.649,39, representado o valor inicial investido, com TMA de 5,68%, considerando como fluxo de caixa esperado o valor que seria pago com energia utilizando unidades geradoras. Após o cálculo, o VPL atingiu o valor de +R\$ 60.447,98 representando que o projeto é viável, considerando que, para que o projeto seja aceito, o VPL deverá ter o valor positivo, ou seja, $VPL > 0$, e a de $TIR=14\%$ que é maior do que a taxa de atratividade do investimento estabelecida, ocasionando a aprovação do projeto em questão.

O sistema de *payback* simples, para efeito de estudo, resultou os valores que constam na Tabela 9, onde se percebe que no sétimo ano de operação o *payback* passa a ser positivo, indicando que neste período o projeto se pagou utilizando economia promovida pelo uso do mesmo, e ao final da vida útil projetada o retorno seria de R\$182.780,20.

Tabela 9. *Payback* simples para o sistema fotovoltaico em comparação ao uso de geradores.

	Investimento	Fluxo de Caixa	<i>Payback</i> Simples
Ano 0	-R\$ 75.649,39		-R\$ 75.649,39
Ano 1		R\$ 11.573,20	-R\$ 64.076,19
Ano 2		R\$ 11.283,87	-R\$ 52.792,32
Ano 3		R\$ 11.197,07	-R\$ 41.595,25
Ano 4		R\$ 11.110,27	-R\$ 30.484,97
Ano 5		R\$ 11.023,47	-R\$ 19.461,50
Ano 6		R\$ 10.936,68	-R\$ 8.524,82
Ano 7		R\$ 10.849,88	R\$ 2.325,05
Ano 8		R\$ 10.763,08	R\$ 13.088,13
Ano 9		R\$ 10.676,28	R\$ 23.764,41
Ano 10		R\$ 10.589,48	R\$ 34.353,89
Ano 11		R\$ 10.502,68	R\$ 44.856,57
Ano 12		R\$ 10.415,88	R\$ 55.272,45
Ano 13		R\$ 10.329,08	R\$ 65.601,53
Ano 14		R\$ 10.242,28	R\$ 75.843,82
Ano 15		R\$ 10.155,48	R\$ 85.999,30
Ano 16		R\$ 10.068,69	R\$ 96.067,99
Ano 17		R\$ 9.981,89	R\$ 106.049,87
Ano 18		R\$ 9.895,09	R\$ 115.944,96
Ano 19		R\$ 9.808,29	R\$ 125.753,25
Ano 20		R\$ 9.721,49	R\$ 135.474,74
Ano 21		R\$ 9.634,69	R\$ 145.109,43
Ano 22		R\$ 9.547,89	R\$ 154.657,32
Ano 23		R\$ 9.461,09	R\$ 164.118,41
Ano 24		R\$ 9.374,29	R\$ 173.492,70
Ano 25		R\$ 9.287,49	R\$ 182.780,20

Fonte: Autora.

O custo da energia contratada na distribuidora de energia foi calculado com base na tarifa de R\$ 0,75622/kWh, aplicada em clientes para baixa tensão – Residencial Normal, em vigência no mês de outubro de 2018, considerando a bandeira verde, aplicada pela Enel Distribuição Ceará. Para projeção da tarifa por 25 anos, foi estimada uma taxa de reajuste de 6% ao ano, resultando nos valores pagos anualmente dados na Tabela 10.

Tabela 10. Tarifa estimada e valor pago anualmente energia contratada.

	Tarifa (R\$/kWh)	Valor Pago Anualmente (R\$)
Ano 1	R\$ 0,76	R\$ 8.167,18
Ano 2	R\$ 0,80	R\$ 8.440,78
Ano 3	R\$ 0,85	R\$ 8.878,40
Ano 4	R\$ 0,90	R\$ 9.338,15
Ano 5	R\$ 0,95	R\$ 9.821,11
Ano 6	R\$ 1,01	R\$ 10.328,40
Ano 7	R\$ 1,07	R\$ 10.861,21
Ano 8	R\$ 1,14	R\$ 11.420,78
Ano 9	R\$ 1,21	R\$ 12.008,40
Ano 10	R\$ 1,28	R\$ 12.625,42
Ano 11	R\$ 1,35	R\$ 13.273,25
Ano 12	R\$ 1,44	R\$ 13.953,36
Ano 13	R\$ 1,52	R\$ 14.667,31
Ano 14	R\$ 1,61	R\$ 15.416,70
Ano 15	R\$ 1,71	R\$ 16.203,21
Ano 16	R\$ 1,81	R\$ 17.028,61
Ano 17	R\$ 1,92	R\$ 17.894,72
Ano 18	R\$ 2,04	R\$ 18.803,46
Ano 19	R\$ 2,16	R\$ 19.756,83
Ano 20	R\$ 2,29	R\$ 20.756,91
Ano 21	R\$ 2,43	R\$ 21.805,87
Ano 22	R\$ 2,57	R\$ 22.905,99
Ano 23	R\$ 2,73	R\$ 24.059,62
Ano 24	R\$ 2,89	R\$ 25.269,22
Ano 25	R\$ 3,06	R\$ 26.537,36

Fonte: Autora.

Comparando agora o sistema fotovoltaico com a energia contratada da concessionária de distribuição, o cálculo do VPL é análogo ao feito anteriormente, porém considerando como fluxo de caixa o valor respectivo a geração se fosse contratada, resultando em um VPL de +R\$ 97.537,37 e a de TIR=15% também indicando viabilidade do projeto. Conforme *payback* simples representado na Tabela 11 o projeto se pagaria no oitavo ano de operação, gerando ao final da vida útil projetada uma vantagem econômica de R\$ 314.572,85.

Tabela 11. *Payback* simples para o sistema fotovoltaico em comparação à economia com contratação de energia.

	Investimento	Fluxo de Caixa	<i>Payback</i> Simples
Ano 0	-R\$ 75.649,39		-R\$ 75.649,39
Ano 1		R\$ 8.167,18	-R\$ 67.482,21
Ano 2		R\$ 8.440,78	-R\$ 59.041,44
Ano 3		R\$ 8.878,40	-R\$ 50.163,04
Ano 4		R\$ 9.338,15	-R\$ 40.824,89
Ano 5		R\$ 9.821,11	-R\$ 31.003,79
Ano 6		R\$ 10.328,40	-R\$ 20.675,39
Ano 7		R\$ 10.861,21	-R\$ 9.814,17
Ano 8		R\$ 11.420,78	R\$ 1.606,61
Ano 9		R\$ 12.008,40	R\$ 13.615,01
Ano 10		R\$ 12.625,42	R\$ 26.240,43
Ano 11		R\$ 13.273,25	R\$ 39.513,68
Ano 12		R\$ 13.953,36	R\$ 53.467,04
Ano 13		R\$ 14.667,31	R\$ 68.134,36
Ano 14		R\$ 15.416,70	R\$ 83.551,06
Ano 15		R\$ 16.203,21	R\$ 99.754,27
Ano 16		R\$ 17.028,61	R\$ 116.782,88
Ano 17		R\$ 17.894,72	R\$ 134.677,60
Ano 18		R\$ 18.803,46	R\$ 153.481,05
Ano 19		R\$ 19.756,83	R\$ 173.237,88
Ano 20		R\$ 20.756,91	R\$ 193.994,79
Ano 21		R\$ 21.805,87	R\$ 215.800,66
Ano 22		R\$ 22.905,99	R\$ 238.706,65
Ano 23		R\$ 24.059,62	R\$ 262.766,27
Ano 24		R\$ 25.269,22	R\$ 288.035,49
Ano 25		R\$ 26.537,36	R\$ 314.572,85

Fonte: Autora.

7 CONCLUSÃO

Diante dos objetivos estabelecidos, conclui-se que o trabalho possibilitou elaborar, com êxito, o dimensionamento de um sistema fotovoltaico isolado para atender a demanda energética necessária as operações realizadas no escritório de apoio a obras em locais remotos ou distantes de centros urbanos. Foi verificado que o *container* apresenta condições físicas favoráveis a instalação do sistema de suporte aos painéis e do abrigo para baterias, controlador de carga e inversores dimensionados, sem modificá-lo permanentemente, constatando que, caso haja interesse e recursos financeiros suficientes para implantação do projeto, é possível concretizá-lo.

Uma vez que os procedimentos de dimensionamento seguiram a metodologia indicada pela literatura, os resultados encontrados foram satisfatórios e atendem a demanda estimada.

Apesar do investimento inicial relativamente elevado para adaptação do *container*, R\$ 75.649,39 (já considerando os custos com manutenção e operação ao longo da vida útil), a análise financeira do projeto mostrou que o investimento é bastante viável ao se analisar as outras possibilidades de fornecimento de energia elétrica desses *containers* instalados em locais remotos, mais comumente as unidades geradoras a diesel e a solicitação de interligação com a rede de distribuição, sendo esta segunda algumas vezes inviável devido ao prazo e infraestrutura necessários, onde ambos os casos apresentam um custo referente ao usufruto de um equipamento de outra empresa, e o sistema de geração fotovoltaico dimensionado seria um ativo permanente da empresa podendo ser utilizado em diversas obras seguintes. Considerando os valores calculados de VPL e TIR o investimento é viável, e segundo o demonstrativo de cálculo para o *payback* simples com a economia em relação a locação do gerador a diesel o projeto se paga em 7 anos, e em relação à contratação de energia o retorno do investimento seria em 8 anos.

Ainda existe agregado ao projeto o ganho que a imagem da empresa obtém perante a sociedade ao utilizar esse tipo de solução, pois está agregando a sua cultura a incorporação de práticas ambientalmente sustentáveis e o incentivo ao uso de energia limpa. O modelo apresentado é passível de otimização se oferecido produzido em maior

quantidade, uma vez que vários materiais utilizados têm desconto quando comprados em maior volume.

7.1 Sugestão para trabalhos futuros

Realizar a avaliação dos materiais e equipamentos utilizados no sistema fotovoltaico para identificar oportunidades de melhoria e redução de custos, permitindo o refino da solução como produto a ser disponibilizado no mercado de infraestrutura.

Uma vez que este trabalho abrange apenas a etapa de dimensionamento do sistema fotovoltaico destinado ao atendimento das cargas da instalação elétrica do *container* escritório já previamente adaptado pela locadora dessas estruturas, seria interessante também realizar um estudo detalhado dos custos com materiais e etapas necessárias para adaptação do *container* marítimo para utilização como escritório.

O próprio estudo de mercado para a aplicação da solução de infraestrutura sustentável e independente de rede das concessionárias tomando como base a solução proposta pode contribuir significativamente para a identificação das oportunidades e possíveis investidores interessados.

8 REFERÊNCIAS

GOEBEL, D. Logística – Otimização do transporte e estoque na empresa. Disponível em: <http://xa.yimg.com/kq/groups/24005436/1212690999/name/logistica_otimizacao_do_tr_ansporte_e_estoques_na_empresa.pdf>. Acesso em: 3 de junho de 2018.

OCCHI, T. – Uso de *containers* na construção civil: Viabilidade construtiva e percepção dos moradores de Passo Fundo – RS. Revista de Arquitetura IMED, 2016.

METALICA. *Container City*: Um novo conceito em arquitetura sustentável. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/container-city-um-novo-conceito-em-arquitetura-sustentavel>>. Acesso em: 3 de junho de 2018.

SOCRATES, N. Shipping *Container Architecture Booklet*. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/100148797/Shipping-Container-Architecture-Booklet-pdf>>. Acesso em: 8 de junho de 2018.

Atlas Brasileiro de Energia Solar. Enio Bueno Pereira; Fernando Ramos Martins; Samuel Luna de Abreu e Ricardo Rüther. – São José dos Campos: INPE, 2006.

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Energia Solar. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>. Acesso em: 17 de agosto de 2018.

_____. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012.

_____. Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015.

_____. Resolução Normativa nº 83, de 22 de outubro de 2004.

_____. Resolução Normativa nº 493, de 05 de junho de 2012.

World Energy Resources – Full Report. World Energy Council, 2016.

O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica. Instituto Ideal e Câmara de Comércio Brasil – Alemanha, Edição 2017. Disponível em: <<http://americadosol.org/pesquisas/>>. Acesso em: 3 de junho de 2018.

Outlook for Energy: A View to 2040, Exxon Mobil, 2018.

Energia Solar – Princípios e Aplicações. CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO (CRESESB). Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf>. Acesso em: 17 de agosto de 2017.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO (CRESESB). Disponível em: <<http://cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 17 de agosto de 2017.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. – Manual de Engenharia para sistemas Fotovoltaicos. Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES, CEPEL – CRESESB, edição revisada e atualizada, Rio de Janeiro, 2014.

OLIVEIRA, J. V.; Dimensionamento e Viabilidade Econômica para um Projeto de Microgeração. 2017. 51f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade de Fortaleza – UNIFOR, Fortaleza, 2017.

ENEL X. Tudo sobre energia solar: Tipos de sistema (On grid e off grid). Disponível em: <<https://www.enelx.com.br/blog/2016/06/energia-solar-tipos-de-sistema-on-grid-e-off-grid/>>. Acesso: 25 novembro 2018.

NAKABAYASHI, Renny. Microgeração fotovoltaica no Brasil: Viabilidade econômica. Dissertação (Mestrado em ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

MACEDO, J. de J.; Análise de projeto e orçamento empresarial – Curitiba: InterSaberes, 2014. (Série Gestão Financeira).

Tarifas, Taxas e Impostos. Enel Distribuição Ceará. Disponível em: <<https://www.eneldistribuicao.com.br/ce/TaxasETarifas.aspx>> Acesso em: 05 de dezembro de 2018.

Dados Abertos. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/dados-abertos-anp>>. Acesso em: 05 de dezembro de 2018.

9 ANEXOS

Anexo 1. Desenhos.

ENL-EO-DL-01 - ESCRITÓRIO MÓVEL – Vistas Laterais 1/6

ENL-EO-DL-01 - ESCRITÓRIO MÓVEL – Cortes 2/6

ENL-EO-DL-01 - ESCRITÓRIO MÓVEL – Instalações 3/6

ENL-EO-DL-01 - ESCRITÓRIO MÓVEL – Sistema Fotovoltaico – Vista Geral 4/6

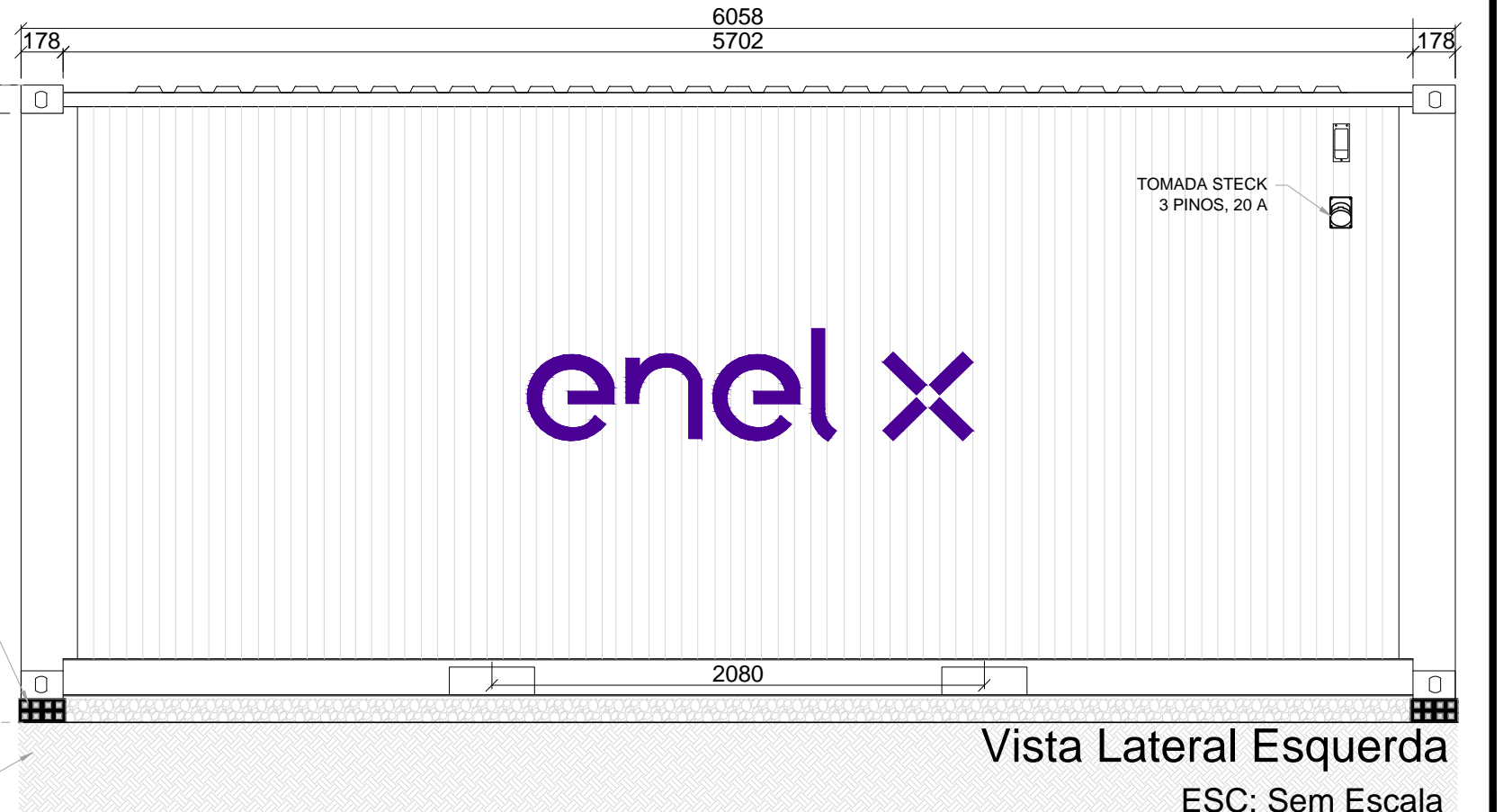
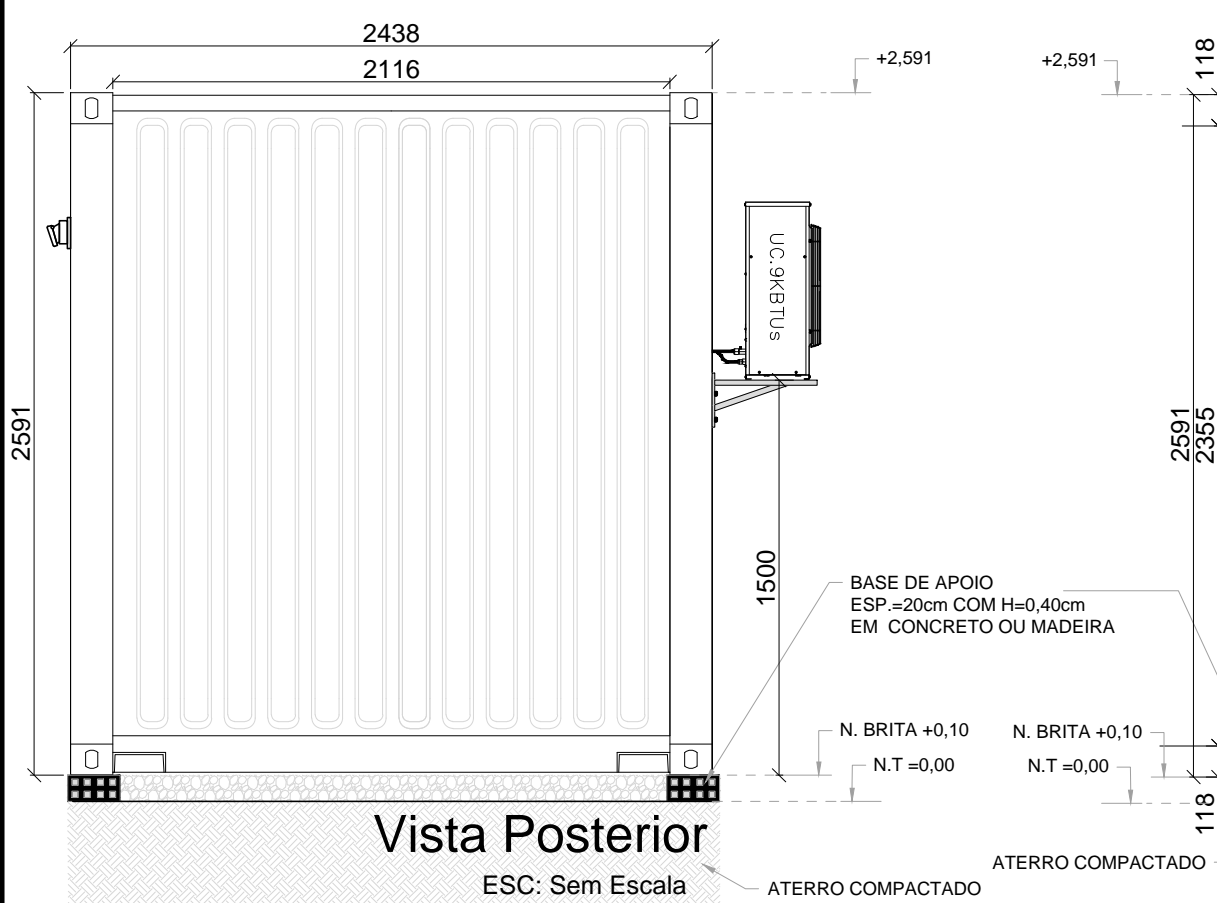
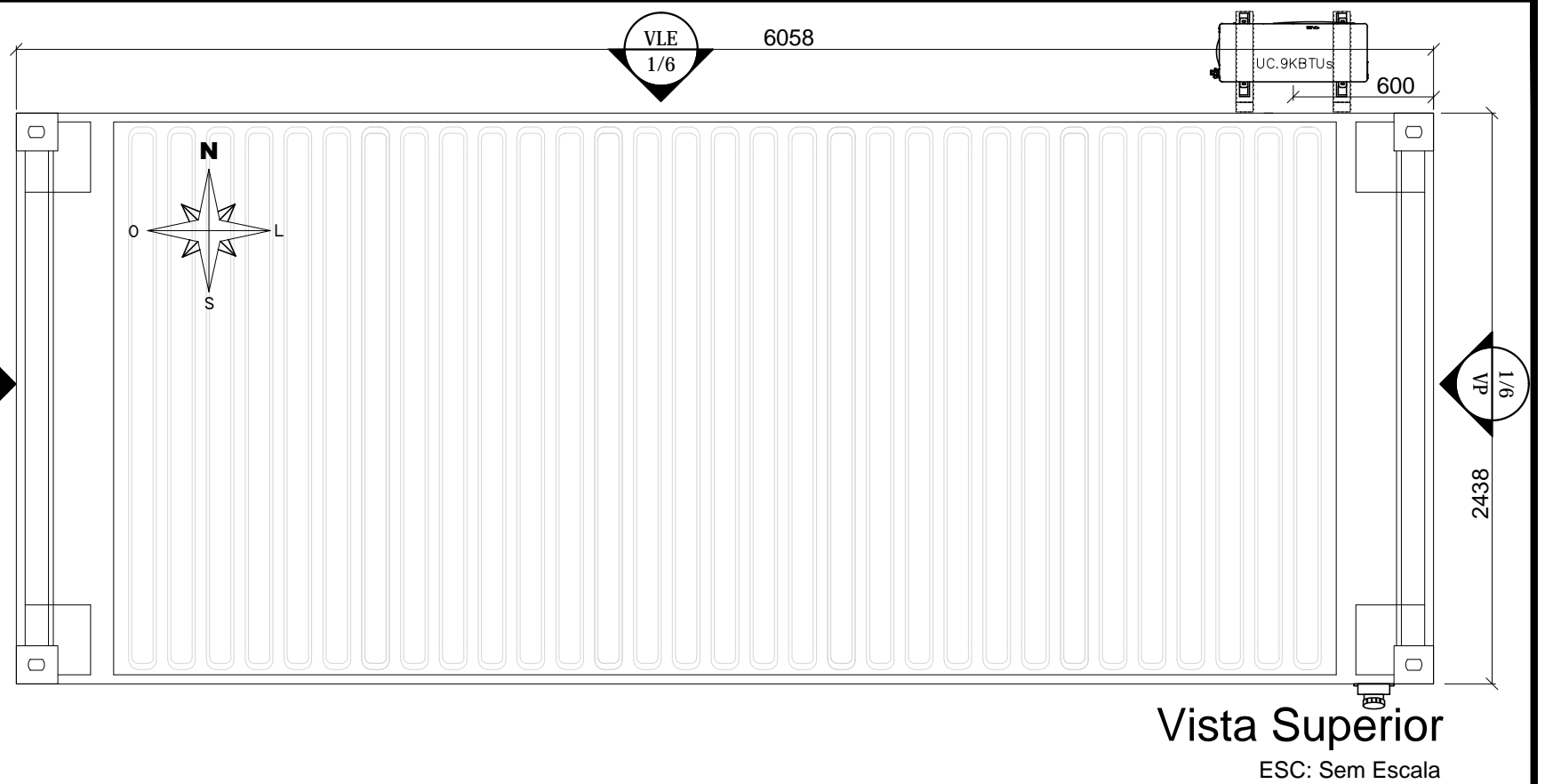
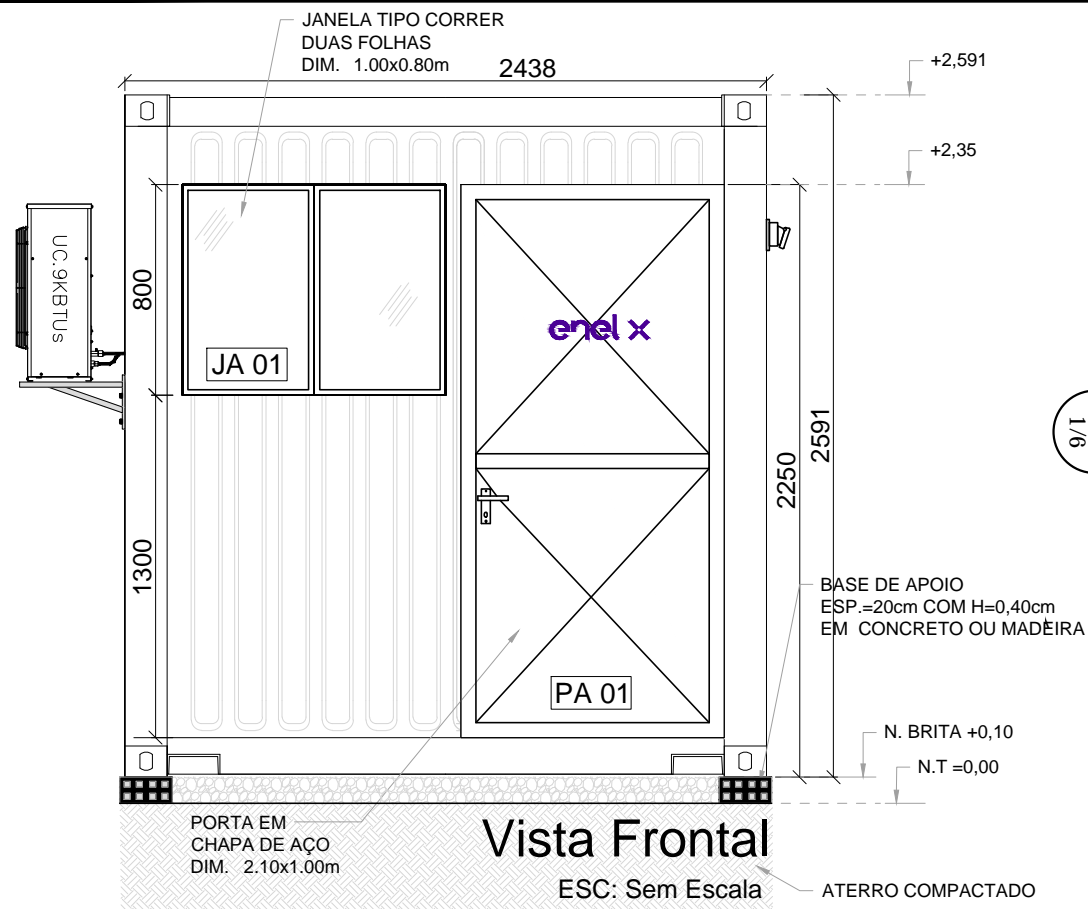
ENL-EO-DL-01 - ESCRITÓRIO MÓVEL – Sistema Fotovoltaico – Equipamentos 5/6

ENL-EO-DL-01 - ESCRITÓRIO MÓVEL – Diagrama de Interligação Elétrica 6/6

Anexo 2. Lista de Materiais.

Anexo 3. Folha de dados do Módulo Fotovoltaico – Jinko.

Anexo 1. Desenhos.



OBSERVAÇÕES:

- 1 - MEDIDAS E ELEVAÇÕES EM MILIMETROS, SALVO INDICADA EM CONTRÁRIO.
- 2 - A PORTA PA1 DEVE SER DO TIPO ABRIR, EM CHAPA DE AÇO 14, COM FECHO DE ABERTURA, DIMENSÕES D=2,00 x1,00 M, COM .
- 3 - A JANELA JA1 DEVE SER DO TIPO CORRER DUAS ABAS, EM ALUMÍNIO, COM MOUDURA EM CHAPA DE AÇO 14, VIDRO VERDE, DIMENSÕES D=1,00 x0,80 M.

VERSÕES DE OBRA	7	6	5	4	3	2	1	VER	DESCRIÇÃO DA VERSÃO DO PROJETO	DATA	PROJETO
							X	1	Revisão da especificação dos equipamentos.	25/11/2018	INICIAL
							X	1	Projeto Inicial.	04/06/2018	INICIAL

FORNECEDOR:

enel x

Enel X Brasil S.A. - Business Application
Rua Marinho Silva 55, Galpão Nº 15, CEP 60861-530
Fortaleza - Ceará - Brasil, (085) 3133-9304

DESENHO: LAÍS

PROJETO: LAÍS RAYNNE PINHEIRO LINS

DATA: 04/06/2018

PROJETO: CONTAINER - ESCRITÓRIO DE OBRAS

PRANCHA: 01/06

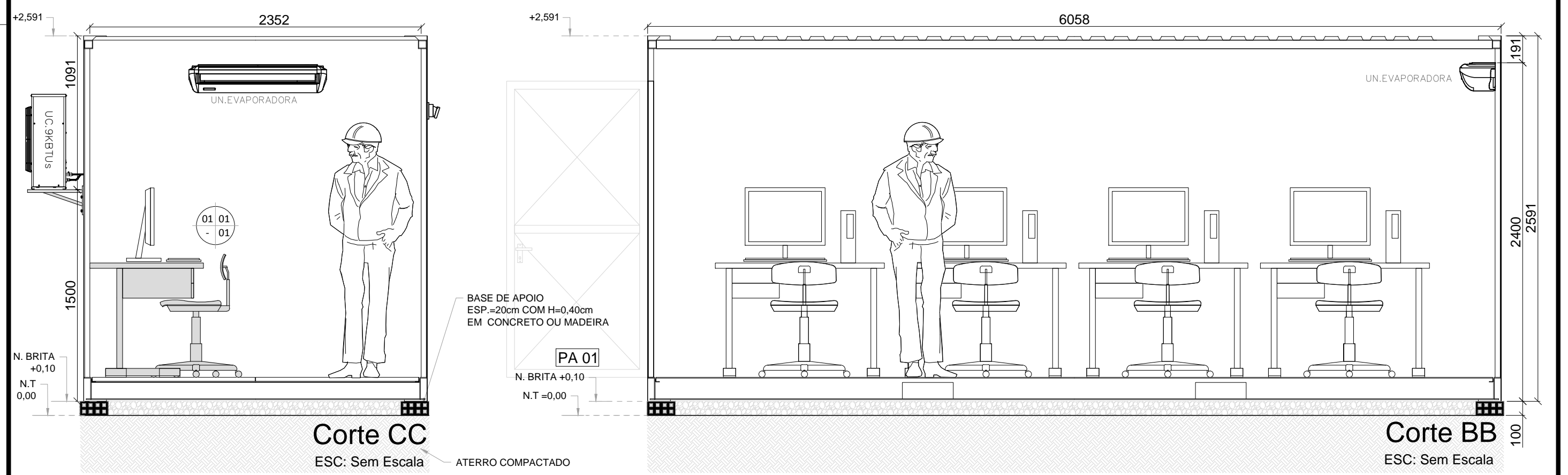
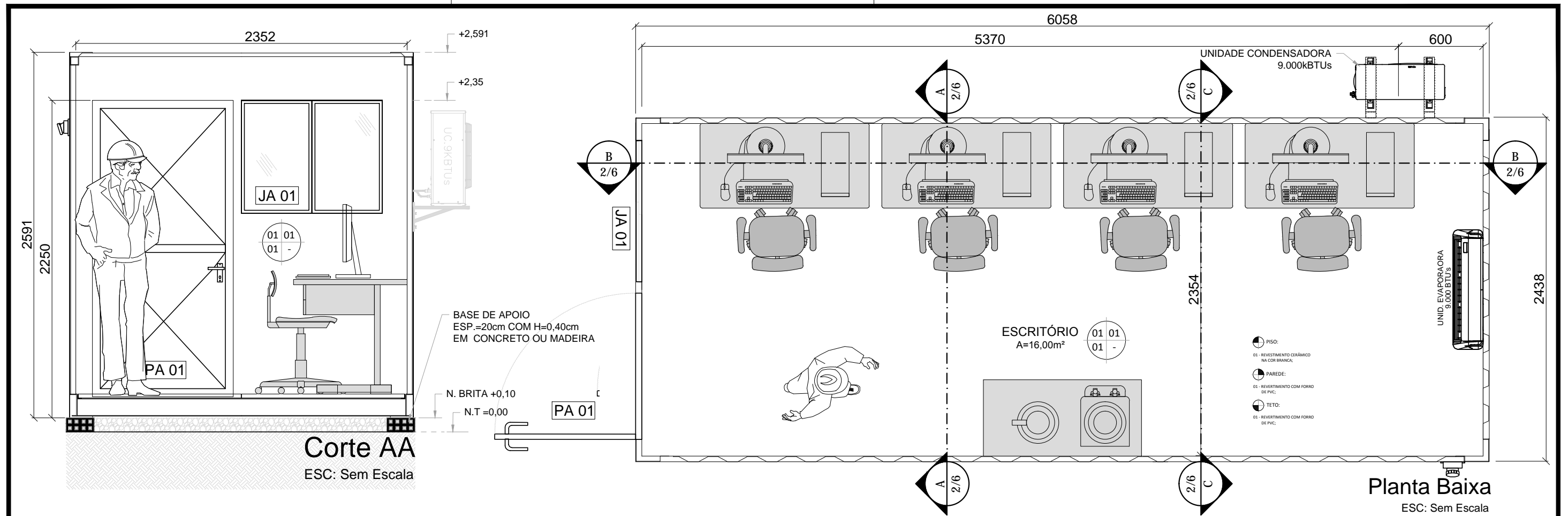
TÍTULO: PROJETO ARQUITETÔNICO / VISTAS

Nº DO DESENHO: ENL-E0-DE-01

REVISÃO: 1.0

VERSÃO: 1.0

ESCALA: S/E



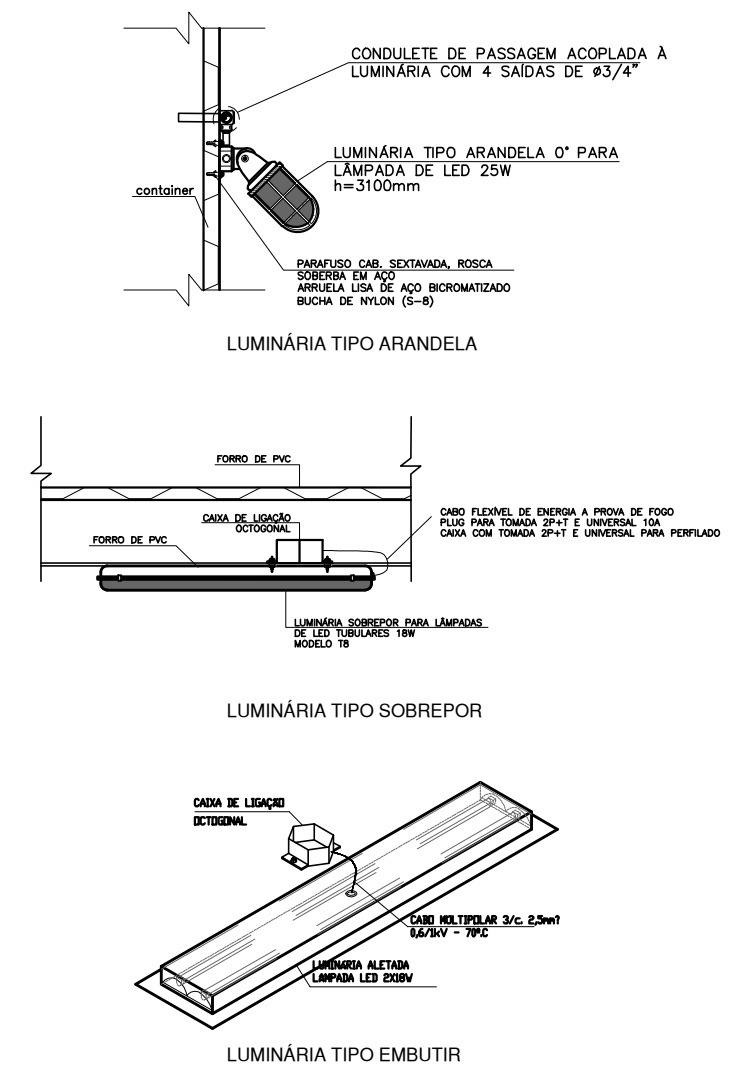
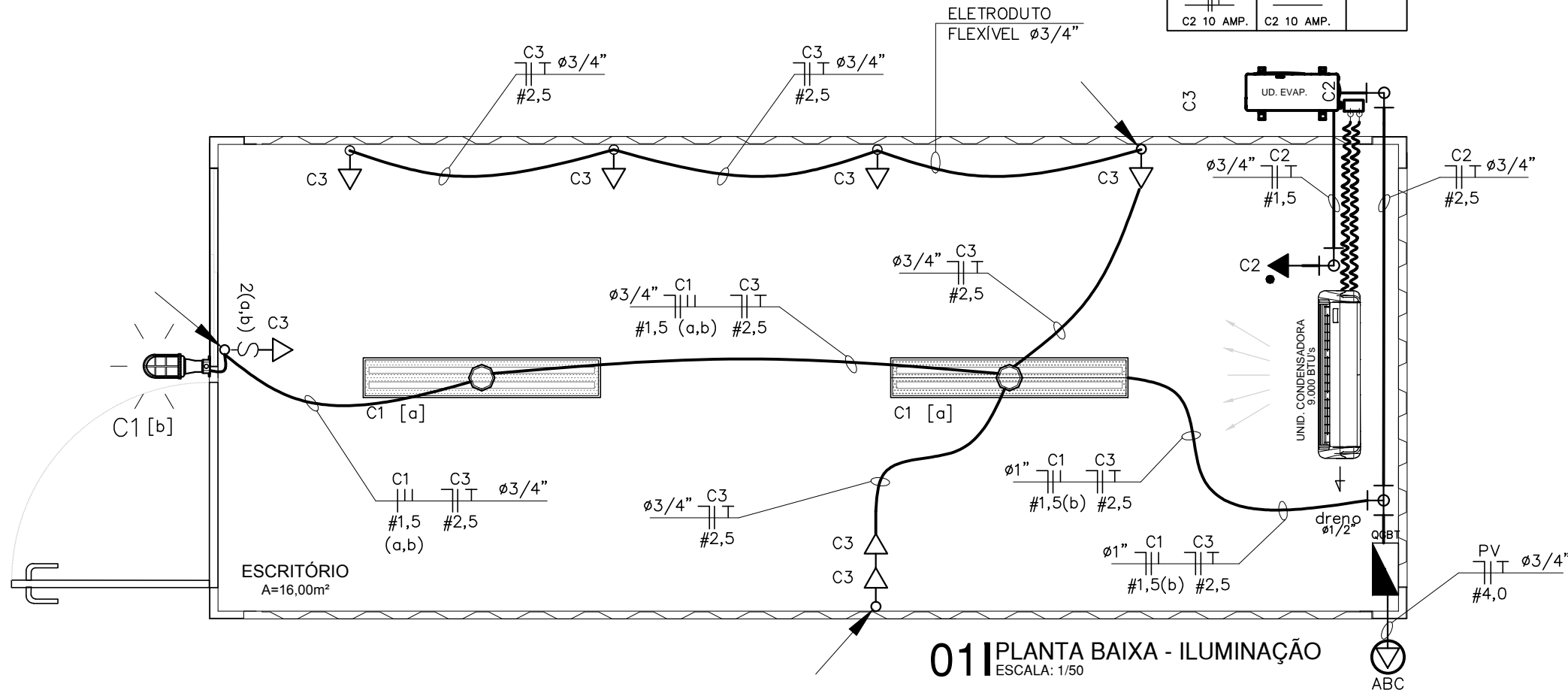
OBSERVAÇÕES:

- 1 - MEDIDAS E ELEVAÇÕES EM MILÍMETROS, SALVO INDICADA EM CONTRÁRIO.
- 2 - A PORTA PA1 DEVE SER DO TIPO ABRIR, EM CHAPA DE AÇO 14, COM FECHO DE ABERTURA, DIMENSÕES D=2,00 x1,00 M, COM.
- 3 - A JANELA JA1 DEVE SER DO TIPO CORRER DUAS ABAS, EM ALUMÍNIO, COM MOUDURA EM CHAPA DE AÇO 14, VIDRO VERDE, DIMENSÕES D=1,00 x0,80 M.

VERSÕES DE OBRA	7	6	5	4	3	2	1	VER	DESCRIÇÃO DA VERSÃO DO PROJETO	DATA	PROJETO
							X	1	Revisão da especificação dos equipamentos.	25/11/2018	INICIAL
							X	1	Projeto Inicial.	04/06/2018	INICIAL

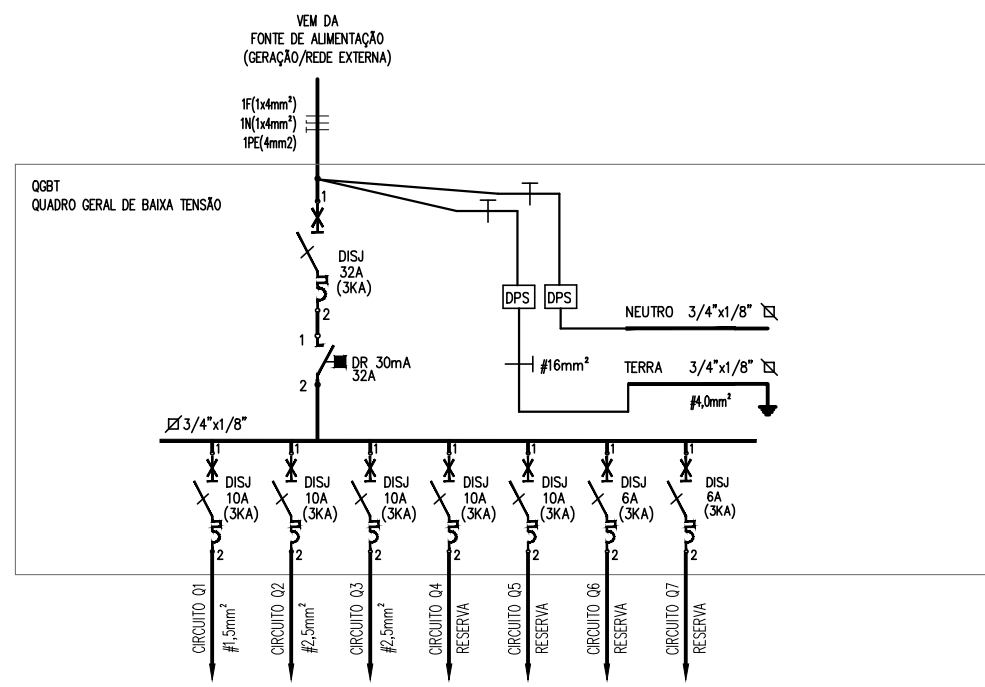
 Enel X Brasil S.A. - Business Application Rua Maranhão Silva 55, Galpão Nº 15, CEP 60861-530 Fortaleza - Ceará - Brasil, (085) 3133-9304	DESENHO: LAÍS PROJETO: LAÍS RAYNNE PINHEIRO LINS DATA: 04/06/2018	PROJETO: CONTAINER - ESCRITÓRIO DE OBRAS PRANCHIA: 02/06 TÍTULO: PROJETO ARQUITETÔNICO / CORTES N° DO DESENHO: ENL-EO-DE-01 REVISÃO: 1.0 VERSÃO: 1.0 ESCALA: S/E
--	---	--

LINHA LIQUIDO Ø3/8"	LINHA SUCCÃO Ø3/4"	DRENO Ø1/2"
ALIMENTAÇÃO 3#2,5mm ²	COMANDO 2#2,5mm ²	
C2 10 AMP.	C2 10 AMP.	

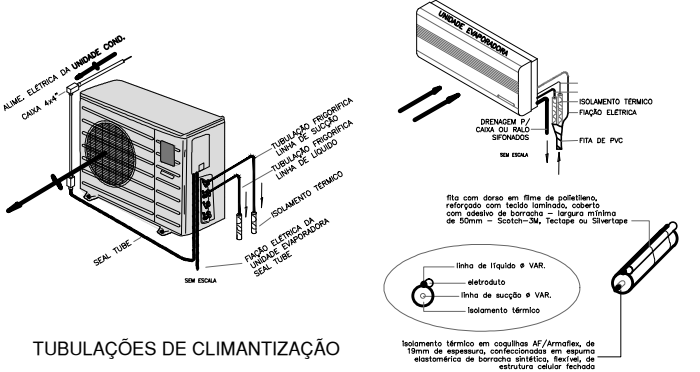


01 PLANTA BAIXA - ILUMINAÇÃO
ESCALA: 1/50

PSA - QUADRO DE CARGA								
CIRCUITO	FASES	TOMADAS		AR COND.	LÂMPADAS	POTÊNCIA TOTAL	CORRENTE	DISJUTOR
		100	300	580 W	18W 25W	[W]	[A]	[A]
Q1 - ILUMINAÇÃO	A	-	-	-	04 01	97	0,44	10
Q2 - AR CONDIC.	B	-	-	01	-	580	2,63	10
Q3 - TOMDADAS	C	02	05	-	-	1700	7,72	10
Q4 - RESERVA	A	-	-	-	-	0,00	0,00	10
Q5 - RESERVA	B	-	-	-	-	0,00	0,00	10
Q6 - RESERVA	C	-	-	-	-	0,00	0,00	6
Q7 - RESERVA	A	-	-	-	-	0,00	0,00	6
GERAL (INVERSOR 5.000 W - 22.72 A)						2377	10.87	32



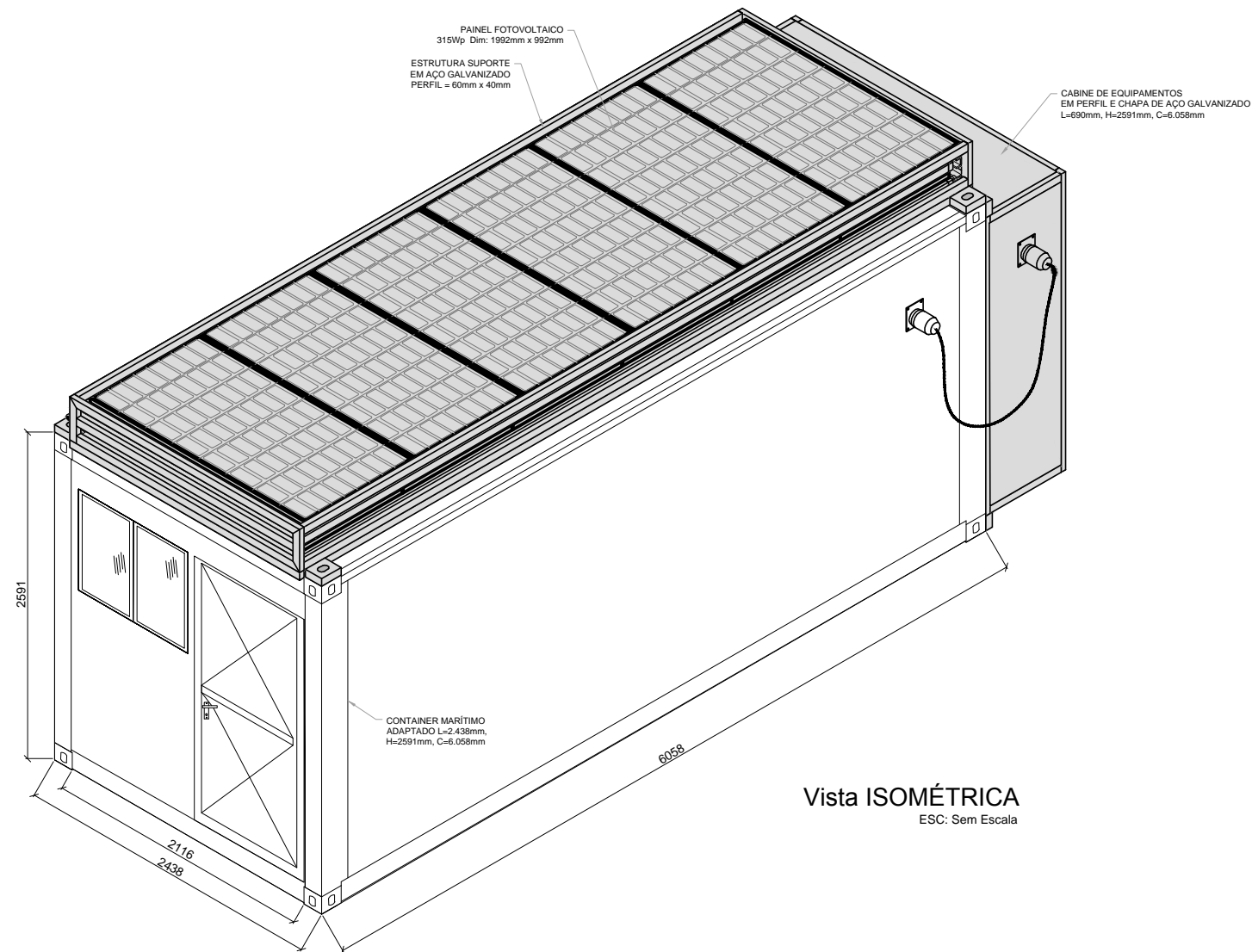
- LEGENDA**
- ELETRODUTO DE PVC FLEXÍVEL EMBUTIDO NO FORRO
 - INTERRUPTOR SIMPLES, MONTADO EM CAIXA 4X2
 - INTERRUPTOR DUPLO, MONTADO EM CAIXA 4X2
 - TOMADA BAIXA 2P + T PADRÃO BRASILEIRO, 10A-250vac "E" h= 300mm DO PISO.
 - TOMADA ALTA 2P + T PADRÃO BRASILEIRO, 10A-250vac ALTA "E" h= 2.200mm DO PISO.
 - TOMADA MÉDIA 2P + T PADRÃO BRASILEIRO, 10A-250vac ALTA "E" h= 1.200mm DO PISO.
 - LUMINÁRIA SOBREPOR OU EMBUTIR PARA LÂMPADAS LED TUBULARES T5 2X18W. CORPO EM POLICARBONATO INJETADO E REFLETOR EM CHAPA DE AÇO TRATADA COM ACABAMENTO EM PINTURA ELETROSTÁTICA NA COR BRANCA E ALETAS.
 - TOMADA EXTERNA TIPO STECK, COM 3 PINOS, FASE, NEUTRO E TERRA CAPACIDADE NOMINAL 20A, TENSÃO 400 VOLTS.



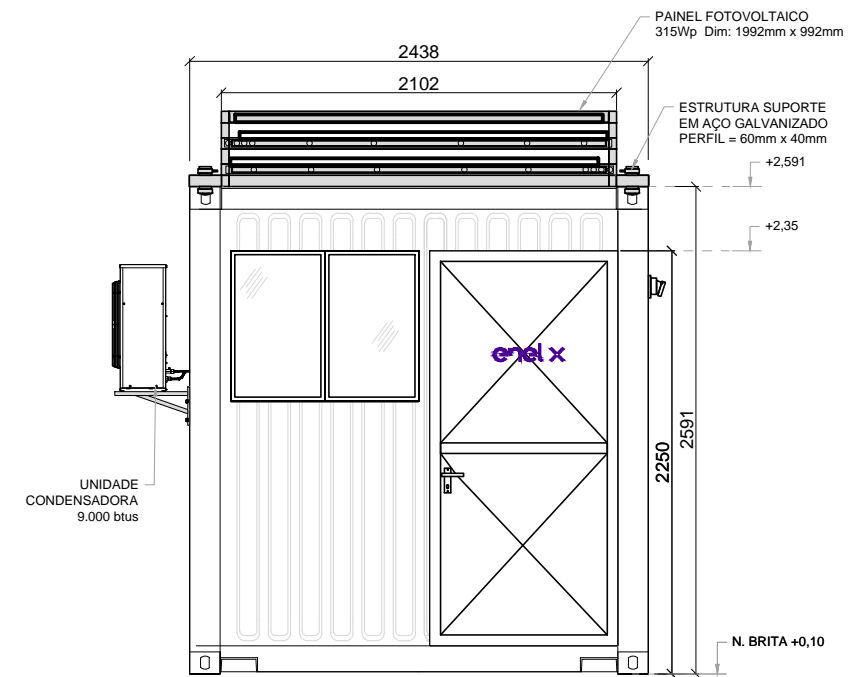
- OBSERVAÇÕES:**
- TODO ELETRODUTO NÃO COTADO SERÁ DE Ø3/4" EXCETO ONDE INDICADO AO CONTRÁRIO.
 - COTAS E ELEVAÇÕES EM MILÍMETROS, SALVO INDICAÇÃO CONTRÁRIA.
 - CABOS NÃO COTADOS SERÃO DE #2,5mm².
 - OS CABOS APLICADOS NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA SERÃO DO TIPO AFUMEX COM CLASSE DE TENSÃO 1KV DO FABRICANTE PRYSMIAN OU SIMILAR COM EQUIVALENCIA TÉCNICA.
 - OS CABOS PARA A ALIMENTAÇÃO DAS LUMINÁRIAS DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO INTERNA DEVERÃO SER POR MEIO DE CABO UNIPOLAR DE #1,5mm² DO TIPO AFUMEX CLASSE DE TENSÃO 1KV, DO FABRICANTE PRYSMIAN OU SIMILAR.
 - TODAS AS PARTES METÁLICAS DEVERÃO SER ATERRADAS CONFORME A DISPOSIÇÃO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO INSTALADO AO LONGO DO EMPREENDIMENTO.

VERSÕES DE OBRA	7	6	5	4	3	2	1	VER	DESCRIÇÃO DA VERSÃO DO PROJETO	DATA	PROJETO	FORNECEDOR:
							X	1	Revisão da especificação dos equipamentos.	25/11/2018	INICIAL	 Enel X Brasil S.A. - Business Application Rua Maranhão Silva 55, Galpão Nº 15, CEP 60861-530 Fortaleza - Ceará - Brasil, (085) 3133-9304
							X	1	Projeto Inicial.	04/06/2018	INICIAL	

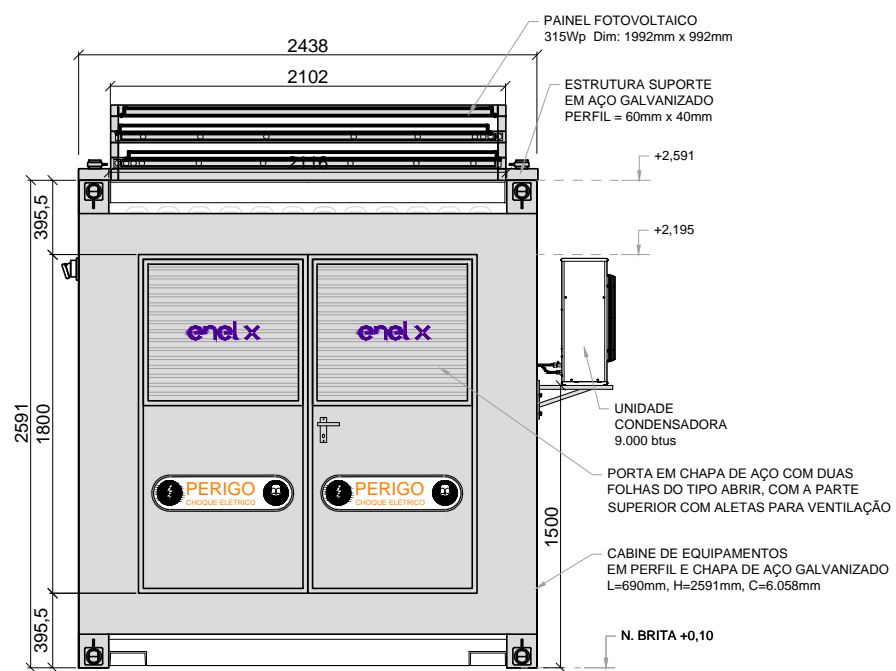
DESENHO: LAÍS	PROJETO: CONTAINER - ESCRITÓRIO DE OBRAS	PRANCHA: 03/06
PROJETO: LAÍS RAYNNE PINHEIRO LINS	TÍTULO: PROJETO ARQUITETÔNICO / INST. ELÉTRICA	
DATA: 04/06/2018	Nº DO DESENHO: ENL-EO-DE-01	REVISÃO: 1.0
	VERSÃO: 1.0	ESCALA: S/E



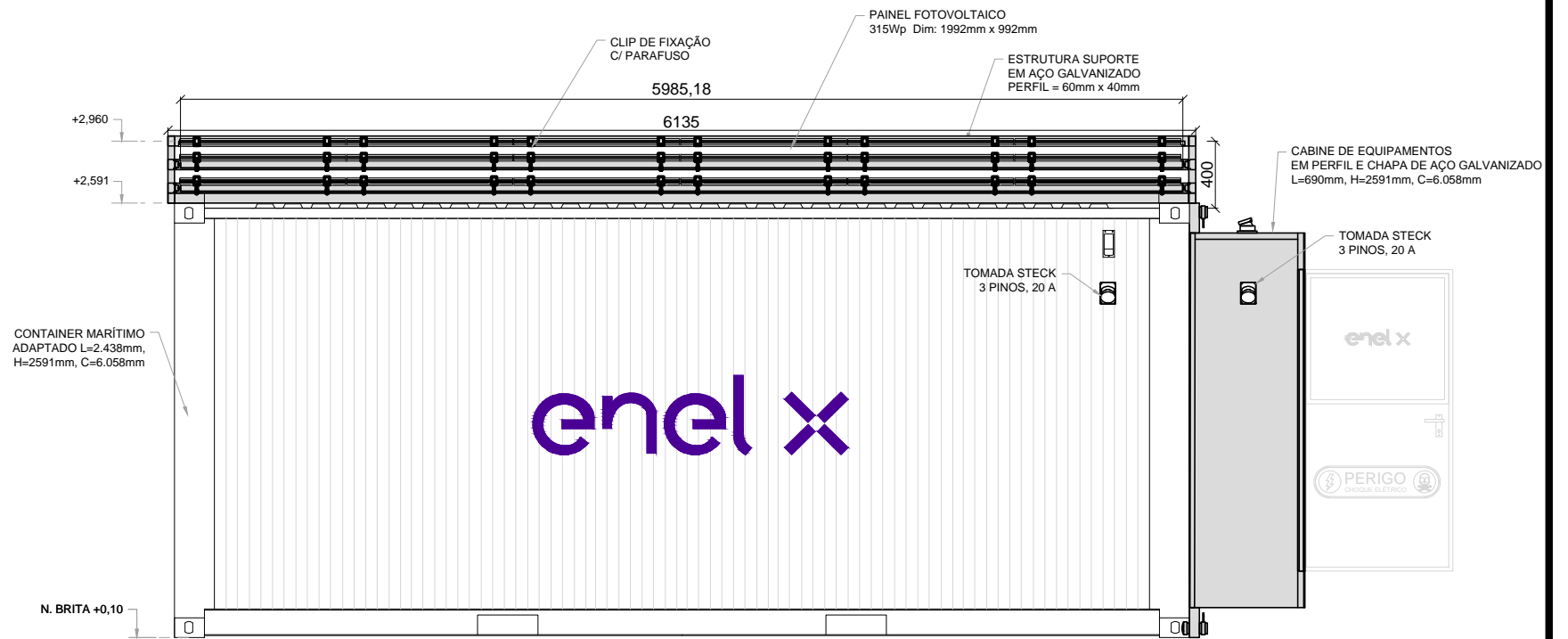
Vista ISOMÉTRICA
ESC: Sem Escala



Vista Frontal
ESC: Sem Escala



Vista Posterior
ESC: Sem Escala



Vista Lateral Esquerda
ESC: Sem Escala

OBSERVAÇÕES:

- 1 - TODO ELETRODUTO NÃO COTADO SERÁ DE 3/4" EXCETO ONDE INDICADO AO CONTRÁRIO.
- 2 - COTAS E ELEVAÇÕES EM MILÍMETROS, SALVO INDICAÇÃO CONTRÁRIA.
- 3 - AS ESTRUTURAS DE SUPORTE DEVE SER TRANSPORTADA COM SUAS BANDEIAS RETRAÍDAS E TRINADAS.
- 4 - OS CLIPS DE FIXAÇÃO DEVEM SER APLICADOS COM TORQUE RECOMENDADO PELO FABRICANTE.
- 5 - TODAS AS PARTES METÁLICAS DEVERÃO SER ATERRADAS CONFORME A DISPOSIÇÃO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO INSTALADO AO LONGO DO EMPREENDIMENTO.

VERSÕES DE OBRA	7	6	5	4	3	2	1	VER	DESCRIÇÃO DA VERSÃO DO PROJETO	DATA	PROJETO
							X	1	Revisão da especificação dos equipamentos.	25/11/2018	INICIAL
							X	1	Projeto Inicial.	04/06/2018	INICIAL

FORNECEDOR:

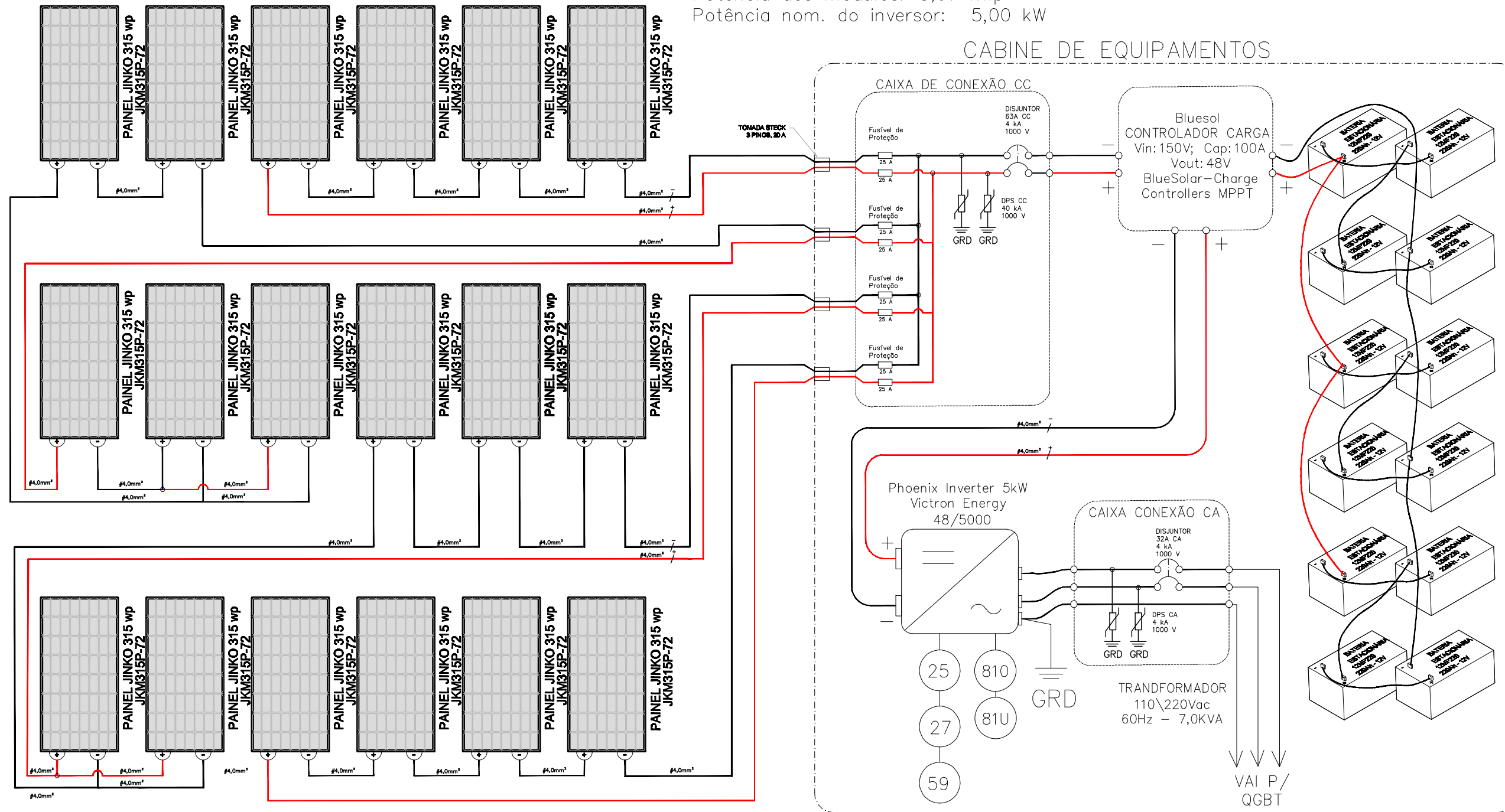
Enel X Brasil S.A. - Business Application
Rua Maranhão Silva 55, Galpão Nº 15, CEP 60861-530
Fortaleza - Ceará - Brasil, (085) 3133-9304

DESENHO:	LAÍS
PROJETO:	LAÍS RAYNNE PINHEIRO LINS
DATA:	04/06/2018

PROJETO:	CONTAINER - ESCRITÓRIO DE OBRAS	PRANCHA:	04/06
TÍTULO:	SISTEMA FOTOVOLTAICO / FIXAÇÃO		
Nº DO DESENHO:	ENL-EO-DE-01	REVISÃO:	1.0
VERSÃO:	1.0	ESCALA:	S/E

Potência dos módulos: 5,67 kWp
Potência nom. do inversor: 5,00 kW

CABINE DE EQUIPAMENTOS



Requisitos de Proteção do Inversor:

- 59 Na partida, tensão de fase no máximo 10% maior que a nominal. Tempo de operação no máximo 1,0 segundo. Polarização ou restrição inexistente.
- 25 Na partida, delta-phi = 10°; delta-tensão = 0,05 pu fase-fase; delta-frequência = 0,1 Hz. Tempo de operação no máximo 0,2 segundos. Polarização ou restrição inexistente.
- 810 Na partida, frequência acima de 59,5 no máximo. Tempo de operação no máximo 5,0 segundos. Polarização ou restrição: tensão de fase em, no mínimo, 85% da nominal.
- 27 Na partida, tensão de fase no máximo 10% menor que a nominal. Tempo de operação no máximo 3,0 segundo. Polarização ou restrição inexistente.
- 81U Na partida, frequência acima de 60,5 no máximo. Tempo de operação no máximo 5,0 segundos. Polarização ou restrição: tensão de fase em, no mínimo, 85% da nominal.

VERSÕES DE OBRA	7	6	5	4	3	2	1	VER	DESCRIÇÃO DA VERSÃO DO PROJETO	DATA	PROJETO	FORNECEDOR:	DESENHO:	PROJETO:	PROJETO:	PRANCHA:		
							X	1	Revisão da especificação dos equipamentos.	25/11/2018	INICIAL	enel x	LAÍS	LAÍS RAYNE PINHEIRO LINS	CONTAINER - ESCRITÓRIO DE OBRAS	06/06		
							X	1	Projeto Inicial.	04/06/2018	INICIAL				TÍTULO: SISTEMA FOTOVOLTAICO / DIAGRAMA DE LIGAÇÃO			
													04/06/2018		Nº DO DESENHO: ENL-EQ-DE-01	REVISÃO: 1.0	VERSÃO: 1.0	ESCALA: S/E

ANEXO 2. Lista de Materiais.



RELAÇÃO DE MATERIAL E ORÇAMENTO

Número: ENL-EO-LM-01-R01

Elaboração: Laís Raynne

Data: 18/10/2018

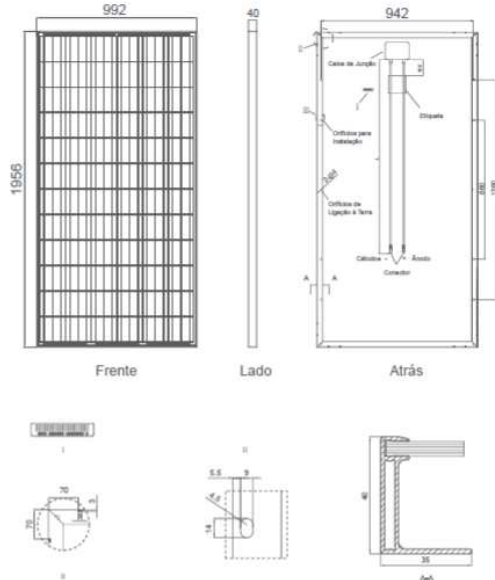
LOCAL: Fortaleza / CE

PROJETO ELETROMECAÂNICO

ITEM	DESCRIÇÃO DE MATERIAL	UNID	QUANT.	VR. UNIT.	VR. TOTAL
	EQUIPAMENTOS E MATERIAIS				
1	SISTEMA FOTOVOLTAICO - EQUIPAMENTOS E DETALHES				
1.1	Painel fotovoltaico policristalino, JINKO 315Wp, JKM315P-72	UD	18	580,00	10.440,00
1.2	Grampo Terminal P/ Fixação De Painel Solar	UD	72	8,50	612,00
1.3	Estrutura suporte para fixação de 18 Paineis Solares	UD	1	3.800,00	3.800,00
1.4	Estrutura para cabine de instalação dos equipamentos	UD	1	1.000,00	1.000,00
1.5	Bateria Estacionária Moura Nobreak 12mn220 220ah	UD	12	950,00	11.400,00
1.6	Inversor de Frequencia Off Grid Monofásico, VICTRON ENERGY, PHOENIX INVERTER, 48/5000, IP 65, frequencia 55/60 Hz, sem transformador, potencia nominal de 5 kW, MPPT=38...66V, Maxima corrente DC de entrada 100 A, conector DC para cabos até 2x6mm ² , Maxima corrente AC de saída 28 A, conector AC para cabos até 1x6mm ² .	UD	1	15.936,41	15.936,41
1.7	Controlador de Carga para baterias DC, BlueSolar, MPPT 150/100, IP 43, corrente nominal 100A, tensão de entrada 150Vcc, para Bateria em 12V / 24V e 48V, onda senoidal pura. Controle de carga por PWM, carga em três estágios, compensação por temperatura e equalização manual ou automática,conector DC para cabos até 35mm ² .	UD	1	4.032,90	4.032,90
1.8	String Box Para Sistemas Fotovoltaicos CC 600v/16-440v, com porta fuzíveis para quatro entradas, e fuzíveis rápidos de 16A, 400V, DPS de corrente contínua e disjuntor de	UD	1	530,00	530,00
1.9	String Box Para Sistemas Fotovoltaicos CA 600v/16-440v, DPS de corrente contínua e disjuntor de proteção.	UD	1	340,00	340,00
1.10	Cabo isolado em "LSHF" - composto Poliolefínico termofixo, não halogenado, cor PRETA, 120°C, 0,6 / 1 kV, SEÇÃO 4,00 mm ² . Mod.: Solarmax Flex SN - FV 0,6/1kV, Fab.:	m	34,5	4,59	158,36
1.11	Cabo isolado em "LSHF" - composto Poliolefínico termofixo, não halogenado, cor VERMELHA, 120°C, 0,6 / 1 kV, SEÇÃO 4,00 mm ² . Mod.: Solarmax Flex SN - FV 0,6/1kV	m	34,5	4,59	158,36
1.12	Conector MC4, tipo macho, 4 mm ²	UD	35	14,16	495,60
1.13	Conector MC4, tipo femea, 4 mm ²	UD	35	14,16	495,60
1.14	FITA ISOLANTE ADESIVA, COR PRETA, À BASE DE CLORETO DE POLIVINILA (PVC), TEMPERATURA DE TRABALHO 80°C, DE 19x0,18 mm, ROLO DE 20m	UD	4	8,36	33,44
1.15	Mão de obra especializada para implementação do projeto e da solução técnica para o sistema solar fotovoltaico.	UD	1	11.642,12	11.642,12
TOTAL GERAL					
VALOR TOTAL					61.074,78

ANEXO 3. Folha de dados do Módulo Fotovoltaico – Jinko.

Diagrama Esquemático



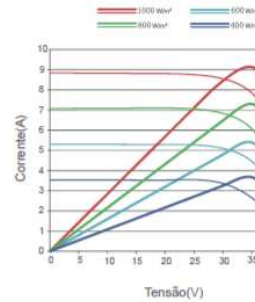
Configuração de Embalagem

(Duas caixas = Uma paleta)

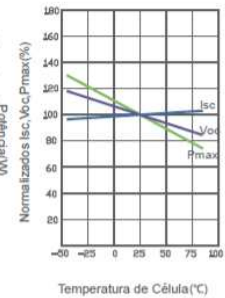
25 peças/caixa, 50 peças/paleta, 600 peças/40'HQ Recipiente

Performance Elétrica & Dependência com Temperatura

Curvas de Tensão-Corrente & Potência Tensão (305W)



Dependência de Temperatura de Isc, Voc, Pmax



Características Mecânicas

Tipo de Célula Poly Crystalline 156×156mm (6 inch)

Número de células 72 (6×12)

Dimensões 1956×992×40mm (77.01×39.05×1.57 inch)

Peso 26.5 kg (58.4 lbs.)

Vidro Frontal 4,0 mm, Alta Transmissão, Baixo Ferro, Vidro Temperado

Moldura Liga de Alumínio Anodizado

Caixa de Junção IP67 Rated

Cabos de conexão TÜV 1×4,0 mm², Comprimento: 900 mm

ESPECIFICAÇÕES

Tipo de Módulo	JKM295P		JKM300P		JKM305P		JKM310P		JKM315P	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Potência Máxima (Pmax)	295Wp	218Wp	300Wp	221Wp	305Wp	225Wp	310Wp	230Wp	315Wp	233Wp
Tensão Máxima (Vmp)	36.2V	33.5V	36.6V	33.7V	36.8V	34.0V	37.0V	34.4V	37.2V	34.7V
Máxima Corrente (Imp)	8.15A	6.50A	8.20A	6.56A	8.30A	6.62A	8.38A	6.68A	8.48A	6.71A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	45.1V	41.9V	45.3V	42.3V	45.6V	42.4V	45.9V	42.7V	46.2V	42.8V
Tensão de Curto circuito (Isc)	8.76A	7.09A	8.84A	7.16A	8.91A	7.21A	8.96A	7.26A	9.01A	7.28A
Eficiência do Módulo (%)	15.20%		15.46%		15.72%		15.98%		16.23%	
Temperatura de Operação(°C)	-40°C~+85°C									
Tensão Máxima do Sistema	1000VDC (IEC)									
Máxima Amperagem do Fusível	15A									
Tolerância de potência	0~+3%									
Coefficientes de temperatura de Pmax	-0.41%/°C									
Coefficientes de temperatura de Voc	-0.31%/°C									
Coefficientes de temperatura de Isc	0.06%/°C									
Temperatura Nominal de Operação da Celula (NOCT)	45±2°C									

STC: Irradiação 1000W/m² Temperatura do Módulo 25°C AM=1.5

NOCT: Irradiação 800W/m² Temperatura do Módulo 20°C AM=1.5 Velocidade do vento 1m/s