

VINÍCIUS GOUVEIA SCARTEZINI DE REZENDE

Análise preventiva do risco na instalação de um sistema fotovoltaico para o Metrô  
em São Paulo

São Paulo

2019

VINÍCIUS GOUVEIA SCARTEZINI DE REZENDE

Análise preventiva do risco na instalação de um sistema fotovoltaico para o Metrô  
em São Paulo

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho.

São Paulo

2019

Dedico este trabalho aos pilares de minhas  
ações e felicidade, Deus, família e amigos,  
por todo apoio, suporte e motivação.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela referência de luz e valores nos momentos de ansiedade e dificuldade.

À Universidade de São Paulo, pelo acolhimento e oportunidade dada em efetuar a especialização.

Aos professores e funcionários da instituição, pela dedicação no aprendizado das disciplinas ministradas e outros ensinamentos adquiridos.

A equipe do Laboratório de Sistemas Fovoltáicos - LSF/USP, pelo apoio que permitiu o estudo de caso relacionado a esta monografia.

À minha família, pelo incentivo, apoio constante e suporte para concretização dessa etapa.

Aos amigos e colegas, dentro e fora do programa da instituição, pelo companheirismo durante aulas e jornadas de estudo.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê”

(Arthur Schopenhauer)

## RESUMO

Dentre as diferentes fontes de energia conhecidas, identifica-se a energia solar fotovoltaica como um interessante mecanismo para a produção de eletricidade, apresentando um grande crescimento ao redor do mundo, principalmente no caso Brasileiro em que é verificado, desde 2012, um considerável aumento desses sistemas conectados à rede e em ambientes urbanos. Tal crescimento implica em uma grande geração de empregos focados diretamente na instalação desses sistemas, processo que deve ser acompanhado com bastante atenção. Existem diversos eventos indesejados que podem ocorrer durante o processo de instalação de um sistema fotovoltaico relacionados principalmente com as energias gravitacional, elétrica e biomecânica. Uma análise preventiva do risco na instalação de um sistema fotovoltaico, por meio do uso de uma ferramenta de gerenciamento de risco, permite identificar possíveis eventos indesejados e definir ações que reduzam os riscos de uma determinada atividade a níveis mais toleráveis. Neste estudo, utilizou-se uma planilha de Excel embasada em uma ferramenta de análise de risco denominada *Workplace Risk Assessment Control* (WRAC), o que trouxe uma abordagem semiquantitativa para analisar os principais riscos envolvidos no processo de instalação de um sistema fotovoltaico. Um total de 28 eventos indesejados foram levantados e relacionados a diferentes perigos, possibilitando definir o nível de risco para cada evento indesejado e traçar ações que, ao serem implementadas, podem contribuir para uma maior segurança no processo de instalação, diminuindo a probabilidade de ocorrência de um acidente e/ou incidente.

**Palavras-chave:** Sistema fotovoltaico. Gerenciamento de risco. Evento indesejado. WRAC.

## ABSTRACT

Among the different known energy sources, photovoltaic solar energy is identified as an interesting mechanism for electricity production, presenting a great growth around the world, especially in the Brazilian case where is verified, since 2012, a considerable increase of these systems connected to the grid and in urban environments. Such growth implies in a large generation of jobs focused directly on the installation of these systems, a process that must be followed with great attention. There are several undesired events that may occur during the installation process of a photovoltaic system related mainly to gravitational, electrical and biomechanical energies. A preventive risk analysis in the photovoltaic system installation, through the use of a risk management tool, allows to identify possible undesired events and define actions that reduce the risk of a certain activity to more tolerable levels. In this study, an Excel worksheet based on the risk analysis tool called Workplace Risk Assessment Control (WRAC) was used, which brought a semiquantitative approach to analyze the main risks involved in the photovoltaic system installation process. A total of 28 undesired events were raised and related to different hazards, allowing the risk level definition for each undesired event and actions that, when implemented, can contribute to a greater safety in the installation process, reducing accident and/or incident occurrence probability.

**Keywords:** Photovoltaic system. Risk management. Undesired event. WRAC.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Número de conexões à rede entre 2012 e 2018 .....                        | 14 |
| Figura 2 - Potência total instalada de energia fotovoltaica entre 2012 e 2018 ..... | 15 |
| Figura 3 - Emprego global de energia renovável por tecnologia .....                 | 16 |
| Figura 4 - Acidente envolvendo um sistema fotovoltaico .....                        | 17 |
| Figura 5 - Célula, módulo, painel e arranjo fotovoltaico .....                      | 20 |
| Figura 6 - Componentes utilizados em um módulo fotovoltaico .....                   | 20 |
| Figura 7 - Caixa de junção e terminais com os cabos conectores .....                | 21 |
| Figura 8 - Exemplo de estrutura de suporte para módulos fotovoltaicos.....          | 22 |
| Figura 9 - Exemplo de inversor fotovoltaico .....                                   | 23 |
| Figura 10 - Exemplo de controlador de carga .....                                   | 24 |
| Figura 11 - Exemplo de banco de baterias dedicado a um sistema fotovoltaico .....   | 24 |
| Figura 12 - Ilustração de um sistema fotovoltaico <i>off-grid</i> .....             | 25 |
| Figura 13 - Ilustração de um sistema fotovoltaico <i>on-grid</i> .....              | 26 |
| Figura 14 - Acidentes do trabalho, com ou sem CAT e motivo .....                    | 27 |
| Figura 15 - Acidentes do trabalho com CAT, por motivo de 2015 a 2017 .....          | 28 |
| Figura 16 - Principais ferramentas de análise de risco.....                         | 30 |
| Figura 17 - Hierarquia de controles .....                                           | 31 |
| Figura 18 - Processo de gestão do risco conforme ISO 31000.....                     | 32 |
| Figura 19 - Outros termos importantes em SST.....                                   | 34 |
| Figura 20 - Área destinada à instalação do sistema fotovoltaico.....                | 35 |
| Figura 21 - Matriz de risco para a atividade de instalação .....                    | 37 |
| Figura 22 - Nível de probabilidade para a classificação do risco.....               | 37 |
| Figura 23 - Modelo de planilha para a análise preventiva do risco.....              | 38 |
| Figura 24 - Ilustração da cobertura da edificação .....                             | 40 |
| Figura 25 - Estrutura de alvenaria entorno das áreas úteis.....                     | 40 |
| Figura 26 - Porta para acesso à cobertura.....                                      | 41 |
| Figura 27 - Tubulações e mangueiras próximas ao piso.....                           | 42 |
| Figura 28 - Escada tipo marinheiro .....                                            | 43 |
| Figura 29 - Cobertura da edificação .....                                           | 43 |
| Figura 30 - Subestação da edificação .....                                          | 44 |



|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 31 - Trajeto do cabeamento do sistema .....                              | 45 |
| Figura 32 - Disposição ilustrativa dos módulos fotovoltaicos na cobertura ..... | 46 |
| Figura 33 - Diagrama unifilar do sistema de microgeração fotovoltaica .....     | 47 |
| Figura 34 - Atividades nas etapas do processo de instalação do sistema .....    | 48 |
| Figura 35 - Perigos levantados no estudo .....                                  | 50 |
| Figura 36 - Eventos indesejados levantados no estudo .....                      | 51 |
| Figura 37 - Relação dos eventos indesejados com os tipos de perigos .....       | 52 |
| Figura 38 - Planilha da análise preventiva do risco – Parte A .....             | 53 |
| Figura 39 - Planilha da análise preventiva do risco – Parte B .....             | 54 |
| Figura 40 - Planilha da análise preventiva do risco – Parte C .....             | 55 |
| Figura 41 - Planilha da análise preventiva do risco – Parte D .....             | 56 |
| Figura 42 - Planilha da análise preventiva do risco – Parte E .....             | 57 |
| Figura 43 - Resumo da classificação do risco .....                              | 58 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|       |                                                       |
|-------|-------------------------------------------------------|
| ABNT  | Associação Brasileira de Normas Técnicas              |
| AEAT  | Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho          |
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica                  |
| BEL   | Barramento de Equipotencialização Local               |
| BEP   | Barramento de Equipotencialização Principal           |
| BSI   | <i>British Standar Institution</i>                    |
| BTA   | <i>Bow Tie Analysis</i>                               |
| CAT   | Comunicação de Acidente de Trabalho                   |
| CCO   | Centro de Controle Operacional                        |
| CEE   | Comissão de Estudo Especial                           |
| CER   | Contratos de Energia de Reserva                       |
| CNAE  | Classificação Nacional de Atividades Econômicas       |
| EPE   | Empresa de Pesquisa Energética                        |
| EST   | Engenharia de Segurança do Trabalho                   |
| ETA   | <i>Event Tree Analysis</i>                            |
| EVA   | Etileno-Acetato de Vinila                             |
| FMECA | <i>Failure Mode, Effect and Criticality Analysis</i>  |
| FTA   | <i>Fault Tree Analysis</i>                            |
| HAZOP | <i>Hazard and Operability Studies</i>                 |
| INSS  | Instituto Nacional do Seguro Social                   |
| IRENA | <i>International Renewable Energy Agency</i>          |
| ISO   | <i>International Organization for Standardization</i> |
| LER   | Leilão de Energia de Reserva                          |
| LTA   | <i>Logic Tree Analysis</i>                            |

|       |                                                              |
|-------|--------------------------------------------------------------|
| MF    | Ministério da Fazenda                                        |
| MME   | Ministério de Minas e Energia                                |
| NIOSH | <i>National Institute for Occupational Safety and Health</i> |
| NORA  | <i>National Occupational Research Agenda</i>                 |
| OHSAS | <i>Occupational Health and Safety Assessments Series</i>     |
| OSHA  | <i>Occupational Safety and Health Administration</i>         |
| P&D   | Pesquisa e Desenvolvimento                                   |
| SLAM  | <i>Stop, Look, Assess and Manage</i>                         |
| SPDA  | Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas            |
| SST   | Saúde e Segurança do Trabalho                                |
| WRAC  | <i>Workplace Risk Assessment and Control</i>                 |

## SUMÁRIO

|          |                                                         |           |
|----------|---------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                 | <b>13</b> |
| 1.1      | OBJETIVO .....                                          | 18        |
| 1.2      | JUSTIFICATIVA.....                                      | 18        |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>                       | <b>19</b> |
| 2.1      | ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E SISTEMA FOTOVOLTAICO ..... | 19        |
| 2.2      | CONCEITO DE ACIDENTES, INCIDENTES E PREVENÇÃO .....     | 26        |
| 2.3      | CONCEITO DE GERENCIAMENTO DE RISCO .....                | 29        |
| <b>3</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>                         | <b>35</b> |
| 3.1      | ÁREA DESTINADA À INSTALAÇÃO .....                       | 35        |
| 3.2      | FASES DO TRABALHO .....                                 | 36        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                     | <b>40</b> |
| 4.1      | CONSIDERAÇÕES FINAIS.....                               | 58        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÃO.....</b>                                   | <b>60</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                | <b>61</b> |
|          | <b>GLOSSÁRIO .....</b>                                  | <b>64</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Desde 2012, diversos fatores contribuíram para inserção e difusão da geração fotovoltaica conectada à rede no Brasil, como, por exemplo, melhoria da tecnologia em termos de eficiência e versatilidade, redução dos custos de geradores fotovoltaicos no mercado internacional, melhoria do marco regulatório do setor, apoiado por empreendedores e instituições acadêmicas, mobilização governamental para a elaboração de resoluções normativas, por meio da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), como a Resolução Normativa nº 482/2012, Resolução Normativa nº 687/2015 e as Chamadas de Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) Estratégicos, entre outros fatores favoráveis para o crescimento contínuo do mercado fotovoltaico, como os leilões de energia de reserva (ANEEL, 2015).

Em 2014 foi publicada portaria do Ministério de Minas e Energia (MME) nº 236, promovendo o Leilão de Energia de Reserva (LER) do mesmo ano, em que se previam negociações de Contratos de Energia de Reserva (CER) a partir de outubro de 2017, seguindo a modalidade quantidade de energia, com diferenciações por tipo de fonte geradora, onde participaram diferentes projetos. Dentre os diferentes projetos de energia fotovoltaica cadastrados e habilitados, que representaram 10.790 MW, foram contratados somente 202,1 MWmed (EPE, 2014).

O primeiro LER de 2015, oficializado pela portaria MME nº 69, teve projetos de energia fotovoltaica cadastrados e habilitados representando 11.261 MW de potência instalada, sendo contratados 232,9 MWmed. Já o segundo LER de 2015, oficializado pela portaria MME nº 70, teve projetos cadastrados e habilitados representando 20.953 MWp de potência instalada, sendo contratados 245,3 MWmed (EPE, 2015).

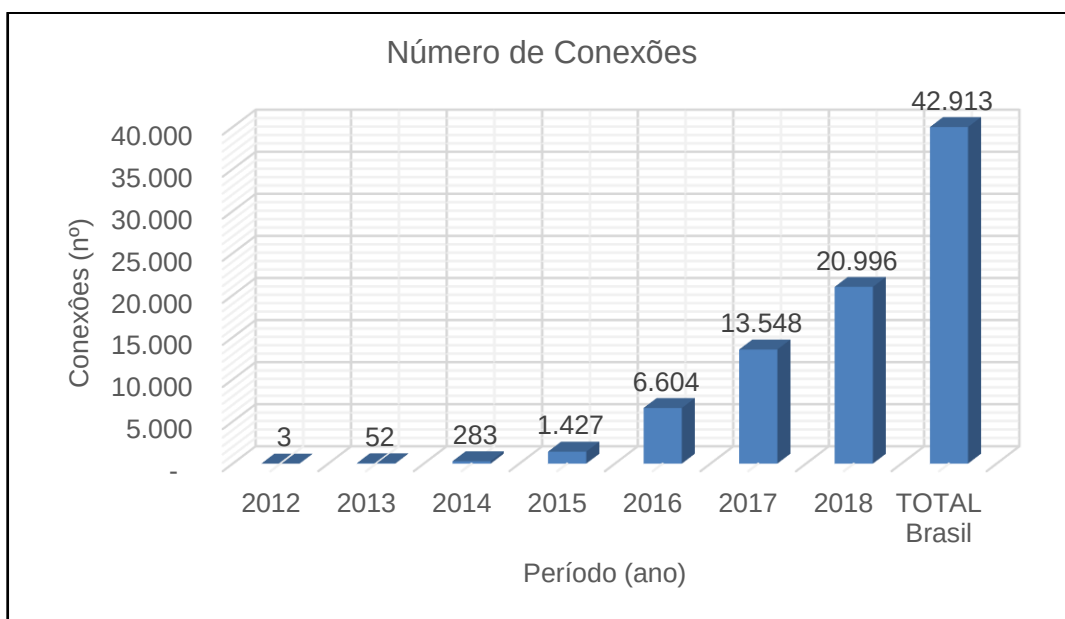
No ano de 2016 não foi verificada participação de energia fotovoltaica em leilões de reserva, visto que o primeiro leilão do ano teve foco em hidroeletricidade e o segundo

acabou sendo cancelado por intermédio da portaria MME nº 705. Segundo o informativo técnico da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), para o leilão A-4 de 2017, com início de suprimento em 1º de janeiro de 2021, foram habilitados 708 projetos, dos quais 315 são empreendimentos fotovoltaicos, somando 14.030 MW de potência instalada. Entretanto, somente 20 projetos de energia fotovoltaica foram vencedores, resultando em 172,6 MWmed de energia contratada (EPE, 2017).

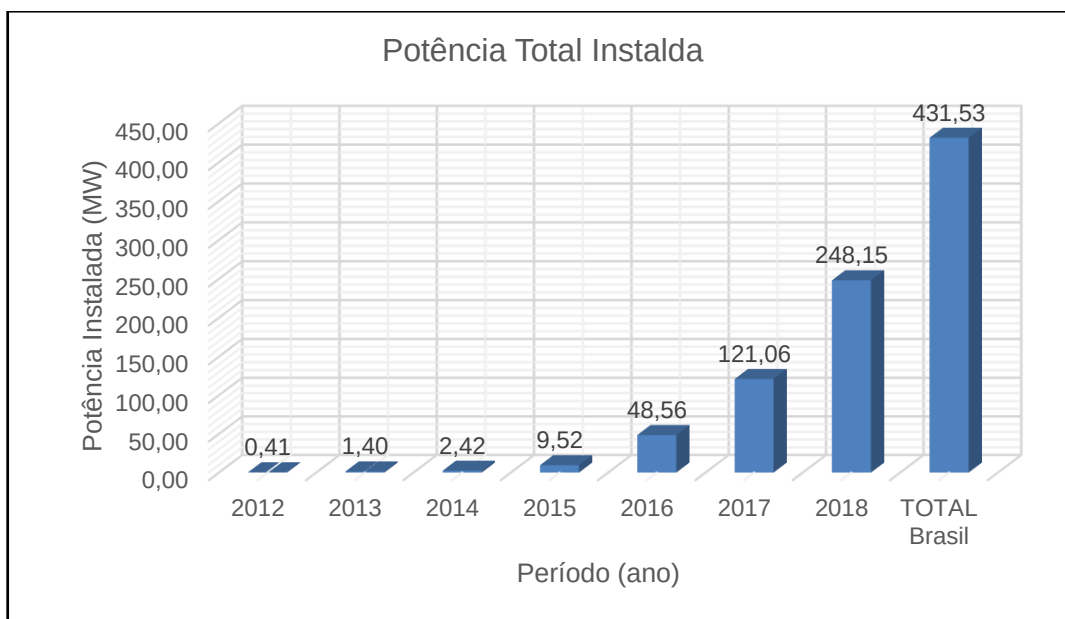
Já no leilão A-4 de 2018 foram habilitados 1059 projetos, dos quais 422 são de fonte solar fotovoltaica, representando 13.380 MW de potência instalada com contratação somente de 240,50 MWmed oriundos de 29 projetos vencedores (EPE, 2018).

Segundo os dados da ANEEL, em relação à geração distribuída fotovoltaica, verifica-se que, desde 2012 o número de novas conexões no sistema elétrico brasileiro vêm aumentando significativamente, conforme verificado na Figura 1, totalizando uma potência total instalada de 431,53 MW em 2018, conforme apresentado pela Figura 2 (ANEEL, 2018).

**Figura 1 - Número de conexões à rede entre 2012 e 2018**



**Fonte: Adaptado de ANEEL (2018)**

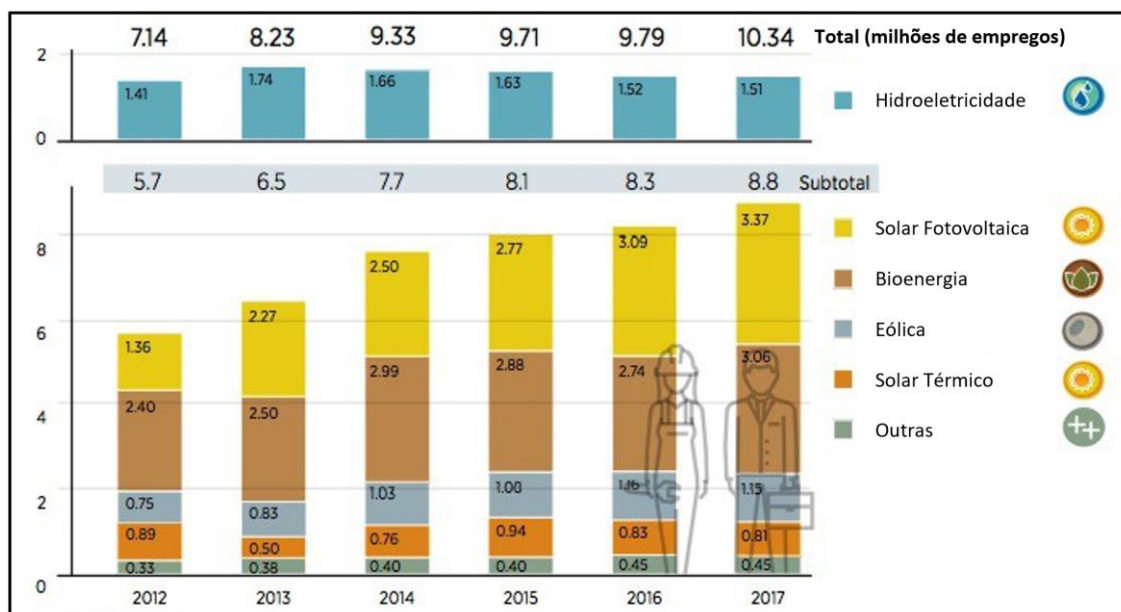
**Figura 2 - Potência total instalada de energia fotovoltaica entre 2012 e 2018**

**Fonte: Adaptado de ANEEL (2018)**

O aumento do número de conexões ao sistema elétrico brasileiro exige uma infraestrutura de apoio social e empresarial sólida, que promova qualificação e capacitação de pessoas e empresas para a fabricação e instalação dos sistemas fotovoltaicos.

Conforme o relatório Energias Renováveis e Empregos de 2018, da Agência Internacional de Energia Renovável, do inglês *International Renewable Energy Agency* (IRENA), dentre as tecnologias renováveis avaliadas evidencia-se a solar fotovoltaica como a tecnologia que mais gera empregos, contribuindo em 3,37 milhões empregos para o setor de energias renováveis, conforme Figura 3 (IRENA, 2018).

**Figura 3 - Emprego global de energia renovável por tecnologia**



Fonte: Adaptado de IRENA (2018)

Diante da relevância das informações referentes ao setor energético fotovoltaico, bem como o aumento da demanda por serviços vinculados à instalação dos sistemas, infere-se uma preocupação em relação a Saúde e Segurança Ocupacional dos trabalhadores desse setor.

Segundo o Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho (AEAT) 2017, promovido pelo Ministério da Fazenda (MF) em conjunto com informações do Instituto Nacional do Seguro Social (INSS), a quantidade total geral de acidentes do trabalho registrados em 2017 no Brasil foi de 549.405,00, uma queda de aproximadamente 6% se comparado ao ano de 2016 (BRASIL, 2017).

Dos 549.405,00 acidentes registrados no Brasil, 889 estão relacionados às empresas pertencentes ao encadeamento produtivo do setor energético fotovoltaico classificadas, segundo a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), nos códigos 4322-3/01 e 4669-9/99 (SEBRAE, 2017).



A busca pela diminuição do número de acidentes deve ser contínua e para tal podem ser utilizadas barreiras que, segundo James Reason, são medidas de controle aplicadas em um determinado processo e que auxiliam na proteção de pessoas e/ou patrimônios. Entretanto, os controles não são totalmente efetivos e apresentam falhas que ao ocorrerem de forma sucessiva poderão acarretar em um acidente e consequentemente aumento de custos para reparar o dano sofrido, conforme apresentado na Figura 4 (REASON, 2000).

**Figura 4 - Acidente envolvendo um sistema fotovoltaico**



**Fonte: UL (2010)**

Executar uma determinada atividade aliada à um gerenciamento preventivo do risco, contendo barreiras eficientes e clareza no processo permite redução de acidentes, redução de custos relacionados a atividade laboral e consequentemente aumento de competitividade de mercado, o que promove geração de valor agregado e diferenciação na qualidade de serviço. Não obstante, o uso de uma ferramenta para análise de riscos de um determinado processo permite execuções operacionais eficientes e seguras.

## 1.1 OBJETIVO

Efetuar uma análise preventiva dos principais riscos envolvidos no processo de instalação de um sistema fotovoltaico dimensionado para o Metrô em São Paulo, no ano de 2018.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A escolha do tema provém da existência de um forte mercado de energia fotovoltaica no Brasil, em que muitas atividades de instalação de sistemas fotovoltaicos, presenciadas pelo autor deste trabalho, foram executadas de forma não padronizada e insegura, permitindo a ocorrência de acidentes e incidentes.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

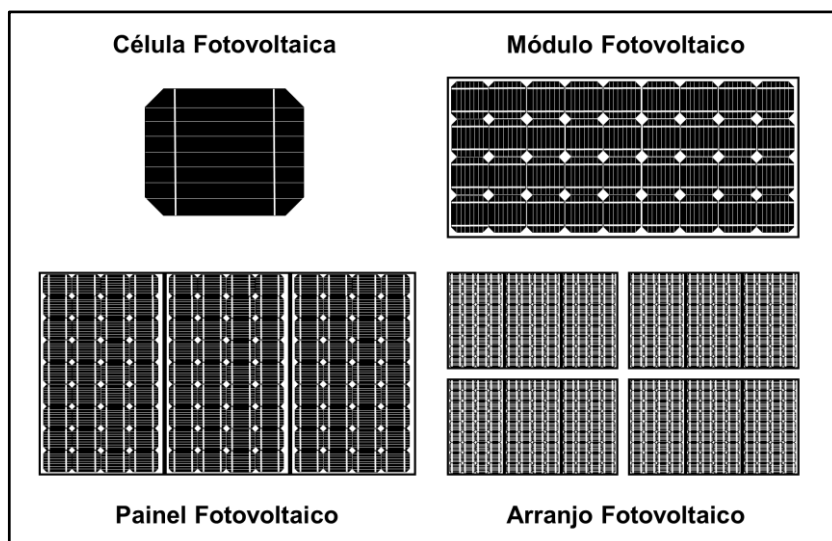
### 2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E SISTEMA FOTOVOLTAICO

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade, devido ao efeito fotovoltaico descoberto em 1839 pelo cientista francês Alexandre-Edmond Becquerel ao evidenciar o surgimento de diferença de potencial nos terminais de uma célula eletroquímica irradiada por luz. Entretanto, somente a partir de 1950 a tecnologia fotovoltaica pode ser aplicada em escala comercial, permitindo inovações e o desenvolvimento de diferentes configurações de sistemas fotovoltaicos, atualmente utilizados (PINHO; GALDINO, 2014).

Um sistema fotovoltaico é constituído por um grupo gerador, um grupo de condicionamento de potência e, opcionalmente, um grupo de armazenamento. O grupo gerador contém os arranjos fotovoltaicos, constituídos por módulos fotovoltaicos em diferentes associações, o cabeamento elétrico que os interconecta e a estrutura para suporte desses elementos. O grupo de condicionamento de potência pode ter conversores de corrente contínua, seguidores de ponto de máxima potência, inversores, controladores de carga e outros dispositivos de proteção, supervisão e controle. O grupo de armazenamento possui acumuladores elétricos, como, por exemplo, baterias. Os principais elementos de cada grupo serão brevemente apresentados a seguir. (PINHO; GALDINO, 2014).

No grupo gerador, um arranjo fotovoltaico também é entendido como um conjunto de painéis fotovoltaicos, que por sua vez são compostos por um conjunto de módulos. Estes, compostos por um agrupamento de células fotovoltaicas (material semicondutor), conforme apresentado na Figura 5.

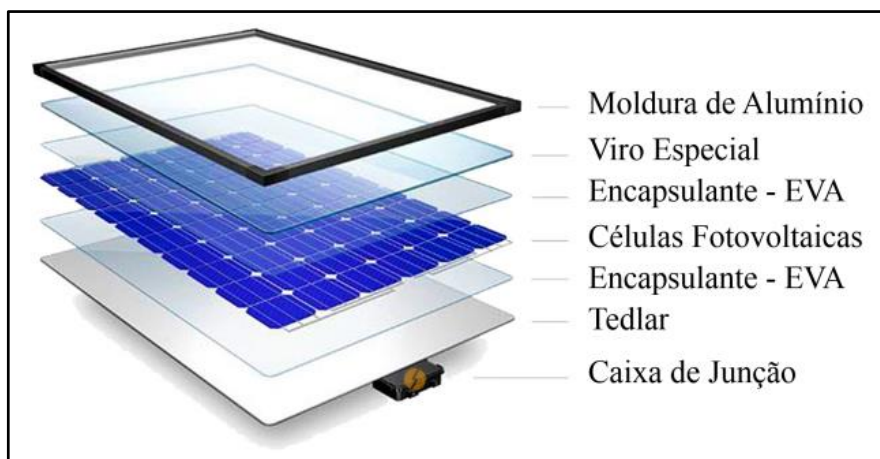
**Figura 5 - Célula, módulo, painel e arranjo fotovoltaico**



Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Os módulos são confeccionados de forma que possam resistir às diferentes condições ambientais, sendo possível a existência de um certo nível de proteção contra a ação de esforços mecânicos, dos agentes atmosféricos e da umidade. A Figura 6 mostra os componentes normalmente utilizados na fabricação de módulos, onde as células são revestidas por uma película de etileno-acetato de vinila (EVA), o que proporciona uma certa flexibilidade, translucidez, diminuição da reflexão da radiação solar e, de certa forma, assegura o isolamento elétrico entre as células (MANI; PILLAI, 2010).

**Figura 6 - Componentes utilizados em um módulo fotovoltaico**



Fonte: Adaptado de PORTALSOLAR (2018)

A caixa de junção está inserida na parte posterior dos módulos e abriga os diodos de desvio e os terminais de conexão utilizados para interconectar módulos fotovoltaicos, conforme apresentado na Figura 7. A caixa de junção também deve atender as normas brasileiras NBR 6146 - Invólucros de Equipamentos Elétricos - Proteção e NBR 9884 - Máquinas Elétricas Girantes - Graus de Proteção Proporcionados pelos Invólucros, possuindo um grau mínimo de proteção IP65 contra entrada de poeira e infiltração de água em forma de jato (PINHO; GALDINO, 2014).

**Figura 7 - Caixa de junção e terminais com os cabos conectores**



**Fonte: Arquivo pessoal (2018)**

Os cabos e terminais dos módulos fotovoltaicos devem ter isolamento adequado para a máxima tensão do sistema e serem capazes de suportar intempéries, possuindo grau de proteção mínimo IP67 contra entrada de poeira e imersão temporária até 1 metro por 30 minutos, e instalados de forma que fiquem protegidos da ação de ventos e submersão em água, preferencialmente fixados à estrutura de suporte do painel fotovoltaico, atendendo a NBR 16612 - Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos,

não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho (PINHO; GALDINO, 2014).

A estrutura de suporte dos módulos fotovoltaicos pode ser encontrada em diferentes modelos e configurações no mercado, tem como função fixar e posicionar os módulos de maneira estável permitindo uma ventilação adequada, dissipação de calor e distanciamento entre módulos, conforme indicação do fabricante. Não obstante, a estrutura de suporte deve estar eletricamente aterrada de forma a evitar ocorrência de surtos e correntes de curto circuito (ALMEIDA, 2012).

A Figura 8 ilustra exemplos de estrutura de suporte para módulos fotovoltaicos.

**Figura 8 - Exemplo de estrutura de suporte para módulos fotovoltaicos**



Fonte: Arquivo pessoal (2018)



No grupo de condicionamento o inversor possui grande importância, uma vez que é o responsável por converter a potência em corrente contínua proveniente gerador fotovoltaico em potência em corrente alternada que, em condições normais, pode ser consumida pelas cargas existentes em uma edificação e/ou injetada na rede elétrica. A Figura 9 apresenta um exemplo de um inversor, o qual pode ser encontrado em diferentes configurações no mercado.

**Figura 9 - Exemplo de inversor fotovoltaico**



**Fonte: Arquivo pessoal (2018)**

O controlador de carga é responsável pela proteção das baterias, dado que controla o processo de carga e descarga das mesmas, prolongando a vida útil e garantindo uma maior eficiência no armazenamento da energia produzida. Dentro do sistema é instalado entre os módulos e as baterias. A Figura 10 apresenta um exemplo de um controlador de carga, o qual pode ser encontrado em diferentes configurações no mercado.

**Figura 10 - Exemplo de controlador de carga**



Fonte: Arquivo pessoal (2018)

No grupo de armazenamento normalmente são utilizadas baterias, principalmente em momentos noturnos ou em dias chuvosos e/ou nublados com baixos níveis de irradiância solar. Desse modo, um conjunto de baterias pode contribuir para um melhor aproveitamento da produção de energia elétrica de um sistema fotovoltaico. A Figura 11 apresenta um exemplo de banco de baterias dedicado a um sistema fotovoltaico.

**Figura 11 - Exemplo de banco de baterias dedicado a um sistema fotovoltaico**

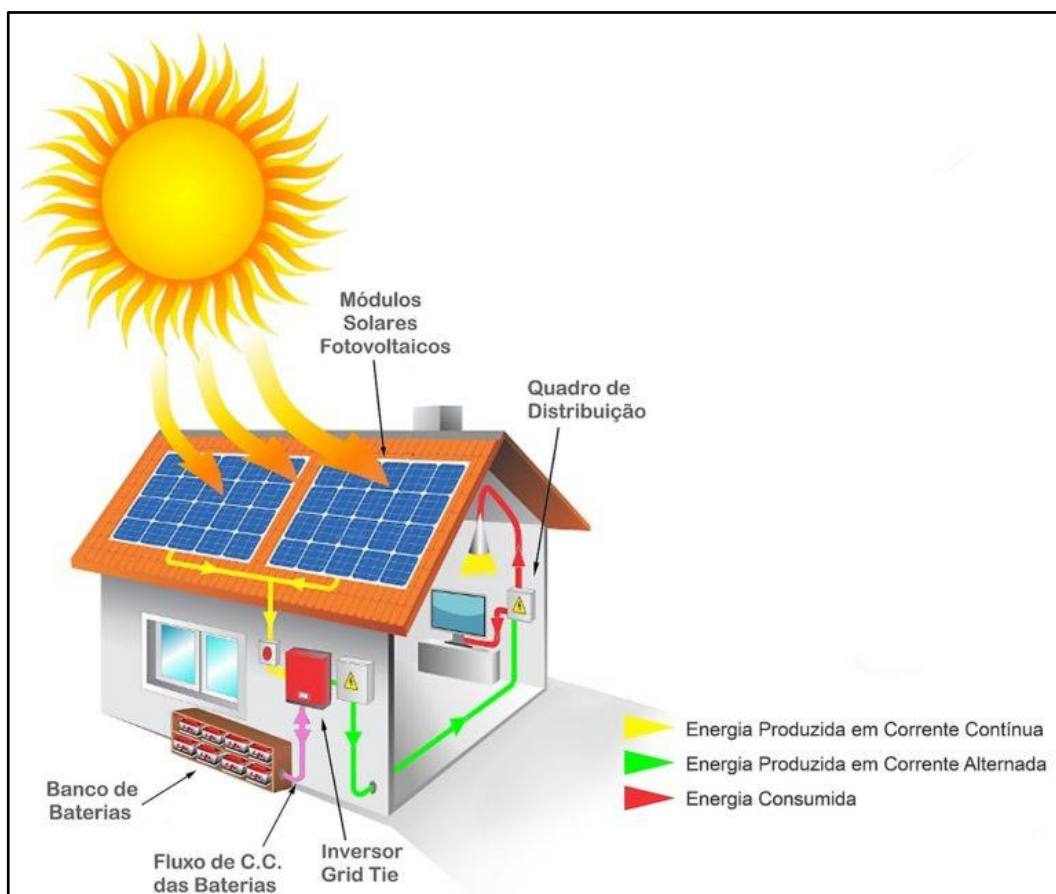


Fonte: Arquivo pessoal (2018)



Os sistemas fotovoltaicos podem ser isolados (*off-grid*) ou conectado à rede de distribuição de energia elétrica (*on-grid*), podem operar de forma híbrida com outros sistemas de geração de energia elétrica ou apenas com a fonte fotovoltaica. A Figura 12 apresenta uma ilustração de um sistema isolado que utiliza um sistema de armazenamento de energia elétrica para os momentos de baixa irradiância solar.

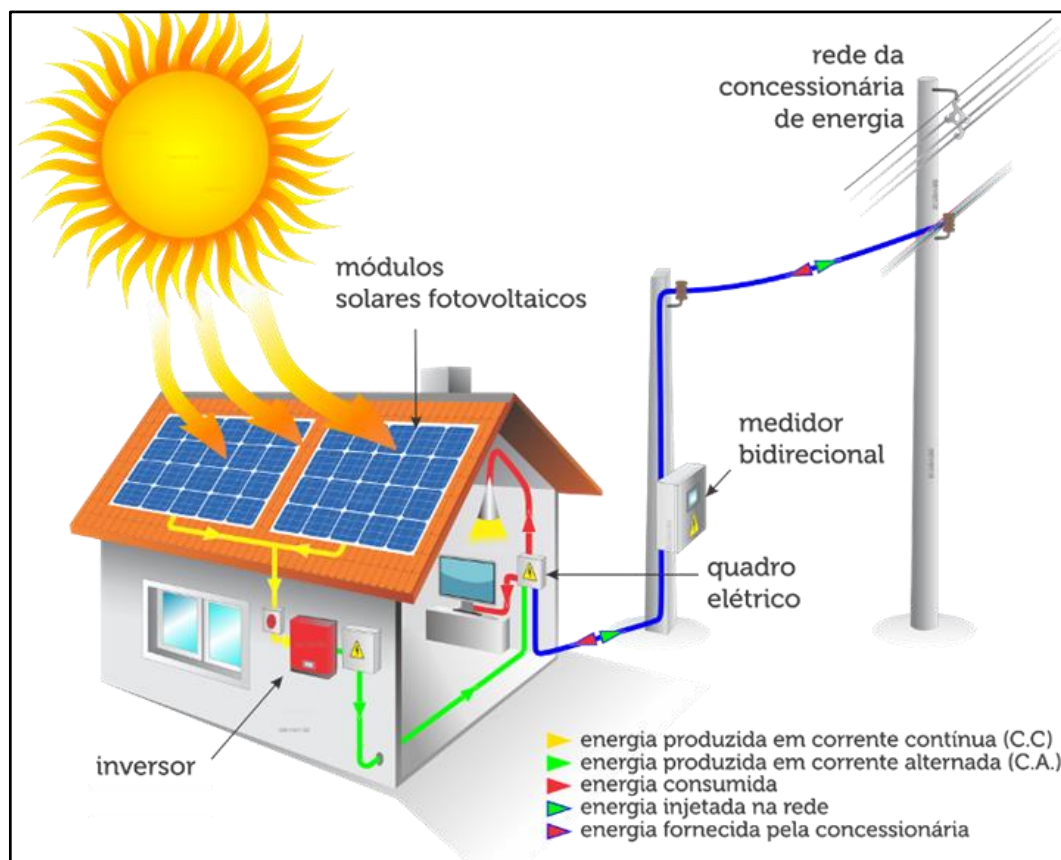
**Figura 12 - Ilustração de um sistema fotovoltaico *off-grid***



Fonte: LUZSOLAR (2018)

A Figura 13 apresenta uma ilustração de um sistema conectado à rede de distribuição.

**Figura 13 - Ilustração de um sistema fotovoltaico *on-grid***



Fonte: LUZSOLAR (2018)

A instalação de um sistema fotovoltaico requer cuidadoso planejamento e coerente gerenciamento dos riscos envolvidos, visto que falhas, acidentes e incidentes podem ocorrer no processo de instalação, seja na etapa de transporte dos materiais, ferramentas e equipamentos, seja na montagem propriamente dita ou até mesmo na conexão com a energia elétrica comercial.

## 2.2 CONCEITO DE ACIDENTES, INCIDENTES E PREVENÇÃO

Acidente de Trabalho é definido, de acordo com o artigo 19 da Lei 8.213 de 24 de julho 1991, que dispõe sobre os benefícios da Previdência Social, com redação alterada pela Lei Complementar nº 150 de 2015, como:

O que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço de empresa ou de empregador doméstico ou pelo exercício do trabalho dos segurados referidos no inciso VII do art. 11 desta Lei, provocando lesão corporal ou perturbação funcional que cause a morte ou a perda ou redução, permanente ou temporária, da capacidade para o trabalho (BRASIL, 1991).

Na mesma lei são apontados nos artigos 20 e 21 outros entendimentos de Acidente de Trabalho, como, por exemplo, as doenças profissionais, os acidentes ocorridos na execução de atividades laborais por ordem da empresa, ainda que ocorridos fora do horário ou local de trabalho, os acidentes no trajeto entre residência e local de trabalho e os ocorridos durante os intervalos das refeições (BRASIL, 1991).

Segundo o Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho de 2017, elaborado com informações do INSS, foram registrados cerca de 550 mil acidentes do trabalho no Brasil, conforme apresentado na Figura 14 (BRASIL, 2017).

**Figura 14 - Acidentes do trabalho, com ou sem CAT e motivo**

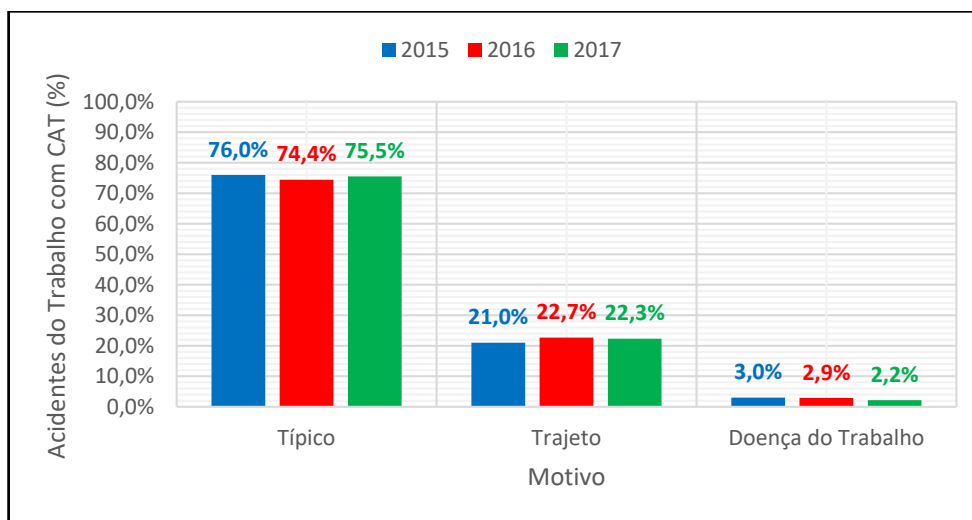
| Ano  | Total Geral | Com CAT       |         |         |                    | Total Sem CAT |
|------|-------------|---------------|---------|---------|--------------------|---------------|
|      |             | Total Com CAT | Típico  | Trajeto | Doença do Trabalho |               |
| 2007 | 659.523     | 518.415       | 417.036 | 79.005  | 22.374             | 141.108       |
| 2008 | 755.980     | 551.023       | 441.925 | 88.742  | 20.356             | 204.957       |
| 2009 | 733.365     | 534.248       | 424.498 | 90.180  | 19.570             | 199.117       |
| 2010 | 709.474     | 529.793       | 417.295 | 95.321  | 17.177             | 179.681       |
| 2011 | 720.629     | 543.889       | 426.153 | 100.897 | 16.839             | 176.740       |
| 2012 | 713.984     | 546.222       | 426.284 | 103.040 | 16.898             | 167.762       |
| 2013 | 725.664     | 563.704       | 434.339 | 112.183 | 17.182             | 161.960       |
| 2014 | 712.302     | 564.283       | 430.454 | 116.230 | 17.599             | 148.019       |
| 2015 | 622.379     | 507.753       | 385.646 | 106.721 | 15.386             | 114.626       |
| 2016 | 585.626     | 478.039       | 355.560 | 108.552 | 13.927             | 107.587       |
| 2017 | 549.405     | 450.614       | 340.229 | 100.685 | 9.700              | 98.791        |

Fonte: BRASIL (2017)

Em comparação com 2016, ocorreu uma redução de aproximadamente 6,2% no número total de acidentes no Brasil, sendo 5,7% com Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT) e 8,2% sem CAT. A distribuição relativa dos acidentes do trabalho com

CAT por motivo de 2015 até 2017 está apresentada na Figura 15 e evidencia que, em 2017, os acidentes típicos representaram 75,5%, os de trajeto 22,3% e as doenças do trabalho 2,2% do total de acidentes com CAT no Brasil (BRASIL, 2017).

**Figura 15 - Acidentes do trabalho com CAT, por motivo de 2015 a 2017**



**Fonte: Adaptado de BRASIL (2017)**

Incidente de trabalho pode ser entendido como um evento com potencial de se tornar um acidente, ou seja, evento não planejado e indesejado que pode causar parada ou transtorno no sistema produtivo. Este transtorno pode ser uma perda de um equipamento, material, lucro cessante e até mesmo prejuízos à imagem da empresa. Incidentes são essencialmente similares aos acidentes, com a diferença de que não ocorrem ferimentos físicos ao trabalhador (ABNT, 2007).

Acidentes e incidentes comumente ocorrem por motivos de cansaço físico e/ou mental, trabalhos repetitivos, estresse, ausência de treinamento, manutenção inadequada e procedimento inadequado. Nesse entendimento, medidas preventivas devem ser tomadas, como, por exemplo, estabelecer horários de descanso, realizar tarefas atermadas, promover melhoria contínua da atividade laboral juntamente com qualificação e capacitação do trabalhador, definir procedimentos objetivos e de fácil entendimento, entre outras (OLIVEIRA, 2018).

A prevenção de acidentes e incidentes do trabalho evoluiu positivamente absorvendo diversos fatores e atividades, desde de somente ações relacionadas a reparação de danos e lesões, até a prevenção de todas as situações que causam efeitos indesejados na área de saúde e segurança do trabalho (GOMES *et al*, 2011).

Entende-se por prevenção toda ação executada no âmbito da engenharia de saúde e segurança do trabalho, com o objetivo de propor medidas de controle para as condições perigosas existentes no ambiente laboral, de forma a evitar eventos indesejados que possam tornar a atividade laboral uma causa de sofrimento, doenças, morte e/ou incapacidade para o trabalhador. A boa gestão das condições perigosas existentes no local de trabalho, juntamente com o engajamento proativo e colaborativo dos trabalhadores, permite melhoria das condições de trabalho com redução de acidentes e custos derivados (USP, 2017).

### 2.3 CONCEITO DE GERENCIAMENTO DE RISCO

Riscos existem em todas as atividades de uma organização e devem ser gerenciados. Entretanto, para um eficiente gerenciamento se faz necessário a correta identificação das condições perigosas existentes em um determinado ambiente, processo e atividade, deixando claro as probabilidades e consequências vinculadas a um certo risco (USP, 2018).

No âmbito da Engenharia de Segurança do Trabalho (EST), o gerenciamento de risco apresenta foco em reduzir o nível de risco de uma determinada atividade para um nível aceitável, minimizando a ocorrência de acidentes e incidentes por meio do uso de uma ferramenta eficiente que permita uma análise consistente de um determinado processo, bem como tomada de ações preventivas e corretivas (USP, 2018).

Existem diversas ferramentas interessantes que podem ser utilizadas em gerenciamento de risco, sendo conhecidas principalmente pelos acrônimos: WRAC, FMECA, HAZOP, FTA, LTA, ETA, BTA e SLAM. A Figura 16 mostra um resumo das principais ferramentas de gerenciamento de risco e seus objetivos.

**Figura 16 - Principais ferramentas de análise de risco**

| Ferramenta | Significado                                                                                                 | Objetivo                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| WRAC       | Workplace Risk Assessment and Control<br>(Avaliação e Controle dos Riscos no Local de Trabalho)             | Decompor o objeto de estudo em etapas, separando os riscos mais críticos dos menos críticos, com a hierarquização feita por meio do método de valoração semiquantitativo. Normalmente empregado em <b>tarefas rotineiras e não rotineiras</b> .                            |
| FMECA      | <i>Failure Mode, Effect and Criticality Analysis</i><br>(Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade) | Determinar a <b>confiabilidade</b> de um equipamento ou de um sistema analisado, desmembrando o equipamento que está sendo analisado em itens/componentes.                                                                                                                 |
| HAZOP      | <i>Hazard and Operability Studies</i><br>(Estudos de Condições Perigosas e Operabilidade)                   | Analisar sistematicamente as variáveis de um processo definindo seus pontos críticos, conhecidos por “ <b>nós de processo</b> ”.                                                                                                                                           |
| FTA        | <i>Fault Tree Analysis</i><br>(Análise de Árvore de Falhas)                                                 | Analisar um episódio, denominado “evento topo”, realizando ramificações para identificação das possíveis <b>falhas que contribuem</b> para a ocorrência do evento topo.                                                                                                    |
| LTA        | <i>Logic Tree Analysis</i><br>(Análise de Árvore de Lógica)                                                 | Analisar um episódio, denominado “evento topo”, realizando ramificações para identificação dos possíveis <b>sucessos que contribuem</b> para a ocorrência do evento topo.                                                                                                  |
| ETA        | <i>Event Tree Analysis</i><br>(Análise de Árvore de Eventos)                                                | Identificar as possíveis <b>consequências</b> resultantes de um determinado evento inicial.                                                                                                                                                                                |
| BTA        | <i>Bow Tie Analysis</i><br>(Análise da Gravata Borboleta)                                                   | Desenvolver um diagrama em forma de gravata borboleta que permite visualizar as potenciais ameaças e consequências de um determinado cenário, criando uma clara distinção entre a fase de gerenciamento preventiva e reativa, com foco nos <b>controles</b> implementados. |
| SLAM       | <i>Stop, Look, Assess and Manage</i><br>(Pare, Olhe, Avalie e Gerencie)                                     | Realizar uma análise individual, de <b>auto reflexão</b> , sobre o entendimento completo de uma determinada tarefa previamente a sua execução, em caso de dúvida não prosseguir com a atividade.                                                                           |

**Fonte: Adaptado de USP (2018)**

Uma organização deve utilizar uma ferramenta que seja a mais adequada possível em relação ao objetivo almejado, permitindo ocorrência de procedimentos para identificação e avaliação dos riscos, com abertura para implementação de medidas de controle eficientes em todas as atividades de um determinado processo (USP, 2018).

Segundo o Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional norte-americano, do inglês *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH), as medidas de controle podem ser hierarquizadas, conforme apresentado na Figura 17.

Figura 17 - Hierarquia de controles



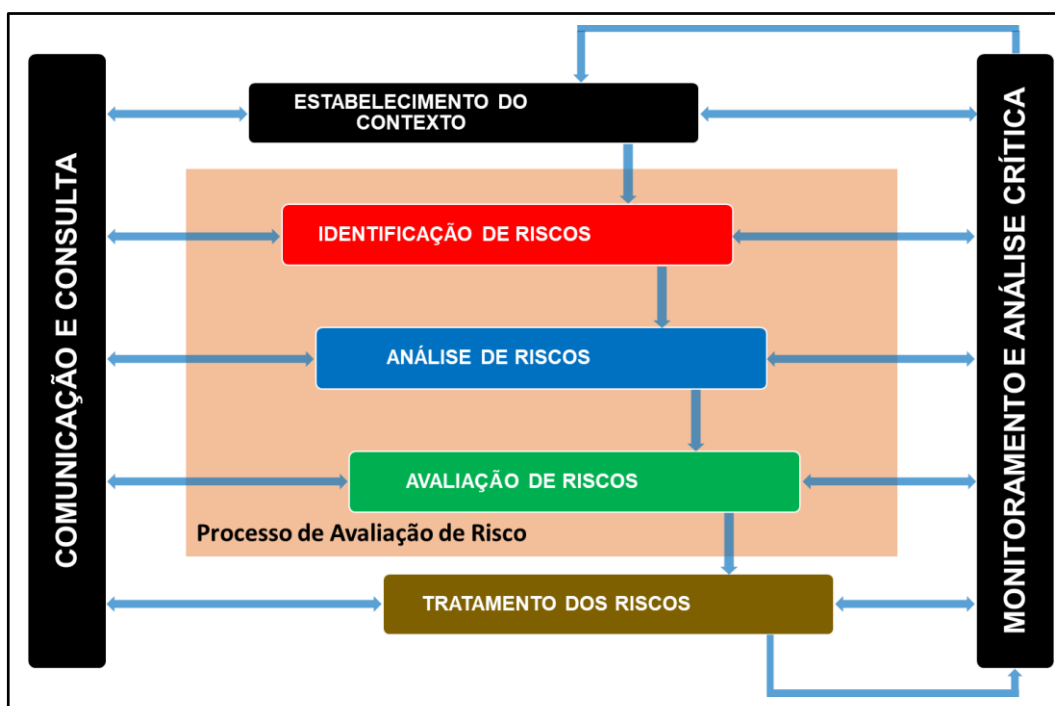
Fonte: Adaptado de NIOSH (2015)

Existem diferentes metodologias para identificação e avaliação de riscos, que podem ser encontrados em publicações de instituições renomadas, como, por exemplo a *British Standar Institution* (BSI), que desenvolveu a *Occupational Health and Safety Assessments Series* (OHSAS) 18001:1999 e 18002:2000, o *National Institute for Occu-*

*pational Safety and Health* (NIOSH), que publicou diversos informativos sobre gerenciamento de risco juntamente com entidades parceiras como a *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) e a *National Occupational Research Agenda* (NORA). Não obstante, existe a *International Organization for Standardization* (ISO), que fornece embasamento em termos de gestão e gerenciamento por meio de publicações como a ISO 9000, ISO 14001 e ISO 31000 (EMETUMAH, 2016).

De forma geral, um processo de gestão de risco envolve aplicação sistemática de políticas, procedimentos e práticas em etapas definidas como comunicação e consulta, estabelecimento do contexto, identificação de riscos, análise de riscos, avaliação de riscos, tratamento dos riscos e monitoramento e análise crítica. Essas etapas, identificadas na Figura 18, podem ser encontradas na norma ABNT NBR ISO 31000, elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na comissão de Estudo Especial de Gestão de Riscos (CEE-63), em 2009 (ABNT, 2009).

Figura 18 - Processo de gestão do risco conforme ISO 31000.



Fonte: Adaptado de USP (2018)



A etapa de comunicação e consulta, ocorre continuamente em todo o processo e deve ser conduzida de forma transparente e dinâmica, propiciando que o processo seja eficiente. Na etapa de estabelecimento do contexto, devem ser definidos claramente os contextos externos e internos à uma determinada organização, possibilitando avanço para a etapa de identificação de riscos, onde são identificados os riscos, perigos, eventos, causas e consequências potenciais do objeto em estudo (USP, 2018).

Após a fase de identificação inicia-se a etapa de análise de riscos, em que se tem um entendimento aprofundado dos riscos em termos de causas, consequências e severidades. Com as informações adquiridas na etapa de análise o processo segue para a etapa de avaliação dos riscos, em que um time estrategicamente montado pode definir as tomadas de decisão a serem seguidas (USP, 2018).

Na etapa de tratamento dos riscos tem-se uma atenção voltada para modificação dos riscos, permitindo a redução dos níveis de risco até um ponto considerável aceitável e em sintonia com o contexto previamente estabelecido pela organização. A modificação ocorre por meio da implementação de controles diversos (USP, 2018).

A última etapa, conforme apresentado na ABNT NBR ISO 31000, é o monitoramento e análise crítica que, assim como o passo de comunicação e consulta, também está envolvida em todo o processo de gerenciamento de risco, uma vez que essa etapa visa captar mudanças nos contextos estabelecidos, descobrir novos riscos, seguir alterações dos níveis dos riscos e certificar controles (USP, 2018).

A Figura 19 mostra em complemento ao entendimento de gerenciamento de risco outros termos importantes utilizados na engenharia de saúde e segurança do trabalho, como, por exemplo, os conceitos de energia que podem ser empregados para a identificação de perigos existentes em um determinado ambiente de trabalho.

**Figura 19 - Outros termos importantes em SST**

| <b>Termo</b>                          | <b>Entendimento</b>                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Condição Perigosa                     | Considerada como uma característica intrínseca que, se materializada, pode levar a um incidente ou acidente; em outras palavras, é uma condição com potencial de gerar um dano                                                                  |
| Perigo                                | Exposição à condição perigosa                                                                                                                                                                                                                   |
| Risco                                 | Um número, que usualmente pode ser considerado como função da probabilidade da condição perigosa se materializar em um evento indesejado e da consequência que essa materialização irá causar.                                                  |
| Controles                             | São medidas que podem atuar tanto em prevenção, quanto em recuperação, minimizando uma potencial ocorrência de um evento indesejado ou mitigando as consequências da ocorrência de um evento indesejado. Os controles podem ser hierarquizados. |
| Energia Biológica                     | Associada à microrganismos com potencial de causar danos à saúde, como, por exemplo, vírus, bactérias, ácaros, protozoários e outros, encontrados em equipamentos de ar condicionado, vasos sanitários, água não tratada, lixo, etc.            |
| Energia Biomecânica                   | Associada à ergonomia, como, por exemplo, mecanismos do corpo humano, postura incorreta, fadiga, etc.                                                                                                                                           |
| Energia Elétrica                      | Associada à corrente elétrica e variações de tensão, como, por exemplo, equipamentos energizados, baterias, fiação energizada, tomadas sem proteção, etc.                                                                                       |
| Energia Eletromagnética Ionizante     | Associada à radiação ionizantes, como, por exemplo, partículas alfa, beta, gama e raio-x encontradas em equipamentos de tomografia, equipamentos de raio-x, medidores de densidade e vazão, fontes radioativas, etc.                            |
| Energia Eletromagnética Não-ionizante | Associada à radiação não-ionizantes excessiva, como, por exemplo, ultravioleta, infravermelho, ondas de rádio, luz visível encontradas em laser, micro-ondas, lâmpadas, metal derretido, solda, etc.                                            |
| Energia Gravitacional                 | Associada à altura, como, por exemplo, objetos elevados em guindastes, prateleiras, telhados, pontes rolantes, locais altos como estruturas, plataformas, etc.                                                                                  |
| Energia Hidráulica                    | Associada à pressão, como, por exemplo, sistemas pressurizados, circuitos hidráulicos, etc.                                                                                                                                                     |
| Energia Mecânica                      | Associada à cinética, como, por exemplo, equipamentos com partes móveis expostas, engrenagens, correias, ventiladores, moinhos giratórios, polias, pás giratórias, eixos, etc.                                                                  |
| Energia Química                       | Associada à produtos químicos com característica agressiva independentemente de sua fase, como, por exemplo, produtos tóxicos, asfixiantes, inflamáveis, explosivos, etc.                                                                       |
| Energia Sonora                        | Associada à ruídos excessivos e acima dos limites de tolerância, como, por exemplo, ruídos provenientes de motores, lixadeiras, instrumentos                                                                                                    |
| Energia Térmica                       | Associada à fontes de calor ou frio excessivo, como, por exemplo, forno, chapas quentes, câmara fria, serpentinas, churrasqueiras, neve, brasa, etc.                                                                                            |

**Fonte: Adaptado de USP (2018)**

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O método utilizado neste trabalho se refere a aplicação de uma ferramenta para análise preventiva dos riscos existentes no processo de instalação de um sistema fotovoltaico dimensionado para o Metrô em São Paulo.

#### 3.1 ÁREA DESTINADA À INSTALAÇÃO

A área escolhida para a instalação do sistema fotovoltaico foi a cobertura de uma edificação do Metrô em São Paulo, conforme apresentado na Figura 20.

**Figura 20 - Área destinada à instalação do sistema fotovoltaico**



Fonte: Adaptado de GOOGLE EARTH (2018)

### 3.2 FASES DO TRABALHO

Para melhor desenvolver este trabalho algumas fases são necessárias e estão descritas a seguir.

1) Definição de uma equipe multidisciplinar:

- a. Refere-se a composição de uma equipe com conhecimentos multidisciplinares capaz de fornecer entendimentos diversos sobre o assunto deste trabalho, deverá ser composta por um engenheiro eletricista com especialização em sistemas fotovoltaicos, um aluno de pós-graduação em engenharia de saúde e segurança do trabalho, um técnico de segurança e um instalador de sistemas fotovoltaicos.

2) Definição de uma matriz de risco para a atividade de instalação:

- a. Refere-se ao uso de uma matriz que permitirá a classificação do risco existente em alguma etapa do processo de instalação do sistema fotovoltaico, devendo ser possível visualizar os critérios de severidade, natureza da consequência e probabilidade de ocorrência de um determinado evento indesejado. A Figura 21 mostra a matriz que será utilizada para este estudo e a Figura 22 mostra o entendimento dos termos relacionados aos níveis de probabilidade, para a classificação do risco existente no processo de instalação fotovoltaica.

**Figura 21 - Matriz de risco para a atividade de instalação**

|              |            | NATUREZA DAS CONSEQUÊNCIAS |               | PROBABILIDADE       |             |                        |             |
|--------------|------------|----------------------------|---------------|---------------------|-------------|------------------------|-------------|
| CONSEQUÊNCIA | Severidade | Dano Humano                | Dano Material | Extremamente Remoto | Remoto      | Razoavelmente Provável | Provável    |
|              | Baixa      | Lesão Leve                 | Leve          | Aceitável           | Aceitável   | Moderado               | Moderado    |
|              | Moderada   | Lesão com afastamento      | Moderado      | Aceitável           | Moderado    | Moderado               | Substancial |
|              | Alta       | Lesão permanente           | Consistente   | Moderado            | Moderado    | Substancial            | Substancial |
|              | Crítica    | Fatalidade                 | Catastrófico  | Moderado            | Substancial | Substancial            | Inaceitável |

Fonte: Adaptado de DuPont (2014)

**Figura 22 - Nível de probabilidade para a classificação do risco**

| Termo                  | Entendimento                                                                                                                                                            |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Extremamente Remoto    | Não há notícia de ocorrência anterior, exige falha de múltiplos sistemas de proteção, podendo ser associado a desvios em procedimentos                                  |
| Remoto                 | Evento de difícil ocorrência, que possui registro no mercado e exige falha de múltiplos elementos de um sistema de proteção ou procedimento                             |
| Razoavelmente Provável | Evento de ocorrência esperada, com possibilidade de ocorrer mais de uma vez e relacionado a desvios de procedimento específicos ou falha específica de algum componente |
| Provável               | Evento de fácil ocorrência e que não possui sistema de proteção e/ou procedimento                                                                                       |

Fonte: Adaptado de DuPont (2014)

3) Definição da ferramenta para a análise preventiva de risco:

- a. Refere-se a uma planilha Excel, embasada na ferramenta de Avaliação e Controle dos Riscos no Local de Trabalho, do inglês *Workplace Risk Assessment and Control (WRAC)*, que deverá ser utilizada para efetuar a análise preventiva do risco na instalação do sistema fotovoltaico. A Figura 23 apresenta a estrutura da ferramenta.

**Figura 23 - Modelo de planilha para a análise preventiva do risco**

| Análise Preventiva do Risco |           |        |                   |                      |               |               |                |                                     |                   |
|-----------------------------|-----------|--------|-------------------|----------------------|---------------|---------------|----------------|-------------------------------------|-------------------|
| Etapa                       | Atividade | Perigo | Evento Indesejado | Controles Existentes | Probabilidade | Consequências | Nível de Risco | Melhorias ou Controles Recomendados | Responsabilidades |
|                             |           |        |                   |                      |               |               |                |                                     |                   |
|                             |           |        |                   |                      |               |               |                |                                     |                   |
|                             |           |        |                   |                      |               |               |                |                                     |                   |

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

4) Preenchimento da planilha Excel:

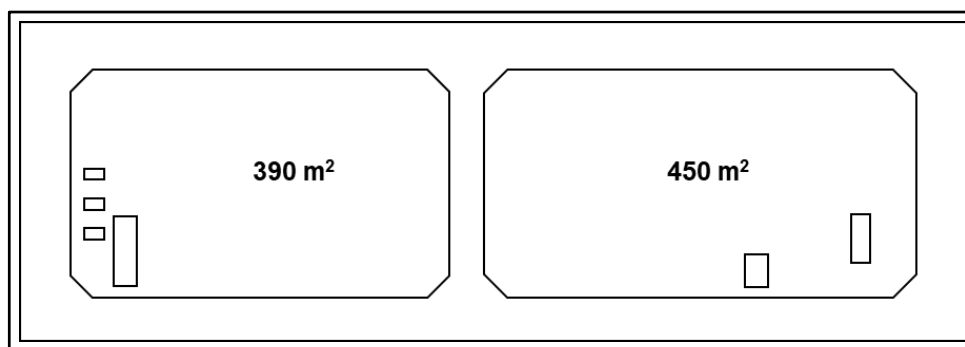
- a. Refere-se ao modo como deverá ser o preenchimento das colunas da planilha, a partir das informações levantadas para o estudo.
- b. Na coluna Etapa, deverá ser escrita qual a parte do processo de instalação do sistema fotovoltaico estará em análise. As etapas definidas para o estudo são:
  - i. Transporte;
  - ii. Montagem;
  - iii. Conexão Elétrica.
- c. Na coluna Atividade, deverá ser escrita a tarefa relacionadas com a respectiva etapa do processo de instalação do sistema fotovoltaico.
- d. Na coluna Perigo, deverá ser escrito o perigo identificado e relacionado com à respectiva atividade.
- e. Na coluna Eventos Indesejados, deverá ser escrito o evento indesejado que pode ocorrer em uma determinada atividade.
- f. Na coluna Controles Existentes, deverá ser escrito os controles existentes identificados para cada evento indesejado.
- g. A coluna Probabilidade deverá ser preenchida, para cada evento indesejado apontado, com base na matriz de risco definida para o estudo.

- h. A coluna Consequência deverá ser preenchida, para cada evento indesejado apontado, com base na matriz de risco definida para o estudo.
- i. A coluna Nível de Risco deverá ser preenchida, para cada evento indesejado apontado, com base na matriz de risco definida para o estudo.
- j. A coluna Melhorias ou Controles Recomendados, deverá ser preenchida com ações que permitam a redução do nível de risco existente.
- k. A coluna Responsabilidade, deverá ser preenchida com a indicação de um responsável ou instituição de irá executar as ações apontadas para a redução do nível de risco existente.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, a equipe multidisciplinar realizou uma visita ao local onde será instalado o sistema fotovoltaico, o que permitiu entender os principais desafios esperados no processo de instalação do sistema e registrar imagens. A Figura 24 ilustra as áreas úteis disponíveis na cobertura da edificação e informa a disponibilidade de 840 m<sup>2</sup>.

Figura 24 - Ilustração da cobertura da edificação



Fonte: Arquivo pessoal (2018)

As áreas úteis são contornadas por uma estrutura de alvenaria com largura aproximada de 3 metros e altura de 1 metro, o que evita a necessidade do uso de EPI's específicos para trabalho em altura, conforme apresentado na Figura 25.

Figura 25 - Estrutura de alvenaria entorno das áreas úteis



Fonte: Arquivo pessoal (2018)



O caminho de acesso até a cobertura se inicia no andar térreo, onde é possível entrar em um elevador que irá até o 4º andar da edificação. Ao sair do elevador, se faz necessário subir 1 lance de escadas que irá levar até uma porta branca e estreita, conforme Figura 26.

**Figura 26 - Porta para acesso à cobertura**



**Fonte: Arquivo pessoal (2018)**

Ao passar pela porta é possível visualizar um ambiente propenso a ocorrência de tropeços e/ou quedas de pessoas e materiais transportados manualmente, uma vez que existem tubulações e mangueiras próximas ao piso, desníveis e ausência de pontos de apoio, conforme apresentado na Figura 27.

**Figura 27 - Tubulações e mangueiras próximas ao piso**



**Fonte: Arquivo pessoal (2018)**

Finalmente, para acessar de fato a cobertura, existe uma escada amarela tipo marinho, situada a aproximadamente 30 metros de altura em relação ao andar térreo, com cerca de 3 metros de comprimento, pouco inclinada e com corrimão estreito, conforme apresentado na Figura 28.

**Figura 28 - Escada tipo marinheiro**

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Ao subir a escada amarela é possível observar o espaço onde ocorrerá a etapa de montagem do sistema fotovoltaico, conforme apresentado na Figura 29. Válido ressaltar que a etapa de transporte requer uma grande repetição do trajeto e cuidado no transporte dos principais elementos do sistema, pois são grandes, pesados e podem causar danos e/ou lesões às pessoas da equipe de instalação.

**Figura 29 - Cobertura da edificação**

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Durante a montagem do sistema serão utilizadas ferramentas elétricas, tais como, serras, furadeiras e parafusadeiras que podem causar danos e/ou lesões a pessoas e elementos do sistema. Não obstante, será necessário um bom preparo físico por parte dos instaladores, visto que movimentos desconfortáveis e levantamento de peso são constantes.

Após a montagem do sistema fotovoltaico na cobertura, será realizada conexão do mesmo com a rede elétrica por meio de um painel elétrico existente na subestação localizada no pavimento térreo da edificação, conforme apresentado na Figura 30.

**Figura 30 - Subestação da edificação**



Fonte: Arquivo pessoal (2018)



Para o cabeamento do sistema chegar até a subestação, deverá ser instalado toda a infraestrutura de dutos desde a cobertura da edificação até um corredor externo no pavimento térreo, com encaminhamento aparente na descida. Neste corredor há caixas de passagem subterrâneas e eletrodutos pré-existentes que devem ser utilizados para a passagem dos cabos do sistema fotovoltaico, conforme apresentado na Figura 31.

**Figura 31 - Trajeto do cabeamento do sistema**



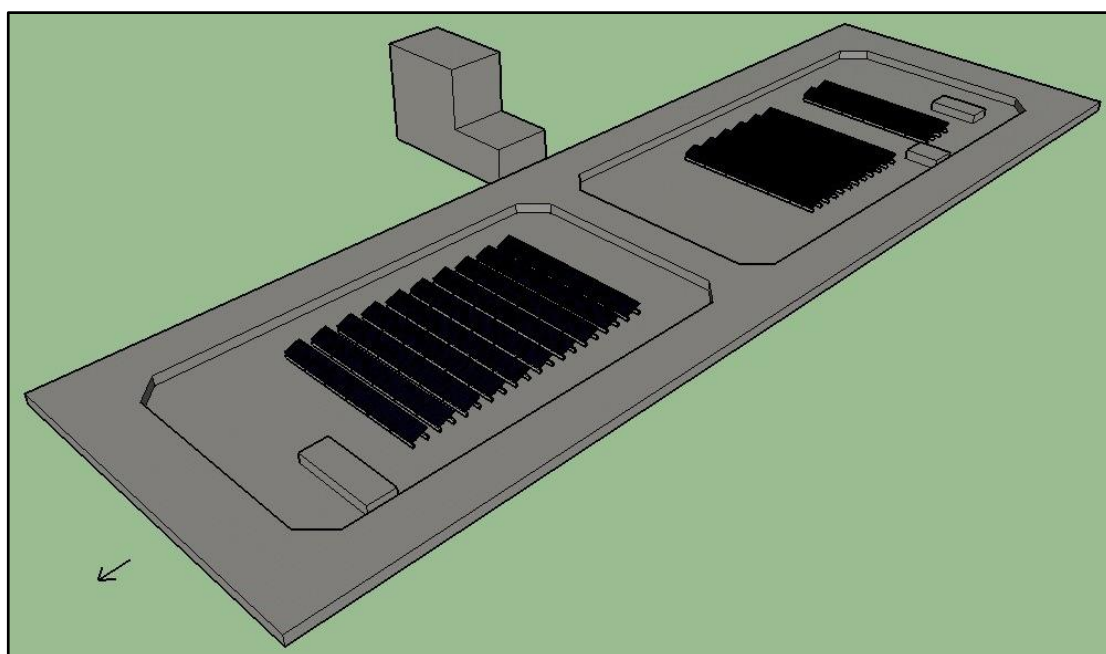
Fonte: Arquivo pessoal (2018)

O circuito trifásico do sistema fotovoltaico seguirá o encaminhamento subterrâneo até o subsolo da subestação, onde deverá ser conectado a uma entrada que está interligada a um painel elétrico da subestação. As instalações elétricas do sistema fotovoltaico deverão estar de acordo com a NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão

e com o projeto da norma ABNT NBR 16690 - Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto.

O sistema fotovoltaico será constituído por 18 (dezoito) estruturas de suporte, pré-moldadas, com peso aproximado de 3 kg/m, cada uma fixada a 2 blocos de concreto retangulares que pesam aproximadamente 20 kg cada. Em cada estrutura serão fixados 5 módulos fotovoltaicos que pesam aproximadamente 25 kg cada e possuem área frontal de 2 m<sup>2</sup>, deverão ser inclinados entre 15° a 20° em relação ao plano horizontal e orientados seguindo a direção longitudinal do edifício. A Figura 32 ilustra a disposição dos módulos fotovoltaicos na cobertura da edificação.

**Figura 32 - Disposição ilustrativa dos módulos fotovoltaicos na cobertura**



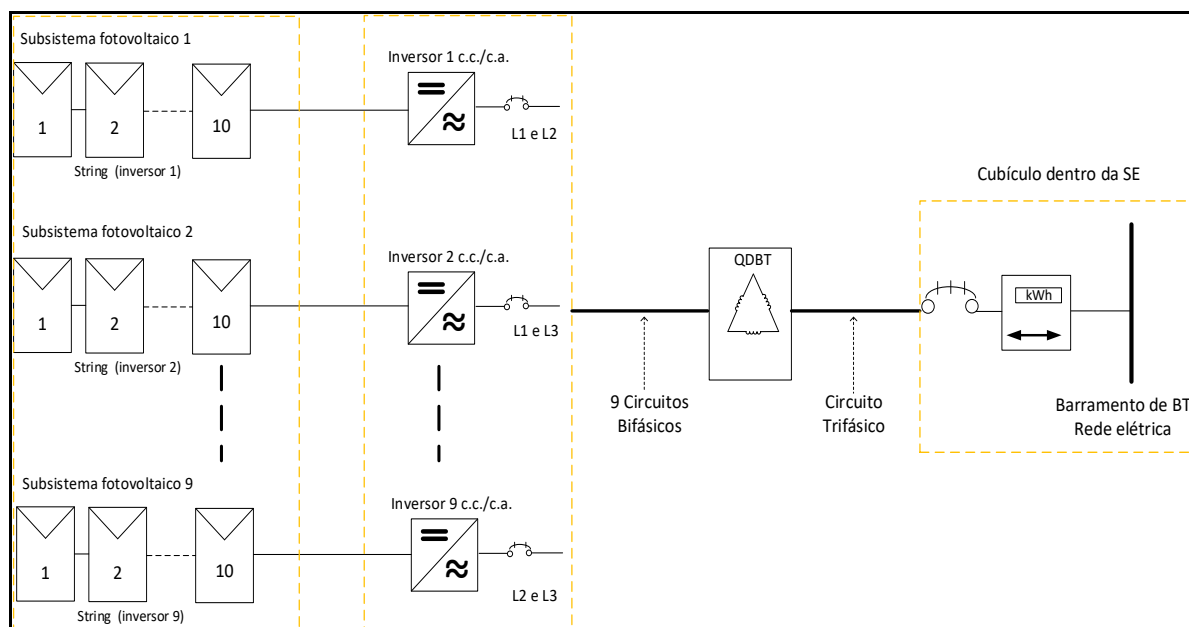
**Fonte: Arquivo pessoal (2018)**

As estruturas de suporte deverão ser capazes de resistir ao peso dos módulos, caixas de junção c.c., inversores, às cargas mecânicas devidas ao vento conforme a norma ABNT NBR 6123 - Forças devidas ao vento em edificações e à chuva. A impermeabilização do telhado deve ser mantida, e não será permitido furar a laje da cobertura

para a fixação das estruturas. O sistema fotovoltaico deverá ser composto por um gerador fotovoltaico com potência nominal entre 28 e 31 kWp, instalado na cobertura da edificação, e 9 inversores de conexão à rede de distribuição de energia elétrica, monofásicos, com tensão nominal de saída de 220 Vc.a., totalizando no máximo 27 kW nominais em c.a.

O sistema deverá ser composto por subsistemas que serão construídos de forma modular, sendo cada um constituído de um arranjo fotovoltaico com 1 série de 10 módulos fotovoltaicos que será conectado a um único inversor monofásico. Deste modo, a configuração da usina será caracterizada por 9 subsistemas, cada um constituído por um inversor, com peso aproximado de 20 kg e potência nominal em c.a. máxima de 3,4 kW cada, e uma série fotovoltaica de 10 módulos e potência entre 320 e 340 Wp cada. O diagrama unifilar do sistema de geração fotovoltaica é apresentado na Figura 33.

**Figura 33 - Diagrama unifilar do sistema de microgeração fotovoltaica**



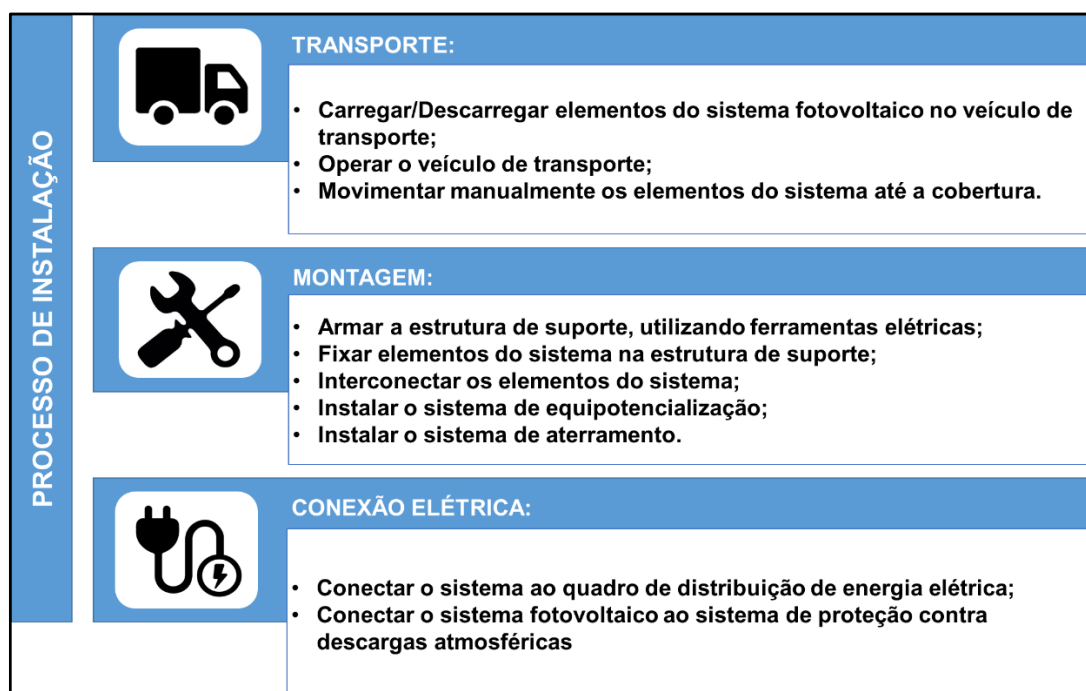
Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Com foco em aumentar a segurança do sistema, será necessário instalar o Barramento de Equipotencialização Local (BEL) no quadro de distribuição, que deverá ser conectado ao Barramento de Equipotencialização Principal (BEP) e ao Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA) do prédio com cabo de seção transversal mínima de 16 mm<sup>2</sup>.

Ao BEL do quadro de distribuição também deverão ser conectados todos os condutores de proteção da usina fotovoltaica, bem como deverá ser realizada a equipotencialização com as partes metálicas das estruturas de fixação e das molduras dos módulos. Além disso, as estruturas de fixação e as molduras dos módulos também deverão ser conectadas diretamente ao SPDA do prédio.

Este estudo considerou a instalação de um sistema fotovoltaico dividida em 3 etapas e 10 principais atividades, distribuídas entre as etapas do processo de instalação conforme apresentado na Figura 34.

**Figura 34 - Atividades nas etapas do processo de instalação do sistema**



Fonte: Arquivo pessoal (2018)



A etapa de transporte compreende basicamente em toda atividade que seja necessário operar um veículo transportador, bem como carregar e descarregar os elementos do sistema fotovoltaico até o local da etapa de montagem. Os elementos do sistema são: a base de sustentação da estrutura de suporte do sistema (blocos de concreto), a estrutura de suporte em si (armação metálica), os módulos fotovoltaicos, os inversores, os cabeamentos e outros materiais menores, como, por exemplo, porcas, parafusos, conectores e ferramentas.

A etapa de montagem consiste essencialmente em toda atividade ocorrida na cobertura da edificação, com foco em vincular os elementos do sistema entre si, ou seja, armar toda a estrutura de suporte utilizando as ferramentas disponíveis, depois fixar elementos do sistema na estrutura de suporte, seguindo para a interconexão dos elementos do sistema com uso de cabos condutores, até a instalação dos sistemas de equipotencialização e de aterramento.

Já a etapa de conexão elétrica limita-se nas atividades em que o sistema fotovoltaico, após estar completamente montado, será conectado ao sistema de proteção contra descargas atmosféricas e ao quadro de distribuição de energia elétrica.

Após o entendimento das etapas e atividades do processo de instalação do sistema fotovoltaico, foram identificados os principais perigos existentes com base nos conceitos de energia apresentados no Capítulo 2 (Figura 19). Não obstante, foram consideradas somente situações com potencial de causar danos humanos ou materiais. A Figura 35 mostra os principais perigos levantados no estudo.

**Figura 35 - Perigos levantados no estudo**

|                  |                                                                                      |                  | Energia   |             |          |                           |                               |               |            |          |         |        |         |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------|-------------|----------|---------------------------|-------------------------------|---------------|------------|----------|---------|--------|---------|
| Etapa            | Atividade                                                                            | Ameaça Externa * | Biológica | Biomecânica | Elétrica | Eletromagnética Ionizante | Eletromagnética Não Ionizante | Gravitacional | Hidráulica | Mecânica | Química | Sonora | Térmica |
| Transporte       | Carregar/Descarregar elementos do sistema fotovoltaico no veículo de transporte      |                  |           | X           |          |                           |                               | X             |            |          |         |        |         |
|                  | Operar o veículo de transporte                                                       | X                |           |             |          |                           |                               |               |            | X        |         |        |         |
|                  | Movimentar manualmente os elementos do sistema até a cobertura                       |                  |           | X           |          |                           |                               | X             |            |          |         |        |         |
| Montagem         | Armar a estrutura de suporte, utilizando ferramentas elétricas                       |                  |           | X           | X        |                           | X                             | X             |            | X        |         | X      |         |
|                  | Fixar elementos do sistema na estrutura de suporte                                   |                  |           | X           |          |                           | X                             | X             |            |          |         |        |         |
|                  | Interconectar os elementos do sistema                                                | X                |           | X           |          |                           |                               |               |            |          |         |        | X       |
|                  | Instalar o sistema de equipotencialização                                            |                  |           |             | X        |                           |                               |               |            |          |         |        |         |
|                  | Instalar o sistema de aterramento                                                    |                  |           |             | X        |                           |                               |               |            |          |         |        |         |
| Conexão Elétrica | Conectar o sistema ao quadro de distribuição de energia elétrica                     |                  |           |             | X        |                           |                               |               |            |          |         |        |         |
|                  | Conectar o sistema fotovoltaico ao sistema de proteção contra descargas atmosféricas |                  |           |             | X        |                           |                               |               |            |          |         |        | X       |

\* O conceito de ameaça externa foi utilizado para situações não relacionadas diretamente com os conceitos de energia, como, por exemplo, furto ou roubo de elementos do sistema.

**Fonte: Arquivo pessoal (2018)**

Observou-se que os perigos de maior ocorrência estão relacionados com as energias gravitacional, elétrica e biomecânica, já os de menor ocorrência com as energias térmica, mecânica, sonora e eletromagnética não ionizante. A partir do entendimento dos perigos existentes, foi possível identificar os principais eventos indesejados que podem causar danos humanos e materiais, conforme apresentado na Figura 36.

Figura 36 - Eventos indesejados levantados no estudo

| Etapa            | Atividade                                                                            | Perigo                        | Evento Indesejado                                                              |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Transporte       | Carregar/Descarregar elementos do sistema fotovoltaico no veículo de transporte      | Energia Gravitacional         | Danos aos elementos do sistema<br>(queda de objetos)                           |
|                  |                                                                                      | Energia Gravitacional         | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(queda de objetos)                              |
|                  |                                                                                      | Energia Biomecânica           | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(excesso de peso e/ou posições desconfortáveis) |
|                  | Operar o veículo de transporte                                                       | Energia Mecânica              | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(acidente de trânsito)                          |
|                  |                                                                                      | Ameaça Externa                | Furto e/ou Roubo dos elementos do sistema                                      |
|                  |                                                                                      | Energia Mecânica              | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(vibrações do veículo)                          |
|                  | Movimentar manualmente os elementos do sistema até a cobertura                       | Energia Gravitacional         | Danos aos elementos do sistema<br>(queda de objetos)                           |
|                  |                                                                                      | Energia Gravitacional         | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(queda de objetos e/ou tropeços)                |
|                  |                                                                                      | Energia Biomecânica           | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(excesso de peso e/ou posições desconfortáveis) |
| Montagem         | Armar a estrutura de suporte utilizando ferramentas elétricas                        | Energia Gravitacional         | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(queda de objetos)                              |
|                  |                                                                                      | Energia Elétrica              | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(choques elétricos)                             |
|                  |                                                                                      | Energia Mecânica              | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(vibrações das ferramentas)                     |
|                  |                                                                                      | Energia Biomecânica           | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(excesso de peso e/ou posições desconfortáveis) |
|                  |                                                                                      | Energia Mecânica              | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(partes móveis das ferramentas)                 |
|                  |                                                                                      | Energia Sonora                | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(ruído das ferramentas)                         |
|                  |                                                                                      | Eletromagnética não-ionizante | Desidratação, insolação e/ou queimaduras<br>(exposição a radiação solar)       |
|                  | Fixar elementos do sistema na estrutura de suporte                                   | Energia Gravitacional         | Danos aos elementos do sistema<br>(queda de objetos)                           |
|                  |                                                                                      | Energia Biomecânica           | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(excesso de peso e/ou posições desconfortáveis) |
|                  |                                                                                      | Eletromagnética não-ionizante | Desidratação, insolação e/ou queimaduras<br>(exposição a radiação solar)       |
|                  | Interconectar os elementos do sistema                                                | Energia Biomecânica           | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(posições desconfortáveis)                      |
|                  |                                                                                      | Ameaça Externa                | Furto e/ou Roubo dos elementos do sistema<br>(segurança pública)               |
|                  |                                                                                      | Energia Térmica               | Danos aos elementos do sistema<br>(pontos quentes por montagem ineficiente)    |
|                  | Instalar o sistema de equipotencialização                                            | Energia Elétrica              | Danos aos elementos do sistema<br>(curto circuito)                             |
|                  | Instalar o sistema de aterramento                                                    | Energia Elétrica              | Danos aos elementos do sistema<br>(curto circuito)                             |
| Conexão Elétrica | Conectar o sistema ao quadro de distribuição de energia elétrica                     | Energia Elétrica              | Danos aos elementos do sistema<br>(curto circuito)                             |
|                  |                                                                                      | Energia Elétrica              | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(choques elétricos)                             |
|                  | Conectar o sistema fotovoltaico ao sistema de proteção contra descargas atmosféricas | Energia Elétrica              | Danos aos elementos do sistema<br>(curto circuito)                             |
|                  |                                                                                      | Energia Térmica               | Danos aos elementos do sistema<br>(incêndio)                                   |

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Foram levantados 28 eventos indesejados, dos quais aproximadamente 21% estão relacionados com energia gravitacional, 21% com energia elétrica, 18% com energia biomecânica, 14% com energia mecânica, 7% com energia eletromagnética não ionizante, 7% energia térmica, 4% com energia sonora e 7% com ameaças externas, conforme apresentado na Figura 37.

**Figura 37 - Relação dos eventos indesejados com os tipos de perigos**

| Número de eventos indesejados | Energia          |           |             |          |                           |                               |               |            |          |         |        |         |
|-------------------------------|------------------|-----------|-------------|----------|---------------------------|-------------------------------|---------------|------------|----------|---------|--------|---------|
|                               | Ameaça Externa * | Biológica | Biomecânica | Elétrica | Eletromagnética Ionizante | Eletromagnética Não Ionizante | Gravitacional | Hidráulica | Mecânica | Química | Sonora | Térmica |
| 28                            | 2                | 0         | 5           | 6        | 0                         | 2                             | 6             | 0          | 4        | 0       | 1      | 2       |
| 100%                          | 7,1%             | 0,0%      | 17,9%       | 21,4%    | 0,0%                      | 7,1%                          | 21,4%         | 0,0%       | 14,3%    | 0,0%    | 3,6%   | 7,1%    |

\* O conceito de ameaça externa foi utilizado para situações não relacionadas diretamente com os conceitos de energia, como, por exemplo, furto ou roubo de elementos do sistema.

**Fonte: Arquivo pessoal (2018)**

Após a identificação dos eventos indesejados foi possível anotar os controles existentes, utilizar a matriz de risco para classificar os riscos em cada atividade, apresentar possíveis melhorias, aplicar responsabilidades e consequentemente preencher a planilha Excel, conforme apresentado nas Figuras 38, 39, 40, 41 e 42.

Figura 38 - Planilha da análise preventiva do risco – Parte A

| Análise Preventiva do Risco |                                                                                 |                       |                                                                                |                                                                                                  |               |               |                |                                                                                                                                                                                                          |                       |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Etapa                       | Atividade                                                                       | Perigo                | Evento Indesejado                                                              | Controles Existentes                                                                             | Probabilidade | Consequências | Nível de Risco | Melhorias ou Controles Recomendados                                                                                                                                                                      | Responsabilidades     |
| Transporte                  | Carregar/Descarregar elementos do sistema fotovoltaico no veículo de transporte | Energia Gravitacional | Danos aos elementos do sistema<br>(queda de objetos)                           | Embalagem adequada para o transporte<br><br>Equipamento de içamento conforme NR12 (empilhadeira) | Ocasional     | Crítica       | Substancial    | Utilizar planos de içamento, amarração e distribuição da carga<br><br>Inspeção e manutenção dos equipamentos de içamento<br><br>Estabelecer conformidade com a NR-11<br><br>Possuir elementos de reserva | Empresa de Instalação |
| Transporte                  | Carregar/Descarregar elementos do sistema fotovoltaico no veículo de transporte | Energia Gravitacional | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(queda de objetos)                              | EPI's<br><br>Dispositivos de içamento (grua, viga, balancim e etc..)                             | Ocasional     | Moderado      | Moderado       | Inspeção e manutenção dos dispositivos de içamento<br><br>Isolar área durante a atividade                                                                                                                | Empresa de Instalação |
| Transporte                  | Carregar/Descarregar elementos do sistema fotovoltaico no veículo de transporte | Energia Biomecânica   | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(excesso de peso e/ou posições desconfortáveis) | EPI's<br><br>Fracionamento de carga<br><br>Tempo de descanso                                     | Provável      | Moderado      | Moderado       | Não executar a atividade de forma individual<br><br>Utilizar plano e treinamento de movimentação<br><br>Estabelecer conformidade com a NR-17                                                             | Empresa de Instalação |
| Transporte                  | Operar o veículo de transporte                                                  | Energia Mecânica      | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(acidente de trânsito)                          | Treinamento de direção<br><br>Sinalização de trânsito<br><br>Isolamento da via                   | Ocasional     | Crítica       | Substancial    | Controle de velocidade<br><br>Utilizar rotas seguras<br><br>Não realizar viagens noturnas                                                                                                                | Empresa de Instalação |
| Transporte                  | Operar o veículo de transporte                                                  | Ameaça Externa        | Furto e/ou Roubo dos elementos do sistema                                      | Nota Fiscal assinada<br><br>Seguro                                                               | Remoto        | Crítica       | Moderado       | Inspeção pré e pós viagem<br><br>Trajeto monitorado por GPS<br><br>Utilizar rotas seguras                                                                                                                | Empresa de Instalação |

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Figura 39 - Planilha da análise preventiva do risco – Parte B

| Análise Preventiva do Risco |                                                                |                       |                                                                                |                                                      |               |               |                |                                                                                                                                                                                                   |                       |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------|---------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Etapa                       | Atividade                                                      | Perigo                | Evento Indesejado                                                              | Controles Existentes                                 | Probabilidade | Consequências | Nível de Risco | Melhorias ou Controles Recomendados                                                                                                                                                               | Responsabilidades     |
| Transporte                  | Operar o veículo de transporte                                 | Energia Mecânica      | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(vibrações do veículo)                          | Amortecedores no banco<br>Viagens alternadas         | Ocasional     | Moderado      | Moderado       | Inspeção e manutenção do veículo e amortecedores<br>Utilizar rotas em condições adequadas                                                                                                         | Empresa de Instalação |
| Transporte                  | Movimentar manualmente os elementos do sistema até a cobertura | Energia Gravitacional | Danos aos elementos do sistema<br>(queda de objetos)                           | Embalagem adequada ao transporte                     | Ocasional     | Crítica       | Substancial    | Utilizar plano e treinamento de movimentação<br>Não executar atividade de forma individual<br>Cobrir mangueiras e tubulações com tablado<br>Utilizar sistema elevatório paralelo à escada amarela | Empresa de Instalação |
| Transporte                  | Movimentar manualmente os elementos do sistema até a cobertura | Energia Gravitacional | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(queda de objetos e/ou tropeços)                | EPI's                                                | Ocasional     | Moderado      | Moderado       | Utilizar plano e treinamento de movimentação<br>Não executar atividade de forma individual<br>Cobrir mangueiras e tubulações com tablado<br>Utilizar sistema elevatório paralelo à escada amarela | Empresa de Instalação |
| Transporte                  | Movimentar manualmente os elementos do sistema até a cobertura | Energia Biomecânica   | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(excesso de peso e/ou posições desconfortáveis) | EPI's<br>Fracionamento de carga<br>Tempo de descanso | Provável      | Moderado      | Moderado       | Não executar a atividade de forma individual<br>Utilizar plano e treinamento de movimentação<br>Estabelecer conformidade com a NR-17                                                              | Empresa de Instalação |
| Montagem                    | Armar a estrutura de suporte utilizando ferramentas elétricas  | Energia Gravitacional | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(queda de objetos)                              | EPI's<br>Supervisão da atividade                     | Ocasional     | Moderado      | Moderado       | Não executar a atividade de forma individual<br>Utilizar plano e treinamento de montagem                                                                                                          | Empresa de Instalação |
| Montagem                    | Armar a estrutura de suporte utilizando ferramentas elétricas  | Energia Elétrica      | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(choques elétricos)                             | EPI's<br>Supervisão da atividade                     | Ocasional     | Moderado      | Moderado       | Inspeção e manutenção das ferramentas e cabeados                                                                                                                                                  | Empresa de Instalação |

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Figura 40 - Planilha da análise preventiva do risco – Parte C

| Análise Preventiva do Risco |                                                               |                               |                                                                                |                                                      |               |               |                |                       |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------|---------------|----------------|-----------------------|
| Etapa                       | Atividade                                                     | Perigo                        | Evento Indesejado                                                              | Controles Existentes                                 | Probabilidade | Consequências | Nível de Risco | Responsabilidades     |
| Montagem                    | Armar a estrutura de suporte utilizando ferramentas elétricas | Energia Mecânica              | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(vibrações das ferramentas)                     | Tempo de descanso<br>Supervisão da atividade         | Remoto        | Baixa         | Aceitável      | Empresa de Instalação |
| Montagem                    | Armar a estrutura de suporte utilizando ferramentas elétricas | Energia Biomecânica           | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(excesso de peso e/ou posições desconfortáveis) | EPI's<br>Fracionamento de carga<br>Tempo de descanso | Provável      | Moderado      | Moderado       | Empresa de Instalação |
| Montagem                    | Armar a estrutura de suporte utilizando ferramentas elétricas | Energia Mecânica              | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(partes móveis das ferramentas)                 | EPI's<br>Supervisão da atividade                     | Remoto        | Alta          | Moderado       | Empresa de Instalação |
| Montagem                    | Armar a estrutura de suporte utilizando ferramentas elétricas | Energia Sonora                | Danos e/ou Lesões à pessoas<br>(ruído das ferramentas)                         | EPI's                                                | Ocasional     | Baixa         | Aceitável      | Empresa de Instalação |
| Montagem                    | Armar a estrutura de suporte utilizando ferramentas elétricas | Eletromagnética Não ionizante | Desidratação, insolação e/ou queimaduras<br>(exposição a radiação solar)       | EPI's<br>Hidratação programada<br>Tempo de descanso  | Ocasional     | Moderado      | Moderado       | Empresa de Instalação |
| Montagem                    | Fixar elementos do sistema na estrutura de suporte            | Energia Gravitacional         | Danos aos elementos do sistema<br>(queda de objetos)                           | Supervisão da atividade                              | Ocasional     | Crítica       | Substancial    | Empresa de Instalação |

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Figura 41 - Planilha da análise preventiva do risco – Parte D

| Análise Preventiva do Risco |                                                    |                               |                                                                             |                                                             |               |               |                |                                                                                                           |                       |
|-----------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------|---------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Etapa                       | Atividade                                          | Perigo                        | Evento Indesejado                                                           | Controles Existentes                                        | Probabilidade | Consequências | Nível de Risco | Melhorias ou Controles Recomendados                                                                       | Responsabilidades     |
| Montagem                    | Fixar elementos do sistema na estrutura de suporte | Energia Biomecânica           | Danos e/ou Lesões à pessoas (excesso de peso e/ou posições desconfortáveis) | EPI's<br>Ferramentas adequadas                              | Provável      | Moderado      | Moderado       | Não executar a atividade de forma individual<br>Estabelecer conformidade com a NR-17                      | Empresa de Instalação |
| Montagem                    | Fixar elementos do sistema na estrutura de suporte | Eletromagnética Não ionizante | Desidratação, insolação e/ou queimaduras (exposição a radiação solar)       | EPI's<br>Hidratação programada<br>Tempo de descanso         | Ocasional     | Moderado      | Moderado       | Usar protetor solar, óculo de segurança com proteção contra radiação solar<br>Repositor hidroeletrólítico | Empresa de Instalação |
| Montagem                    | Interconectar os elementos do sistema              | Energia Biomecânica           | Danos e/ou Lesões à pessoas (posições desconfortáveis)                      | EPI's<br>Tempo de descanso                                  | Frequente     | Leve          | Moderado       | Utilizar carrinho esteira para conectar cabos dos módulos                                                 | Empresa de Instalação |
| Montagem                    | Interconectar os elementos do sistema              | Ameaça Externa                | Furto e/ou Roubo dos elementos do sistema (segurança pública)               | Supervisão da atividade                                     | Remoto        | Crítica       | Moderado       | Controle de acesso na área de montagem<br>Checklist e contagem do material                                | Empresa de Instalação |
| Montagem                    | Interconectar os elementos do sistema              | Energia Térmica               | Danos aos elementos do sistema (pontos quentes por montagem ineficiente)    | Inspeção das conexões de cabeios<br>Supervisão da atividade | Ocasional     | Crítica       | Substancial    | Dupla checagem de conexões e cabeios                                                                      | Empresa de Instalação |
| Montagem                    | Instalar o sistema de equipotencialização          | Energia Elétrica              | Danos aos elementos do sistema (curto circuito)                             | Inspeção das conexões de cabeios<br>Supervisão da atividade | Remoto        | Crítica       | Moderado       | Dupla checagem de conexões e cabeios                                                                      | Empresa de Instalação |

Fonte: Arquivo pessoal (2018)



Figura 42 - Planilha da análise preventiva do risco – Parte E

| Análise Preventiva do Risco |                                                                                      |                  |                                                 |                                                                                     |               |               |                |                                                                           |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Etapa                       | Atividade                                                                            | Perigo           | Evento Indesejado                               | Controles Existentes                                                                | Probabilidade | Consequências | Nível de Risco | Responsabilidades                                                         |
| Montagem                    | Instalar o sistema de aterramento                                                    | Energia Elétrica | Danos aos elementos do sistema (curto circuito) | Inspeção das conexões de cabamentos<br>Supervisão da atividade                      | Remoto        | Crítica       | Moderado       | Dupla checagem de conexões e cabamentos<br>Empresa de Instalação          |
| Conexão Elétrica            | Conectar o sistema ao quadro de distribuição de energia elétrica                     | Energia Elétrica | Danos aos elementos do sistema (curto circuito) | Inspeção das conexões de cabamentos<br>Treinamento NR-10<br>Supervisão da atividade | Ocasional     | Crítica       | Substancial    | Definir plano de manutenção e inspeção periódico<br>Empresa de Instalação |
| Conexão Elétrica            | Conectar o sistema ao quadro de distribuição de energia elétrica                     | Energia Elétrica | Danos e/ou Lesões à pessoas (choques elétricos) | EPI's<br>Treinamento NR-10<br>Supervisão da atividade                               | Ocasional     | Crítica       | Substancial    | Definir plano de manutenção e inspeção periódico<br>Empresa de Instalação |
| Conexão Elétrica            | Conectar o sistema fotovoltaico ao sistema de proteção contra descargas atmosféricas | Energia Elétrica | Danos aos elementos do sistema (curto circuito) | Inspeção das conexões de cabamentos<br>Supervisão da atividade                      | Ocasional     | Crítica       | Substancial    | Definir plano de manutenção e inspeção periódico<br>Empresa de Instalação |
| Conexão Elétrica            | Conectar o sistema fotovoltaico ao sistema de proteção contra descargas atmosféricas | Energia Térmica  | Danos aos elementos do sistema (incêndio)       | Inspeção das conexões de cabamentos<br>Supervisão da atividade                      | Remoto        | Crítica       | Moderado       | Definir plano de manutenção e inspeção periódico<br>Empresa de Instalação |

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Ao analisar a coluna do nível de risco é possível observar que os riscos substancial, moderado e aceitável representam respectivamente 29%, 64% e 7% do processo de instalação do sistema fotovoltaico, inferindo de forma geral que o processo de instalação possui majoritariamente um nível de risco Moderado.

O risco substancial surgiu 8 vezes, estando relacionado com 7 atividades diferentes, das quais 3 pertencem a etapa de transporte, 2 a etapa de montagem e 2 a etapa de conexão elétrica. Já o risco moderado apareceu em 18 momentos, estando vinculado a 9 atividades distintas, das quais 3 pertencem a etapa de transporte, 5 a etapa de montagem e 1 a etapa de conexão elétrica. No âmbito do risco aceitável, foram registrados 2 surgimentos, ligados a 1 atividade oriunda da etapa de montagem, conforme apresentado na Figura 43.

**Figura 43 - Resumo da classificação do risco**

| Nível de risco                           | Substancial | Moderado | Aceitável |
|------------------------------------------|-------------|----------|-----------|
| Percentual do risco no processo          | 29%         | 64%      | 7%        |
| Número de ocorrências no processo        | 8           | 18       | 2         |
| Número de atividades relacionadas        | 7           | 9        | 1         |
| Ocorrências na etapa de transporte       | 3           | 3        | -         |
| Ocorrências na etapa de montagem         | 2           | 5        | 1         |
| Ocorrências na etapa de conexão elétrica | 2           | 1        | -         |

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Com a implementação das melhorias ou controles recomendados, por parte da empresa responsável pela instalação do sistema, existe a possibilidade de melhoria do nível de risco em determinadas atividades do processo de instalação e consequentemente diminuição da probabilidade de episódios de acidentes e/ou incidentes.

#### 4.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de instalação do sistema fotovoltaico apresentou majoritariamente um nível de risco moderado, dado que os riscos substancial, moderado e aceitável surgiram no processo respectivamente 29%, 64% e 7% do total de ocorrências. Foi possível identificar que a maioria dos eventos indesejados apontados estão relacionados principalmente com os perigos conexos às energias: gravitacional (21%), elétrica (21%) e

biomecânica (18%). Esta última abre espaço para estudos futuros que tragam uma abordagem ergonômica ao processo de instalação de um sistema fotovoltaico, uma vez que no mesmo ocorrem situações com posturas incomodas, carregamento de peso excessivo, movimentos de agachamento e flexão de coluna vertebral constantes.

Utilizar uma abordagem preventiva em gerenciamento de risco possibilita melhoria das condições de segurança no local de trabalho, permitindo execução de atividades em níveis de risco aceitável ou até mesmo moderado, desde que com maior atenção ao trabalho a ser executado.

## **5 CONCLUSÃO**

O estudo atingiu o seu objetivo de efetuar uma análise preventiva dos principais riscos envolvidos no processo de instalação do sistema fotovoltaico dimensionado para o Metrô em São Paulo.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 687 de 24 de novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição - PRODIST, Brasília, DF, 24 nov. 2015.

\_\_\_\_\_. **Geração distribuída**: central geradora solar fotovoltaica. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/VerGD.asp>>. Acesso em: 27 ago. 2018.

ALMEIDA, M. P. **Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2012. 171 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 31.000**: Gestão de Riscos - Princípios e Diretrizes. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR OHSAS 18001**: Sistemas de Gestão para Segurança e Saúde Ocupacional - Especificação. Rio de Janeiro, 2007. p. 2

BRASIL. Lei 8.213, de 24 de julho de 1991. Dispõe sobre os planos de benefícios da previdência social e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1991.

\_\_\_\_\_. **Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho**: AEAT 2017. Brasília, v1. P.1-992. 2017. Disponível em: <<http://sa.previdencia.gov.br/site/2018/09/AEAT-2017.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2018.

DUPONT. **Análise de risco de processos**: manual do participante. E.I. du Pont de Nemours and Company e Du Pont do Brasil S/A. DuPont Sustainable Solutions, São Paulo, 2014.

EMETUMAH, F.C. **Integrated management systems as a risk management tool: Combining ISO 9001, ISO 14001 & OHSAS 18001 standards in process industries**. Boca Raton, FL, USA, 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Informe técnico**: leilão de energia de reserva A-4/2017. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-110/EPE-DEE-IT-096%20-%20A4%202017%20-%20Vers%C3%A3o%20Final.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2018.

\_\_\_\_\_. **Informe técnico**: leilão de geração de energia elétrica A-4/2018. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-265/topico-383/Informe%20Leil%C3%A3o%20A-4%202018\\_r4.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-265/topico-383/Informe%20Leil%C3%A3o%20A-4%202018_r4.pdf)>. Acesso em: 27 ago. 2018.

\_\_\_\_\_. **Leilão de Energia de Reserva de 2014:** participação dos empreendimentos solares fotovoltaicos: visão geral. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-94/NT\\_EPE-DEE-NT-150\\_2014.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-94/NT_EPE-DEE-NT-150_2014.pdf)>. Acesso em: 27 ago. 2018.

\_\_\_\_\_. **Leilão de Energia de Reserva de 2015:** participação dos empreendimentos solares fotovoltaicos: visão geral. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-73/NT\\_EPE-DEE-NT-127\\_2015-r0\\_completo.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-73/NT_EPE-DEE-NT-127_2015-r0_completo.pdf)>. Acesso em: 27 ago. 2018.

GOMES, R. O.; MATTIODA, R. A. **Técnicas de prevenção e controle de perdas em segurança do trabalho:** Um ajuste ao PDCA. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXXI., 2011, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2011.

GOOGLE EARTH. **Apresenta área destinada à instalação do sistema fotovoltaico.** São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 22 set. 2018.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Renewable energy and jobs:** annual review 2018. Masdar, 2018. Disponível em: <[https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/May/IRENA\\_RE\\_Jobs\\_Annual\\_Review\\_2018.pdf](https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/May/IRENA_RE_Jobs_Annual_Review_2018.pdf)>. Acesso em: 27 ago. 2018.

LUZSOLAR. **Como funciona um sistema fotovoltaico?** Florianópolis, 2018. Disponível em: <<http://luzsolar.com.br/como-funciona-o-sistema-fotovoltaico/>>. Acesso em: 14 dez. 2018.

MANI, M.; PILLAI, R. Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: research status, challenges and recommendations. **Renewable and Sustainable Energy Reviews.** Bangalore, p. 3124-3131, 2010.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). **Workplace Safety & Health Topics:** Hierarchy of controls. Washington, 2015. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/niosh/topics/hierarchy/default.html>>. Acesso em: 14 dez. 2018.

OLIVERIA, M. A. **Saúde, segurança do trabalho e meio ambiente.** São Paulo: Senac, 2018. 270 p. (Série universitária, ISBN/9788539622092).

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: CEPEL/CRESESB, 2014. 530 p. (Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos)

PORTALSOLAR. **Fabricação do painel solar:** passo a passo. São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/passa-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>>. Acesso em 14 dez. 2017.

REASON, J. **Human error**: models and management. Department of Psychology, University of Manchester, Manchester. v.320. 2000.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE). **Encadeamento Produtivo**: Energia Fotovoltaica. Bahia, 2017. Disponível em: <<https://m.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/BA/Anexos/Encadeamento%20produtivo%20-%20energia%20fotovoltaica.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2018.

UL. Firefighter Safety Research Institute. **Firefighter Safety and Photovoltaic Systems**. Illinois: 2010. Disponível em: <<https://ulfirefightersafety.org/research-projects/firefighter-safety-and-photovoltaic-systems.html#>>>. Acesso em: 12 jan. 2019.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP). Escola Politécnica. **Apostila de Introdução à engenharia de segurança do trabalho**. São Paulo: 2017. 178 p. (Apostila do curso de pós-graduação em engenharia de segurança do trabalho)

\_\_\_\_\_. Escola Politécnica. **Apostila de gerência de riscos**. São Paulo: 2018. 271 p. (Apostila do curso de pós-graduação em engenharia de segurança do trabalho)

## GLOSSÁRIO

**Condição perigosa** - considerada como uma característica intrínseca que, se materializada, pode levar a um incidente ou acidente; em outras palavras, é uma condição com potencial de gerar um dano

**Controles** - são medidas que podem atuar tanto em prevenção, quanto em recuperação, minimizando uma potencial ocorrência de um evento indesejado ou mitigando as consequências da ocorrência de um evento indesejado. os controles podem ser hierarquizados.

**Energia biológica** - associada à microrganismos com potencial de causar danos à saúde, como, por exemplo, vírus, bactérias, ácaros, protozoários e outros, encontrados em equipamentos de ar condicionado, vasos sanitários, água não tratada, lixo, etc.

**Energia biomecânica** - associada à ergonomia, como, por exemplo, mecanismos do corpo humano, postura incorreta, fadiga, etc.

**Energia elétrica** - associada à corrente elétrica e variações de tensão, como, por exemplo, equipamentos energizados, baterias, fiação energizada, tomadas sem proteção, etc.

**Energia eletromagnética ionizante** - associada à radiação ionizantes, como, por exemplo, partículas alfa, beta, gama e raio-x encontradas em equipamentos de tomografia, equipamentos de raio-x, medidores de densidade e vazão, fontes radioativas, etc.

**Energia eletromagnética não ionizante** - associada à radiação não-ionizantes excessiva, como, por exemplo, ultravioleta, infravermelho, ondas de rádio, luz visível encontradas em laser, micro-ondas, lâmpadas, metal derretido, solda, etc.

**Energia gravitacional** - associada à altura, como, por exemplo, objetos elevados em guindastes, prateleiras, telhados, pontes rolantes, locais altos como estruturas, plataformas, etc.

**Energia hidráulica** - associada à pressão, como, por exemplo, sistemas pressurizados, circuitos hidráulicos, etc.



**Energia mecânica** - associada à cinética, como, por exemplo, equipamentos com partes móveis expostas, engrenagens, correias, ventiladores, moinhos giratórios, polias, pás giratórias, eixos, etc.

**Energia química** - associada à produtos químicos com característica agressiva independentemente de sua fase, como, por exemplo, produtos tóxicos, asfixiantes, inflamáveis, explosivos, etc.

**Energia sonora** - associada à ruídos excessivos e acima dos limites de tolerância, como, por exemplo, ruídos provenientes de motores, lixadeiras, instrumentos

**Energia térmica** - associada à fontes de calor ou frio excessivo, como, por exemplo, forno, chapas quentes, câmara fria, serpentinas, churrasqueiras, neve, brasa, etc.

**Perigo** - exposição à condição perigosa

**Risco** - um número, que usualmente pode ser considerado como função da probabilidade da condição perigosa se materializar em um evento indesejado e da consequência que essa materialização irá causar.