

PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

ADALTO ROMUALDO

**Análise crítica das ocorrências técnicas em sistemas fotovoltaicos em
minigeração distribuída: estudo de casos**

São Paulo

Agosto de 2019

ADALTO ROMUALDO

**Análise crítica das ocorrências técnicas em sistemas fotovoltaicos em
minigeração distribuída: estudo de casos**

Resumo

Resumo de monografia apresentado ao Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como forma de avaliação parcial do Curso de Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Área de concentração: Energia Solar Fotovoltaica

Orientador: Professor Mestre Alvaro Nakano

São Paulo
Agosto de 2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

Romualdo, Adalto

Análise crítica das ocorrências técnicas em sistemas fotovoltaicos em minigeração distribuída: estudo de casos / A. Romualdo -- São Paulo, 2019.

69 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Sistemas Fotovoltaicos 2.Processo Construtivo 3.Análise Crítica 4.Ocorrências de Falhas 5.Ações Preventivas I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

AGRADECIMENTOS

Durante o processo de construção da monografia escutei uma frase engraçada: “Nunca dedique em sua monografia o nome da sua namorada ou esposa”, pois no futuro se não der certo o nome dela estará na dedicatória e você terá que levar isso para sempre. Eu discordo dessa frase, porque as pessoas que estão conosco no presente ou que fizeram parte em algum momento de nossas vidas deixaram seus registros na nossa história, nos tornando de alguma maneira pessoas melhores, e seja lá até quando ela irá me aguentar nessa vida, quero deixar meus agradecimentos a minha namorada Julia Horta Tabosa do Egito, que muito me aguentou, me auxiliou e corrigiu meu belo português durante este processo. Quero agradecer ao Professor Alvaro Nakano pela orientação e pelo grande suporte durante todo o processo, onde tudo iniciou-se numa tarde de sexta-feira, na cantina da Universidade encontrei-o e durante a refeição estávamos conversando, em meio as ideias de temas da monografia ele sugeriu este tema ao qual foi desafiador e ao mesmo tempo prazeroso pois obtive apoio dos companheiros de trabalho para trazer os dados e informações técnicas. Para encerrar quero agradecer e me desculpar a minha família e amigos pela ausência destes dias de monografia e que Deus me ilumine e abençoe para que novos desafios nunca parem de chegar.

RESUMO

O surpreendente aumento da demanda por energia elétrica tem favorecido o crescimento da geração de eletricidade a partir das fontes renováveis como a de energia solar fotovoltaica. Segundo dados da ABSOLAR (2019), a participação deste tipo de energia tem amplo espaço para crescimento em relação à matriz de geração elétrica Brasileira, apresentando diversas vantagens econômicas e ambientais. Frente a este crescimento, a cadeia produtiva do setor vem se estabelecendo no país, principalmente no que tange ao projeto e a construção de sistemas fotovoltaicos. Dentro dessas etapas, surge a relevante necessidade de desenvolver a eficiência na capacitação de seus agentes e processos, a fim de aumentar a viabilidade econômica e garantir o nível satisfatório na qualidade dos sistemas fotovoltaicos. Para esse processo, é fundamental uma análise crítica do histórico de ocorrências anteriores, a fim de evitar a reincidência de falhas. Assim, o objetivo do presente estudo é apresentar um panorama sobre os principais problemas registrados – ao longo de 8 meses a partir do início do período de energização de cada sistema – em três usinas de minigeração fotovoltaica com potências instaladas entre 4MW à 5MW, localizadas no estado de Minas Gerais. A partir da análise crítica das principais ocorrências verificadas, foram apresentadas propostas de ações a fim de reduzir as ocorrências dos principais problemas no processo construtivo destas instalações fotovoltaicas. Esta análise foi embasada na metodologia de investigação “espinha de peixe” ou diagrama de Ishikawa e no diagrama de Pareto, uma vez que tais estratégias proporcionam uma abrangente visualização da relação entre a caracterização e problematização das falhas.

Palavras-chave: Sistemas Fotovoltaicos, Processo Construtivo, Análise Crítica, Ocorrências de Falhas, Ações Preventivas.

LISTA DE SIMBOLOS

Wp.....Watt pico

kW.....Quilowatts

kWp.....Quilowatts pico

MW.....Megawatts

kVA.....Quilovolt Ampere

ha.....Hectar

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Projeção do consumo de energia elétrica no Brasil	Pg.11
Figura 02 - Evolução da potência instalada – Microgeração e minigeração no Brasil	Pg.13
Figura 03 - Cadeia produtiva básica de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR)	Pg.14
Figura 04 - Modelo de diagrama de Pareto	Pg.21
Figura 05 - Modelo do diagrama de Ishikawa	Pg.23
Figura 06 - Unifilar genérico de uma usina fotovoltaica	Pg.25
Figura 07 - Cadeia produtiva básica de SFCR	Pg.32
Figura 08 - Diagrama de Pareto da usina A – Problema raiz	Pg.35
Figura 09 - Diagrama de Pareto da usina A – Problema dos inversores	Pg.36
Figura 10 - Diagrama de Pareto da usina A – Problema dos <i>trackers</i>	Pg.37
Figura 11 - Diagrama de Pareto da usina B – Problema raiz	Pg.38
Figura 12 - Diagrama de Pareto da usina B – Problema dos inversores	Pg.40
Figura 13 - Diagrama de Pareto da usina B – Problema dos <i>trackers</i>	Pg.41
Figura 14 - Diagrama de Pareto da usina C – Problema raiz	Pg.42
Figura 15 - Diagrama de Pareto da usina C – Problema dos inversores	Pg.43
Figura 16 - Diagrama de Pareto da usina C – Problema dos <i>trackers</i>	Pg.45
Figura 17- Diagrama de Ishikawa – Modelo	Pg.47

Figura 18 - Diagrama de Ishikawa – Problema de perda de comunicação nos inversores	Pg.48
Figura 19 - Diagrama de Ishikawa – Problema com o <i>modulo de potência</i> nos inversores	Pg.50
Figura 20 - Diagrama de Ishikawa – Problema com o cabo de aço do <i>tracker</i>	Pg.51
Figura 21 - Diagrama de Ishikawa – Problema no <i>tracker</i> sem movimentação	Pg.52
Figura 22 - Diagrama de Ishikawa – Problema com queima de fusíveis nos inversores	Pg.53
Figura 23 - Diagrama de Ishikawa – Problema com queima da placa DC do inversor	Pg.56
Figura 24 - Diagrama de Ishikawa – Problema com afundamento das estacas do <i>tracker</i>	Pg.57
Figura 25 - Diagrama de Ishikawa – Problema na junta do <i>cardan</i> do <i>tracker</i>	Pg.59
Figura 26 - Diagrama de Ishikawa – Problema com queima de fusíveis nos inversores	Pg.61
Figura 27 - Diagrama de Ishikawa – Problema de perda de comunicação nos inversores	Pg.63
Figura 28 - Diagrama de Ishikawa – Problema com afundamento das estacas do <i>tracker</i>	Pg.64
Figura 29 - Diagrama de Ishikawa – Problema com os controladores dos <i>trackers</i>	Pg.65

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Dados de controle planta A	Pg.27
Tabela 02 - Dados de controle planta B	Pg.29
Tabela 03 - Dados de controle planta C	Pg.31
Tabela 04 - Ocorrências gerados na usina A	Pg.34
Tabela 05 - Ocorrências gerados da usina A – Problema dos inversores	Pg.36
Tabela 06 - Ocorrências gerados da usina A – Problema dos <i>trackers</i>	Pg.37
Tabela 07 - Ocorrências gerados na usina B	Pg.38
Tabela 08 - Ocorrências gerados da usina B – Problema dos inversores	Pg.39
Tabela 09 - Ocorrências gerados da usina B – Problema dos <i>trackers</i>	Pg.40
Tabela 10 - Ocorrências gerados na usina C	Pg.42
Tabela 11 - Ocorrências gerados da usina C – Problema dos inversores	Pg.43
Tabela 12 - Ocorrências gerados da usina C – Problema dos inversores	Pg.44
Tabela 13 - Resumo das principais ocorrências selecionadas	Pg.46

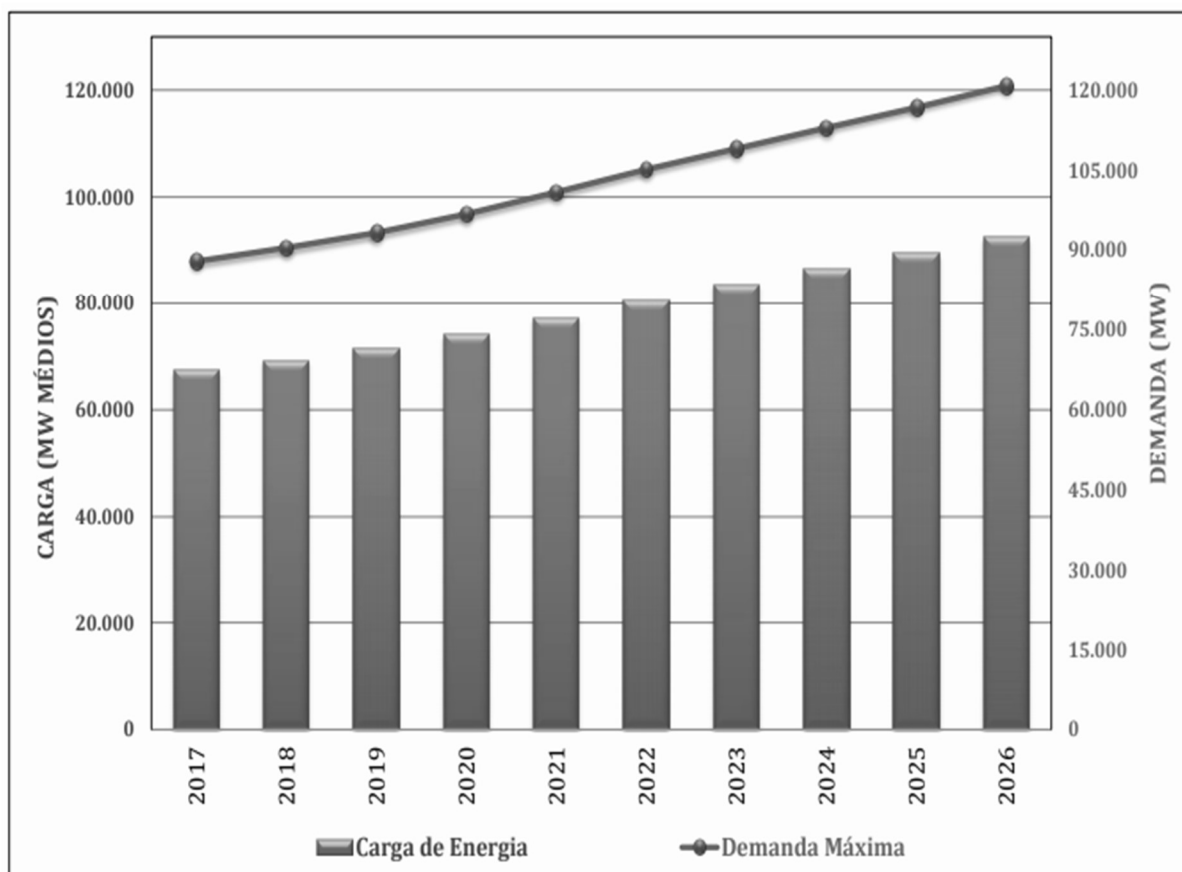
SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVO	17
1.1.1 Objetivo geral.....	17
1.1.2 Objetivos específicos	17
1.2 METODOLOGIA	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1. Normas e Regulamentações	19
2.2. Métodos de análise causa raiz.....	20
2.2.1. Diagrama de Pareto	20
2.2.2. Diagrama de Ishikawa.....	22
3. Estudo de caso	24
3.1. Especificações das usinas.....	24
3.1.1. Composição básica das usinas	24
3.2. Processo da cadeia produtiva	31
3.3. Processo de tratamento dos registros das ocorrências.....	32
3.4. Histórico de ocorrências	33
3.5. Análise das principais ocorrências selecionadas	33
3.6. Resumo das principais ocorrências selecionadas	45
3.7. Soluções mais relevantes e reflexões.....	46
4. CONCLUSÃO	67

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional mundial, além do desenvolvimento econômico e tecnológico têm promovido um surpreendente aumento da demanda por energia elétrica. No Brasil este cenário não é diferente. O Ministério de Minas e Energia (MME) e a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) conduziram, em 2017, uma pesquisa de projeção da demanda de energia elétrica até 2026 a qual revelou uma estimativa de crescimento continuado do consumo per capita de eletricidade (DEA¹, 2017), conforme mostra a figura 1.

Figura 1. Projeção do consumo de energia elétrica no Brasil



Fonte: EPE, 2017

Esse panorama tem impulsionado a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis como energia solar, eólica, geotérmica, oceânica e biomassa. Apesar destas serem consideradas energias limpas, elas também produzem alguns danos ambientais. Todavia, apresentam menor impacto em comparação as fontes

¹ DEA: Projeção da Demanda de Energia Elétrica.

não renováveis, como combustíveis fósseis. Considerando isto, iniciativas internacionais, como o Acordo de Paris – COP21² (2015) foram propostas medidas para conter o aquecimento global e reforçar um contexto de desenvolvimento sustentável. Assim, torna-se evidente que rápidas mudanças nos sistemas de produção de energia e no consumo aconteçam para que os objetivos pelo acordo sejam alcançados no tempo previsto.

Dentre as principais propostas na COP21, o mercado de sistemas fotovoltaicos tem ganhado destaque. Assim, às tecnologias solares têm se desenvolvido rapidamente, com os avançados módulos fotovoltaicos e inversores *on grid*, por exemplo. Segundo a Agência Internacional de Energia (AIE), compreende-se que essa tecnologia apresenta benefícios à longo prazo, além de elevado potencial sustentável por proporcionar vantagens acessíveis, inesgotáveis e limpas (NARUTO, 2017).

Atualmente, a matriz de geração elétrica Brasileira caracteriza-se por uma participação de 60.8% proveniente de recursos hídricos – principal fonte eletroenergética do país – enquanto apenas 1.2% advêm de energia solar fotovoltaica (ABSOLAR, 2019). Todavia, o Brasil possui expressivo potencial para geração de energia elétrica a partir de fonte solar, contando com níveis de irradiação solar superiores aos de países europeus onde projetos para aproveitamento de energia solar são amplamente disseminados.

Apesar das vantagens descritas acima, é importante considerar que também existem perdas de energia elétrica na rede básica (transmissão) ou perdas na rede de distribuição. Portanto, a geração de energia elétrica por fontes renováveis, como a solar fotovoltaica, pode ocorrer de forma descentralizada, ou seja, a modalidade de geração de energia encontra-se mais próximo da carga, reduzindo as perdas na rede. Ainda na forma descentralizada, considera-se que a central geradora pode ser classificada como microgeração – com potência instalada menor ou igual à 75kW – ou como minigeração – com potência instalada de 75kW à 5MW, conforme resoluções normativas n° 482, 687 e 786 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2015).

² COP21: A COP21 (Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2015) foi uma conferência realizada em Paris, entre os dias de 30 de novembro de 2015 e 12 de dezembro do mesmo ano. Teve a participação de chefes de estado (ou representantes) de 197 países, sendo que o principal tema foi o clima e as mudanças climáticas causadas pelo efeito estufa e aquecimento global.

O módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) – elaborado pela ANEEL – regula o desempenho e a qualidade de energia elétrica de sistemas fotovoltaicos conectados à rede em (a) regime permanente (e.i. tensão em regime permanente, fator de potência, harmônicos, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão e variação de frequência) ou em (b) regime transitório (e.i. variações de tensão em curta duração). Procedimentos como o anteriormente citado são de grande importância uma vez que é possível observar na figura 2 uma projeção estimada da potência instalada até 2024, segundo ANEEL. Esta figura destaca a elevada velocidade de crescimento da potência instalada, tanto para a microgeração quanto a minigeração, uma vez que já em 2018 foram alcançados os índices previstos para o fim de 2019. Dessa maneira, as resoluções normativas elaboradas foram cada vez mais cautelosas para que a Geração Distribuída evolua de forma sustentável e sem afetar o sistema de distribuição.

Figura 2 – Evolução da potência instalada – Microgeração e minigeração no Brasil



Fonte: ANEEL, 2018

Frente a este crescimento, a cadeia produtiva do setor vem se estabelecendo no País, principalmente no que tange ao projeto e a construção de sistemas fotovoltaicos. Dentro dessas etapas, surge a relevante necessidade de desenvolvimento da capacitação de seus agentes e processos, a fim de aumentar a viabilidade econômica e garantir o nível satisfatório na qualidade dos sistemas fotovoltaicos.

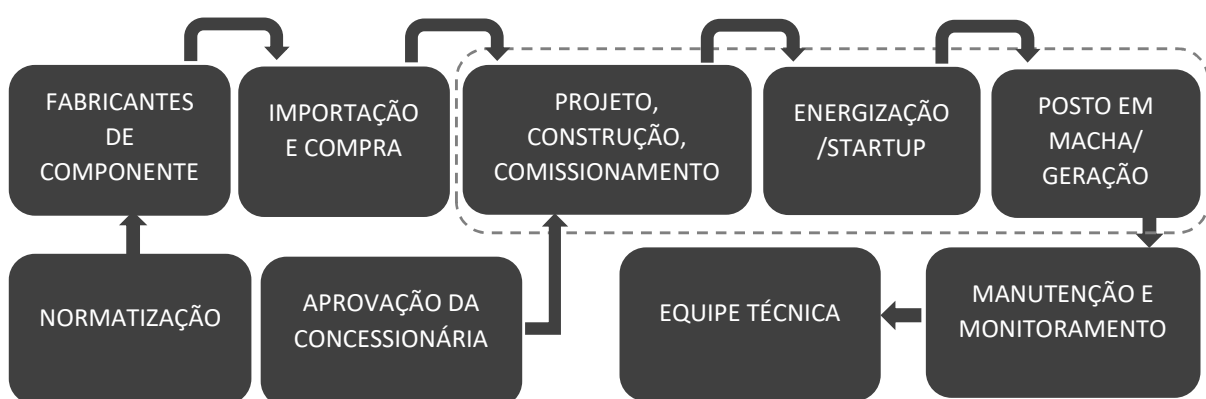
Neste sentido, uma das avaliações contínuas pode ser realizada com uma análise crítica dos problemas ocorridos e definindo as respectivas ações preventivas (análise causa-raiz), a fim de evitar a sua reincidência. Este método de avaliação geralmente tem como base os históricos de experiências práticas anteriores e exige o envolvimento dos agentes do processo para o norteamento das soluções potenciais.

Um dos métodos para análise da causa-raiz pode ser a investigação “espinha de peixe” ou diagrama de Ishikawa (LINS, 1993). A escolha por esse tipo de análise está sustentada por seu grau de abrangência e facilidade de visualização, proporcionando uma relação entre a caracterização e problematização das ocorrências com suas respectivas soluções possíveis, levantadas em conjunto com as equipes do processo. Este trabalho teve como base os dados históricos de ocorrências de falha das centrais geradoras fotovoltaicas selecionadas, registradas em um período de oito meses após sua energização.

Com o objetivo de limitar a abrangência deste estudo e direcionar o foco nas ocorrências e nas ações mais relevantes, foi aplicado também o método do diagrama de Pareto.

O fluxograma apresentado na figura 3 define, de forma básica, os principais processos da cadeia produtiva de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR). Este trabalho limitou suas análises de causa-raiz nas ocorrências relacionadas aos processos de projeto, construção, comissionamento, energização (startup) e posto em marcha (período de geração).

Figura 3. Cadeia produtiva básica de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR)



Fonte: Próprio autor, 2019

Inicialmente, é necessário ter conhecimento das normas que regulamentam o uso deste tipo de fonte energética, dos procedimentos da concessionária local para conexão à rede, dos órgãos de certificação de desempenho técnico e eficiência energética, entre outros. No Brasil as bases normativas principais são: RN482/2012 e RN687/2015 da ANEEL, NBR16149/2013, NBR16150/2013, NBR16274/2014 da Associação de Normas Brasileiras (ABNT), Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) da ANEEL, norma específica para conexão à rede da concessionária local e classificação de grau de eficiência energética do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). Os requisitos mínimos destas normas e regulamentações devem ser atendidos em todos os processos da cadeia produtiva.

A figura 3 apresenta na sequência os processos de projeto, construção e comissionamento, energização e posto em marcha, que formam o foco deste trabalho (demarcadas por linha pontilhada). Neste último processo há um procedimento de monitoramento da energia gerada e injetada à rede e registros de ocorrências. O presente trabalho não se propõe a estudar os processos de fabricação dos componentes do sistema, da compra ou aquisição de materiais e de importação apresentados na Figura 3.

O processo de construção da central deve ser antecedido sempre da etapa de aprovação do projeto junto à concessionária de energia elétrica do local. Concluído o processo construtivo, será o momento do comissionamento dos equipamentos do pátio e sala de controle. Após comissionada e aprovada, a central fotovoltaica estará apta a se conectar à rede de distribuição de energia. Considerando isto, este trabalho visa analisar o histórico de ocorrências de falhas detectadas no processo de geração de energia (após sua energização) e explorar a causa-raiz destas ocorrências relacionada com as etapas de projeto, construção ou comissionamento. Para tal fim, foram selecionadas três centrais de minigeração fotovoltaica com potências instaladas entre 4MW à 5MW, localizadas no estado de Minas Gerais (ver descrição detalhada das centrais na seção 3.).

Dentro desta abrangência, o estudo procurou apresentar um panorama sobre as principais ocorrências de falhas em cada uma destas centrais, registradas em um período após o período de energização, conforme seção 3.5.

Após uma análise crítica das principais ocorrências (seção 3.5), foram propostas ações preventivas mais relevantes visando o aumento de qualidade no

processo construtivo de instalações fotovoltaicas, concluindo na seção 3.7 com uma discussão desses assuntos.

A empresa detentora das informações registradas pós energização das usinas fotovoltaicas selecionadas autorizou a utilização dos dados apresentados nesta monografia. Por questões éticas de sigilo serão preservadas as identificações do proprietário (investidor), assim como a empresa responsável pelo EPC (engenharia, compras dos componentes e construção). Logo, as usinas fotovoltaicas serão identificadas por: A, B e C. Vale salientar que não serão divulgados marcas e modelos dos equipamentos.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo geral

O presente estudo teve por objetivo apresentar um plano de ações preventivas com base em uma análise crítica das principais ocorrências técnicas em sistemas fotovoltaicos em minigeração distribuída, registradas no período pós energização (regime de geração).

1.1.2 Objetivos específicos

- Estudar normas e regulamentações vigentes inerentes a Geração Distribuída e Sistema Fotovoltaico (qualidade de energia gerada e desempenho do sistema);
- Estudar análise de causa raiz: “espinha de peixe” ou diagrama de Ishikawa e diagramas de Pareto;
- Analisar a composição construtiva das centrais fotovoltaicas selecionados;
- Processo de tratamento e informações dos registros das ocorrências;
- Analisar o histórico de ocorrências de falha das usinas fotovoltaicas;
- Selecionar as principais ocorrências – Diagrama de Pareto;
- Aplicar os métodos de análise de causa raiz – Diagrama de Ishikawa;
- Apresentar propostas e discussões das principais ações preventivas;
- Conclusão.

1.2 METODOLOGIA

Foram analisados os registros de dados fotovoltaicos decorrentes do funcionamento por oito meses de três plantas com potências instaladas entre 4MW - 5MW.

Primeiramente, o histórico de ocorrências fora organizado em tabelas comparativas entre as plantas fotovoltaicas estudadas. Em seguida, estes dados foram analisados a partir do diagrama de Pareto, destacando-se as ocorrências com maior grau de impacto técnico no desempenho do sistema; maior frequência; maior dificuldade para correção.

Considerando as ocorrências selecionadas na etapa anterior, utilizou-se a metodologia de investigação “espinha de peixe” (ou diagrama de Ishikawa) visando compreender a causa raiz de tais falhas.

Finalmente, as causas das ocorrências destacadas foram relacionadas com os processos de projeto, construção, comissionamento e fase inicial de geração. Somente então tornou-se possível a elaboração de um plano de ação preventiva para as ocorrências de maior relevância.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Normas e Regulamentações

Em abril de 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) regulamentou pela resolução nº482 o Sistema de Compensação de Energia Elétrica para as categorias de microgeração e minigeração distribuída provindas de fontes de energias renováveis³ ou cogeração qualificada⁴. Essa iniciativa marcou no Brasil a expansão da geração distribuída com destaque para a energia fotovoltaica. Em novembro de 2015, a ANEEL fez retificações com a resolução 687 (listadas abaixo), trazendo modificações vantajosas que tornaram o sistema fotovoltaico ainda mais atrativo no país.

As principais modificações na resolução REN 687 incluíram:

- Aumento de compensação tarifária de energia elétrica passando de 36 para 60 meses. Essa compensação pode se dar em mais de um imóvel desde que seja do mesmo titular ou de mesma concessionária. Também é possível compartilhar os créditos, ou uma porcentagem dela, com familiares;
- Foi criado o chamado empreendimento de múltiplas unidades consumidoras onde um sistema de geração distribuída pode ser construído para atender várias unidades do mesmo empreendimento;
- Realizado a revisão dos limites de enquadramento de microgeração e minigeração. Para microgeração a capacidade instalada é de até 75kW, enquanto para minigeração a capacidade deve ser maior do que 75kW para potências e menores ou igual a 3MW para pequenas centrais hidroelétricas (PCH) ou menores ou igual a 5MW para geração qualificada (energia solar, eólica e biomassa);
- As concessionárias passaram a não cobrar pela substituição dos medidores convencionais para bidirecionais em instalações de até 75kW;
- Criação da Geração Compartilhada onde é possível realizar à partir da união de um grupo de pessoas interessadas a criação de um consórcio

³ Fontes de energias renováveis: Fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica ou biomassa.

⁴ Cogeração qualificada: Atributo concedido a cogeneradores que atendem os requisitos definidos na Resolução Normativa nº 235 de 14/11/2006, segundo aspectos de racionalidade energética, para fins de participação nas políticas de incentivo à cogeração.

ou uma cooperativa. Assim, pode-se construir uma microgeração ou minigeração distribuída na qual a energia gerada pode ser rateada para compensação das faturas dos consórcios ou cooperativas.

- Redução do prazo de 82 para 34 dias para solicitar acesso à rede da distribuidora de energia elétrica para usinas de até 75kW.

2.2. Métodos de análise causa raiz

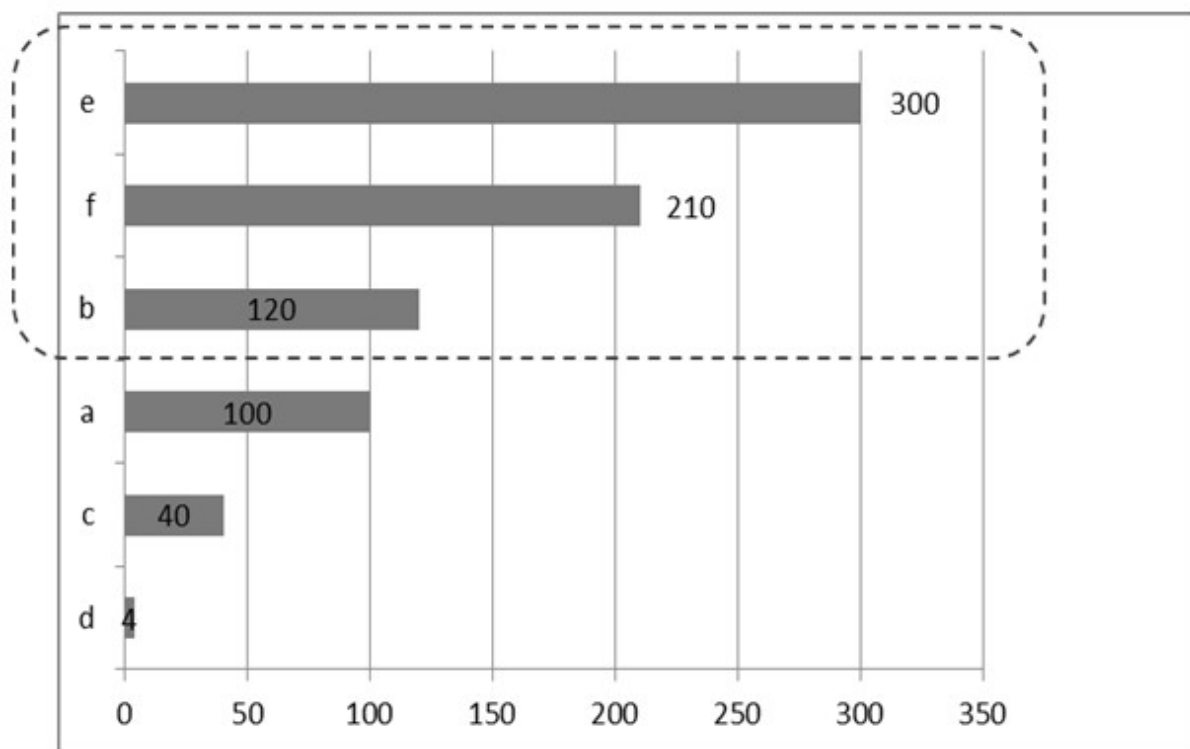
A qualidade de um processo produtivo pode ser avaliada por diversas ferramentas que permitem explorar, planejar e garantir que os produtos mantenham um determinado padrão. Assim, quando ocorrem significativos desvios em relação a qualidade destes produtos são aplicados procedimento de análise de causa raiz. Estas análises costumam ser sistematizadas de modo que (1) o problema seja selecionado; (2) as possíveis causas são verificadas; (3) são elencadas soluções aos problemas encontrados; (4) tais solução são implantadas; e então (5) os novos resultados podem ser averiguados. Desta forma, as ações corretivas costumam ser mais eficientes, pois são solucionadas as causas destes desvios. No âmbito do presente trabalho, optou-se por utilizar o diagrama de Pareto e o diagrama de Ishikawa.

2.2.1. Diagrama de Pareto

O diagrama de Pareto é uma das sete ferramentas básicas de qualidade que auxilia na identificação de pequenos problemas que são críticos e causam grandes perdas. Ele está baseado no Princípio de Pareto ou regra dos 80/20 que significa que 80% dos problemas são ocasionados por 20% das causas, o que favorece a ordem de prioridades que um gestor deve utilizar para resolver as causas. Assim, por meio deste procedimento busca-se implementar ações que trarão melhores resultados para as empresas. Então, neste diagrama será apresentado um gráfico de barras (ver ilustração na figura 4) que ordena as frequências das ocorrências em ordem decrescente, e permite a localização de prioridades urgentes e a eliminação de futuras perdas. Para a criação de um diagrama de Pareto são consideradas as seguintes etapas:

1. Identificar uma meta que não foi atingida;
2. Averiguar os possíveis problemas que impactaram no alcance da meta;
3. Levantar a frequência com que os problemas apareceram e/ou sua relevância;
4. Ordenar os problemas, de forma decrescente, para observar sua importância;
5. Calcular o percentual de impacto de cada problema além do percentual acumulado;
6. Elaborar um gráfico onde a coluna represente a regularidade de ocorrência e a linha represente a porcentagem acumulada;
7. Eleger os eventos que com os percentuais somados representem 80% dos problemas.

Figura 4. Modelo de diagrama de Pareto



Fonte: Próprio autor, 2019.

Como pode-se observar na figura 4, as ocorrências mais relevantes são os assuntos “e”, “f” e “b” que representam o maior número de eventos do universo problema. Assim podemos identificar a frequência de eventos do maior para o menor e assim designar qual problema deve ser resolvido prioritariamente. Este contexto aplicado ao presente trabalho está representado no item 3.5 e nele estão

identificados os três maiores e menores problemas onde foi aplicado o diagrama de Pareto para identificar as causas raízes dos eventos, frequência e grau de relevância.

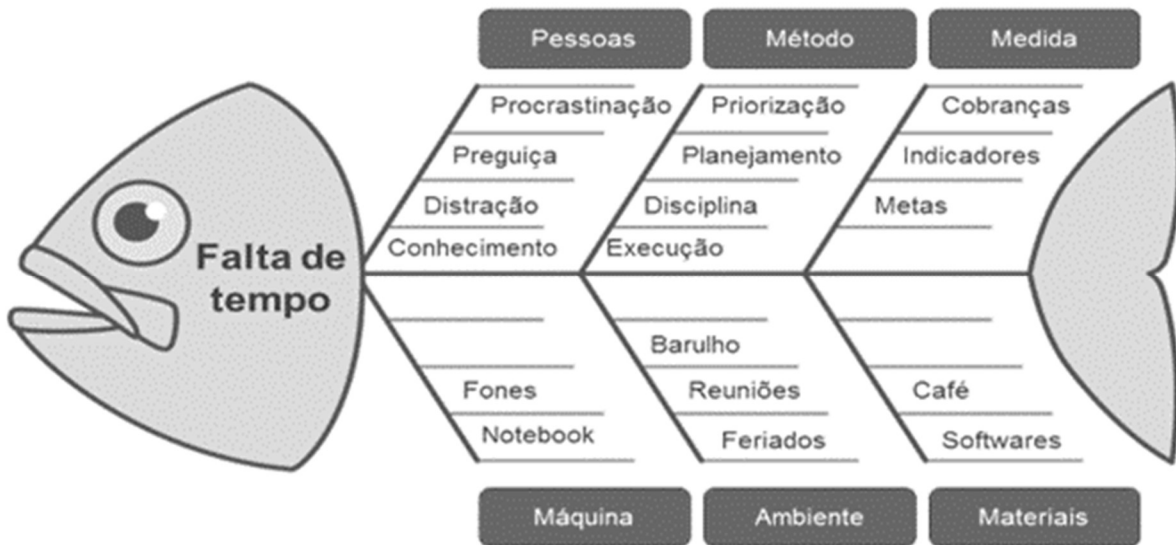
2.2.2. Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa também conhecido como Diagrama de Espinha de Peixe tem por finalidade organizar o raciocínio de discussões acerca de um problema para encontrar sua causa-raiz. A hierarquia desenvolvida nesse método permite agrupar e visualizar diversos arranjos para se identificar a causa do problema, assim como sua possível solução. Para criação do diagrama de Ishikawa deve-se seguir as seguintes etapas:

1. Selecionar o evento a ser estudado;
2. Estudar informações sobre o evento;
3. Verificar junto ao departamento técnico, quais são as causas possíveis deste evento, desde primárias às secundárias.
4. Encontrar os erros mais pertinentes ao problema e agrupá-los conforme os 6M's⁵;
5. Levantar quais as melhores práticas para os eventos identificados, designando um responsável para realização da solução.

⁵ 6M: Método (como a maneira que o trabalho é realizado afeta o problema); Máquina (como o equipamento utilizados no processo influenciam no problema); Medida (como as métricas utilizadas para medir o desenvolvimento da atividade influenciam o problema); Meio ambiente (como o meio em que a atividade está sendo desenvolvida influencia o problema); Material (como a qualidade e o tipo dos materiais utilizados influenciam o problema); Mão de obra (como as pessoas envolvidas nas atividades influenciam o problema).

Figura 5. Modelo do diagrama de Ishikawa



Fonte: Bueno, 2015.

Adotando a figura 5 como exemplo de aplicação do diagrama de Ishikawa, observa-se que “pessoas, máquina, método, ambiente, medida e materiais” representam as possíveis causas do problema, o que em análise conduz à “falta de tempo”, causa-raiz. Expandindo as possibilidades de forma organizada auxiliará a encontrar a causa e assim chegar ao resultado esperado. Em alguns casos não será possível utilizar todas as possibilidades, então neste caso utiliza-se somente as etapas pertinentes ao problema raiz em questão.

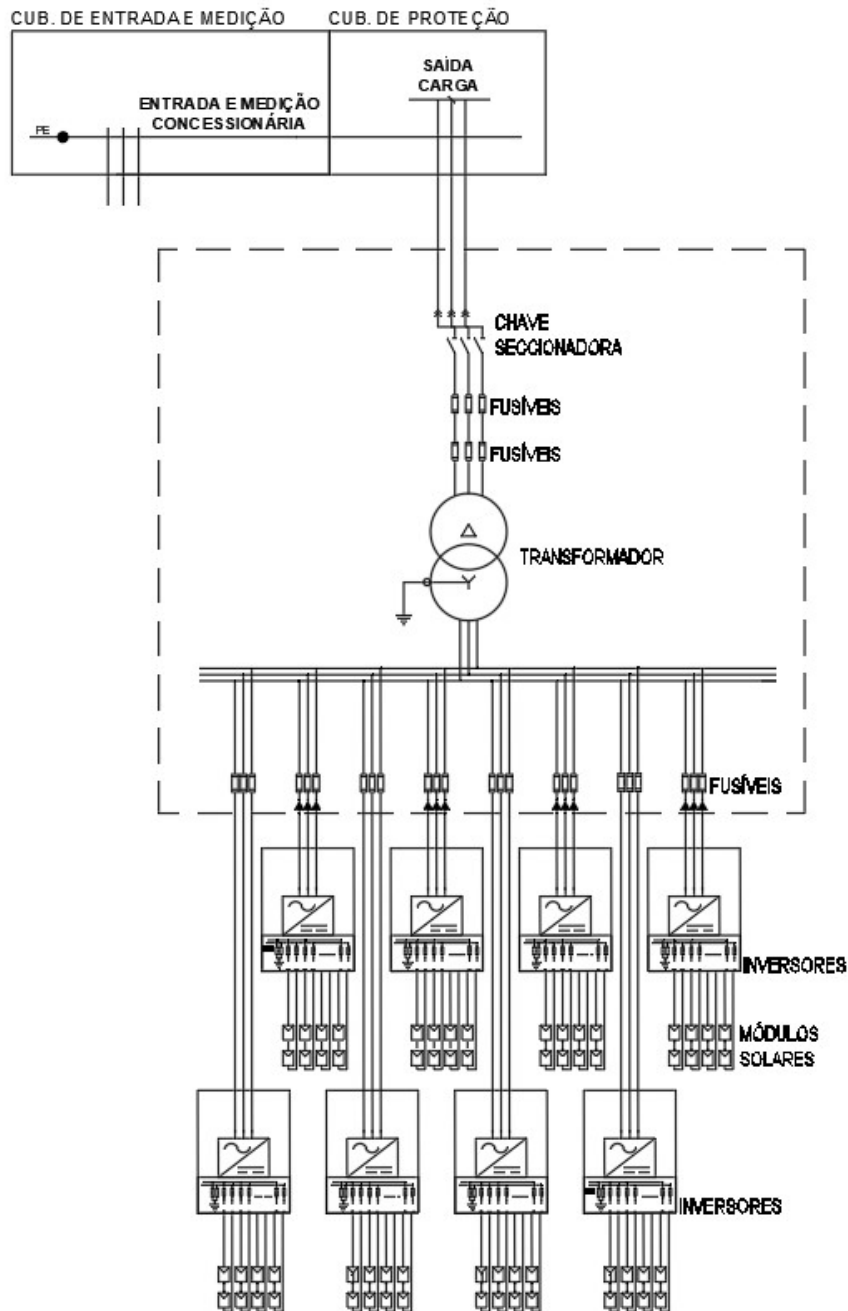
3. Estudo de caso

3.1. Especificações das usinas

3.1.1. Composição básica das usinas

Na figura 6 apresenta-se um modelo genérico de uma usina fotovoltaica. Da esquerda para direita, temos os módulos solares responsáveis em gerar energia elétrica através da captação de irradiação solar emitida pelo sol, essa energia transformada é enviada aos inversores que irão converter a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA). Essa corrente alternada segue até o transformador onde terá a função de ajustar a tensão de saída para transmissão à rede de distribuição. Ela geralmente passa por um cubículo de média tensão responsável pela medição e proteção antes da conexão à rede.

Figura 6. Unifilar genérico de uma usina fotovoltaica



Fonte: Próprio autor, 2019.

No caso do presente estudo, as usinas fotovoltaicas selecionadas estão localizadas no Estado de Minas Gerais. Como dito anteriormente, o foco do estudo de caso é tratar sobre as ocorrências de uma planta fotovoltaica pós energização e afim de preservar a empresa responsável pelo EPC, os investidores, o cliente final e

as marcas dos equipamentos de pátio, não foram divulgados nenhuma informação de caráter pessoal.

No caso do presente estudo, três centrais fotovoltaicas de minigeração distribuída foram selecionadas para análise. As seguir serão apresentadas suas características básicas (Tabelas 1, 2 e 3).

A tabela 1 representa a planta da usina fotovoltaica A, onde para sua construção foram necessárias uma área total de aproximadamente 12 hectares para uma demanda contratada de 4260kW. Foram utilizados cinco transformadores com medições distintas, em que quatro são de 1000kVA e um é de 500kVA. Cada transformador de 1000kVA possui dezesseis inversores de 60kW de potência por unidade conectados a ele e cada inversor possui onze *strings*. Cada *string* possui um arranjo de vinte módulos de 325W que são conectados em série, entregando uma potência total de 71,5kWp por inversor totalizando uma potência de 1144kWp entregues para cada transformador de 1000kVA. O transformador de 500kVA possui uma quantidade menor de inversores conectados a ele, com um total de sete inversores de mesma potência e mesma quantidade de módulos por *strings*, entregando uma potência de 500,5kWp.

Tabela 1. Dados de controle planta A

Projeto / nome da UFV	A
UF concessionária	MG_CEMIG
Estado	Minas Gerais
Área total	11,7335 ha
Demanda total a contratar	4260 kW
Dados dos transformadores tipo 01	
Transformador tipo 1 (kVA):	4x1000 kVA
Dados dos transformadores tipo 02	
Transformador tipo 2 (kVA):	1x500 kVA
Entrada de energia e medições concessionaria	
Tipo	Convencional em Alv. ou pré-moldada
Característica	Única conexão /Multimedição-MT
Nº de medições de faturamento	5
Demanda por transformador	960 kW
	420 kW
Demanda total a contratar	4260 kW
Dados da geração módulos	
Potência unitária dos módulos (Wp):	325
Estrutura de suporte - Seguidor (<i>tracker</i>)	
Módulos por arranjo (<i>string</i>)	20
Número de arranjos	780
Dados do(s) inversor(es)	
Tipo de inversor	<i>String Inverter</i>
Potência max. unitária inversores (cosφ=1)	60 kW
Quantidade	71

Fonte: Próprio autor, 2019.

A tabela 2 representa a planta da usina fotovoltaica B, onde para sua construção foram necessárias uma área total de aproximadamente 12 hectares para uma demanda contratada de 4320kW. Foram utilizados cinco transformadores com medições distintas, em que quatro são de 1000kVA e um é de 500kVA. Cada

transformador de 1000kVA possui dezesseis inversores de 60kW de potência por unidade conectados a ele e cada inversor possui onze *strings*. Cada *string* possui um arranjo de vinte módulos de 325W que são conectados em série, entregando uma potência total de 71,5kWp por inversor totalizando uma potência de 1144kWp entregues para cada transformador de 1000kVA. O transformador de 500kVA possui uma quantidade menor de inversores conectados a ele, com um total de oito inversores de mesma potência e mesma quantidade de módulos por *strings*, entregando uma potência de 572kWp.

Tabela 2. Dado de controle planta B

Projeto / nome da UFV	B
UF concessionária	MG_CEMIG
Estado	Minas Gerais
Área total	12,04 ha
Demanda total a contratar	4320 kW
Dados dos transformadores tipo 01	
Transformador tipo 1 (kVA):	4x1000 kVA
Dados dos transformadores tipo 02	
Transformador tipo 2 (kVA):	1x500 kVA
Entrada energia e medições concessionaria	
Tipo	Convencional em Alv. ou pré-moldada
Características	Única conexão /Multimedição-MT
Nº de medições de faturamento	5
Demanda por transformador	960 kW
	480 kW
Demanda total a contratar	4320 kW
Dados da geração módulos	
Potência unitária dos módulos (Wp):	325
Estrutura de suporte - Seguidor (<i>tracker</i>)	
Módulos por arranjo (<i>string</i>)	20
Número de arranjos	792
Dados do(s) inversor(es)	
Tipo de inversor	<i>String Inverter</i>
Potência max. unitária inversores (cosφ=1)	60 kW
Quantidade	72

Fonte: Próprio autor, 2019.

A tabela 3 representa a planta da usina fotovoltaica C, onde para sua construção foram necessárias uma área total de aproximadamente 15 hectares para uma demanda contratada de 4380kW. Foram utilizados cinco transformadores com

medições distintas, em que quatro são de 1000kVA e um é de 600kVA. Cada transformador de 1000kVA possui dezesseis inversores de 60kW de potência por unidade conectados a ele e cada inversor possui onze *strings*. Cada *string* possui um arranjo de vinte módulos de 320W e de 325W que são conectados em série, entregando uma potência total de 71,5kWp por inversor totalizando uma potência de 1144kWp entregues para cada transformador de 1000kVA. O transformador de 500kVA possui uma quantidade menor de inversores conectados a ele, com um total de oito inversores de mesma potência e mesma quantidade de módulos por *strings*, entregando uma potência de 572kWp.

Tabela 3. Dado de controle planta C

Projeto / nome da UFV	C
UF concessionária	MG_CEMIG
Estado	Minas Gerais
Área total	15,00 ha
Demanda total a contratar	4380KW
Dados dos transformadores tipo 01	
Transformador tipo 1 (kVA):	4x1000 kVA
Dados dos transformadores tipo 02	
Transformador tipo 2 (kVA):	1x600 kVA
Entrada de energia e medições concessionaria	
Tipo	Convencional em Alv. ou pré-moldada
Característica	Única conexão /Multimedição-MT
Nº de medições de faturamento	5
Demanda por transformador	960 kW
	600 kW
Demanda total a contratar	4380KW
Dados da geração módulos	
Potência unitária dos módulos (Wp):	320 e 325 Wp
Estrutura de suporte - Seguidor (<i>tracker</i>)	
Módulos por arranjo (<i>string</i>)	20
Número de arranjos	803
Dados do(s) inversor(es)	
Tipo de inversor	<i>String Inverter</i>
Potência max. unitária inversores (cosϕ=1)	60 kW
Quantidade	73

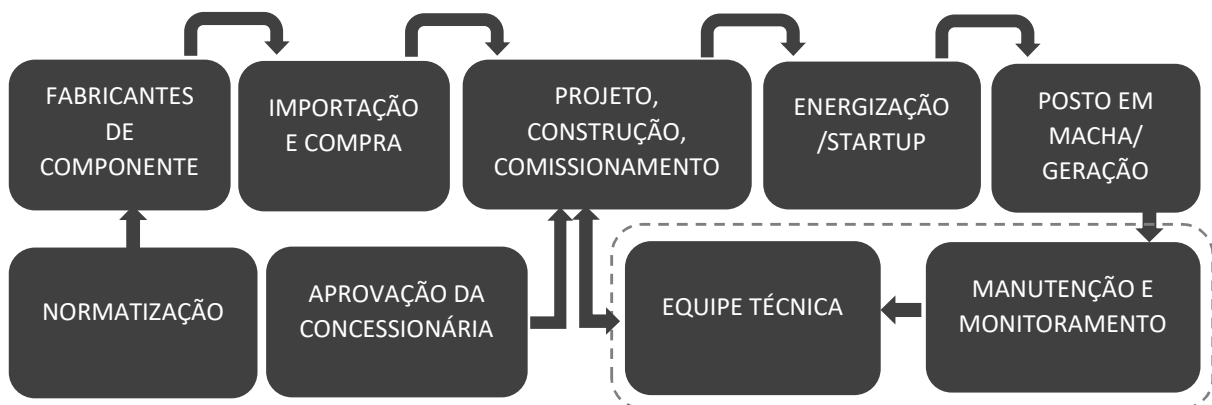
Fonte: Próprio autor, 2019.

3.2. Processo da cadeia produtiva

O fluxograma de uma cadeia produtiva de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) pode ser compreendido a partir da figura 07. Em linhas gerais, o

projeto executivo é realizado, a usina é construída e então ocorre o pré-comissionamento composto das seguintes etapas: (1) indicação dos equipamentos em teste, seja por cadeado ou etiqueta, com a finalidade de sinalizar o processo em curso e proteger os materiais e (2) energizar os equipamentos individualmente e realizar os testes conforme normas e especificações do próprio equipamento. Em seguida, realiza-se o passo do comissionamento - o qual pode ser *a frio*, onde os equipamentos estão vazios e são testados, e *a quente*, onde os equipamentos são testados com carga - na qual são feitas (1) novas sinalizações nos equipamentos testados, energizados e com sua montagem concluída e (2) energizar os equipamentos em grupo conforme especificações e normas. Por fim, ocorre a energização da planta fotovoltaica à rede de distribuição elétrica. Essa etapa caracteriza a distribuição de energia à concessionária (“posto em marcha”).

Figura 07. Cadeia produtiva básica de SFCR



Fonte: Próprio autor, 2019.

3.3. Processo de tratamento dos registros das ocorrências

A equipe de monitoramento opera controlando a produção diária de energia para garantir a geração de energia contratada. Esse monitoramento é feito de forma remota através de softwares dedicados a essa funcionalidade onde através de um sistema de comunicação os equipamentos de pátio são controlados e monitorados. A qualquer sinal de falha nos equipamentos monitorados é gerado um alarme onde é aberto um chamado pela equipe responsável pela supervisão do sistema e assim uma equipe de manutenção própria local é acionada para realizar as providências corretivas para normalizar o sistema. Essa equipe de manutenção possui rotinas diárias de atividades preventivas e preditivas com o propósito de garantir o menor

número de falhas no sistema. As usinas também contam com um sistema de monitoramento por câmeras em todo seu perímetro a fim de garantir a segurança da usina como também facilitar a equipe de monitoramento remota a identificar possíveis quedas de produção, como por exemplo um dia nublado, um seguidor solar (*tracker*) fora de operação, entre demais causas.

3.4. Histórico de ocorrências

Os registros de ocorrências das três usinas fotovoltaicas selecionadas para este trabalho foram iniciados a partir da data de energização. Com registro aproximado de 08 meses foram geradas ordens de serviços que foram detectadas localmente ou remotamente. Todos estes eventos são armazenados gerando assim um histórico de todos os eventos gerados em cada planta fotovoltaica. O número de registros de chamadas abertas de cada usina são:

- Usina A – 50 chamados abertos (Out/18 à Jun/19);
- Usina B – 66 chamados abertos (Out/18 à Jun/19);
- Usina C – 97 chamados aberto (Out/18 à Jun/19).

3.5. Análise das principais ocorrências selecionadas

Para a detecção da causa-raiz foi aplicado inicialmente o diagrama de Pareto para encontrar os dois maiores problemas ocorridos em cada planta fotovoltaica. A seleção das duas maiores ocorrências permitiu a aplicação do diagrama de Ishikawa para análise da causa raiz.

No Excel os dados foram organizados e tratados de modo que inicialmente as ocorrências foram agrupadas por tipo, por exemplo, evento provindos de inversores, módulos, transformadores e assim por diante. Em seguida, as ocorrências foram distribuídas em ordem decrescente em relação a sua frequência. Ainda, foram descritos os valores acumulados de eventos, o percentual de cada tipo de ocorrência e seu percentual acumulado (tabela 04, por exemplo).

Usina A

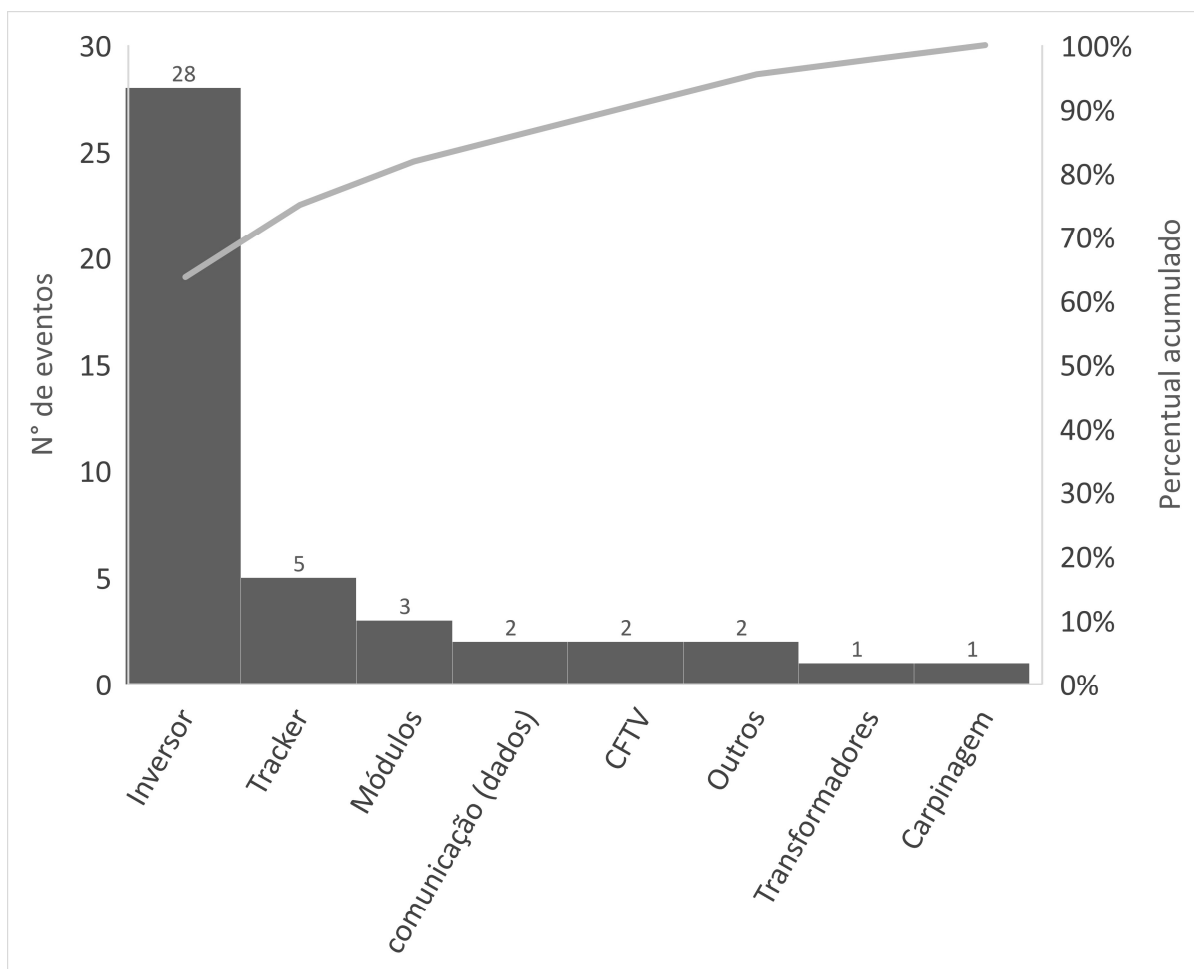
Pode-se observar na tabela 04 e na figura 08 que a ocorrência de falha de maior frequência na usina A relaciona-se ao funcionamento dos inversores (28 ocorrências no período de 8 meses).

Tabela 04. Ocorrências gerados na usina A

Problema raiz	N° de eventos	Valor acumulado	Percentual Unitário	Percentual Acumulado%
Inversor	28	28	64%	64%
<i>Tracker</i>	5	33	11%	75%
Módulos	3	36	7%	82%
Comunicação (dados)	2	38	5%	86%
CFTV	2	40	5%	91%
Outros	2	42	5%	95%
Transformadores	1	43	2%	98%
Carpinagem	1	44	2%	100%

Fonte: Próprio autor, 2019.

Figura 08. Diagrama de Pareto da usina A – Problema raiz



Fonte: Próprio autor, 2019.

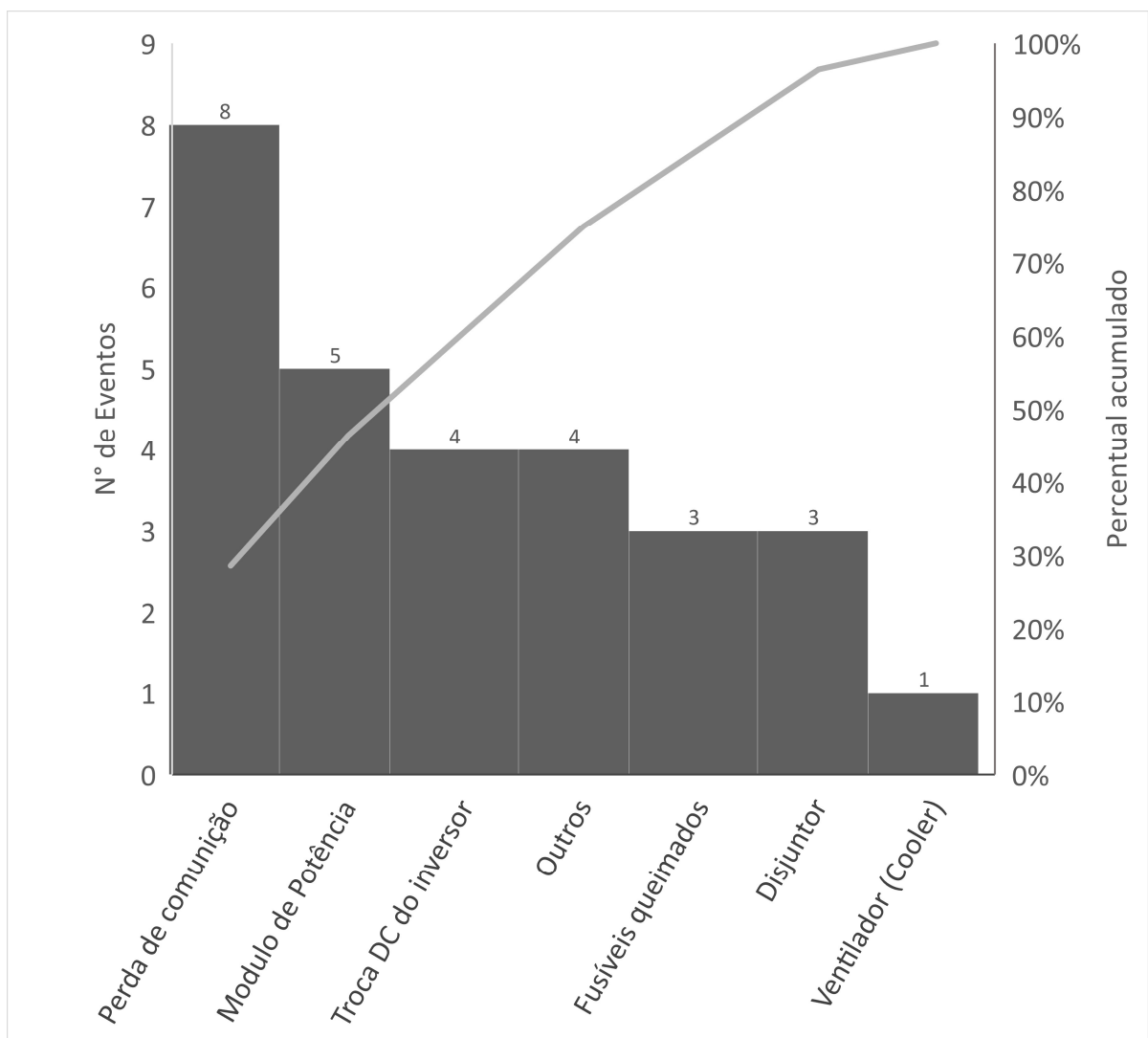
Em segundo lugar, verifica-se ocorrências no *tracker* (5 ocorrências no período de 8 meses). Na tabela 05 e na figura 09 são discriminados os problemas relacionados aos inversores, sendo que aproximadamente 50% destas ocorrências são decorrentes de perdas de comunicação e problemas no *modulo de potência*.

Tabela 05. Ocorrências gerados da usina A – Problema dos inversores

Problemas do Inversor	Nº de eventos	Valor acumulado	Percentual Unitário	Percentual Acumulado%
Perda de comunicação	8	8	29%	29%
Modulo de potência	5	13	18%	46%
Troca DC do inversor	4	17	14%	61%
Outros	4	21	14%	75%
Fusíveis queimados	3	24	11%	86%
Disjuntor	3	27	11%	96%
Ventilador (cooler).	1	28	4%	100%

Fonte: Próprio autor, 2019.

Figura 09. Diagrama de Pareto da usina A – Problema dos inversores



Fonte: Próprio autor, 2019.

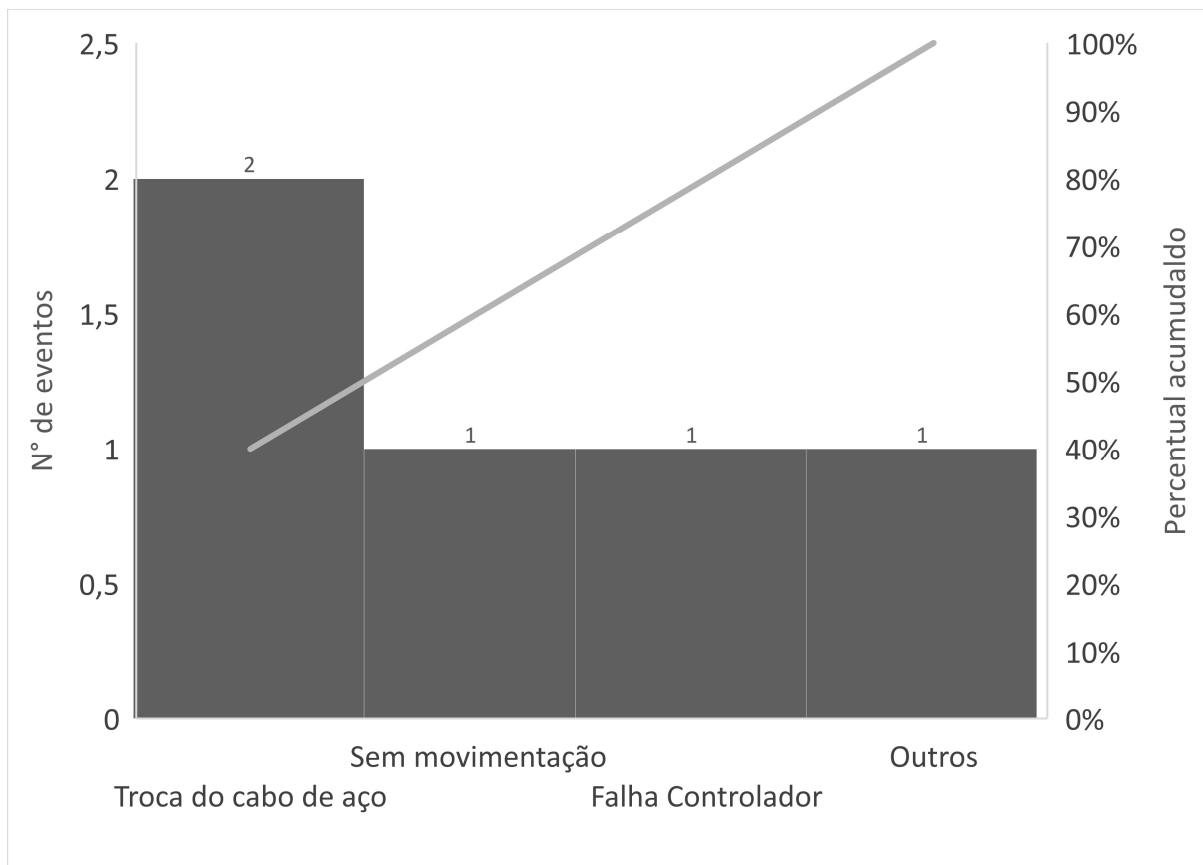
Na tabela 06 e na figura 10 são discriminados os problemas relacionados aos *tracker*, sendo que a ocorrência de maior frequência se relaciona com a troca de cabo de aço das mesas dos *trackers*.

Tabela 06. Ocorrências gerados da usina A – Problema dos *trackers*

Problemas dos <i>trackers</i>	Nº de eventos	Valor acumulado	Percentual Unitário	Percentual Acumulado%
Troca do cabo de aço	2	2	40%	40%
Sem movimentação	1	3	20%	60%
Falha controlador	1	4	20%	80%
Outros	1	5	20%	100%

Fonte: Próprio autor, 2019.

Figura 10. Diagrama de Pareto da usina A – Problema dos *trackers*



Fonte: Próprio autor, 2019.

Usina B

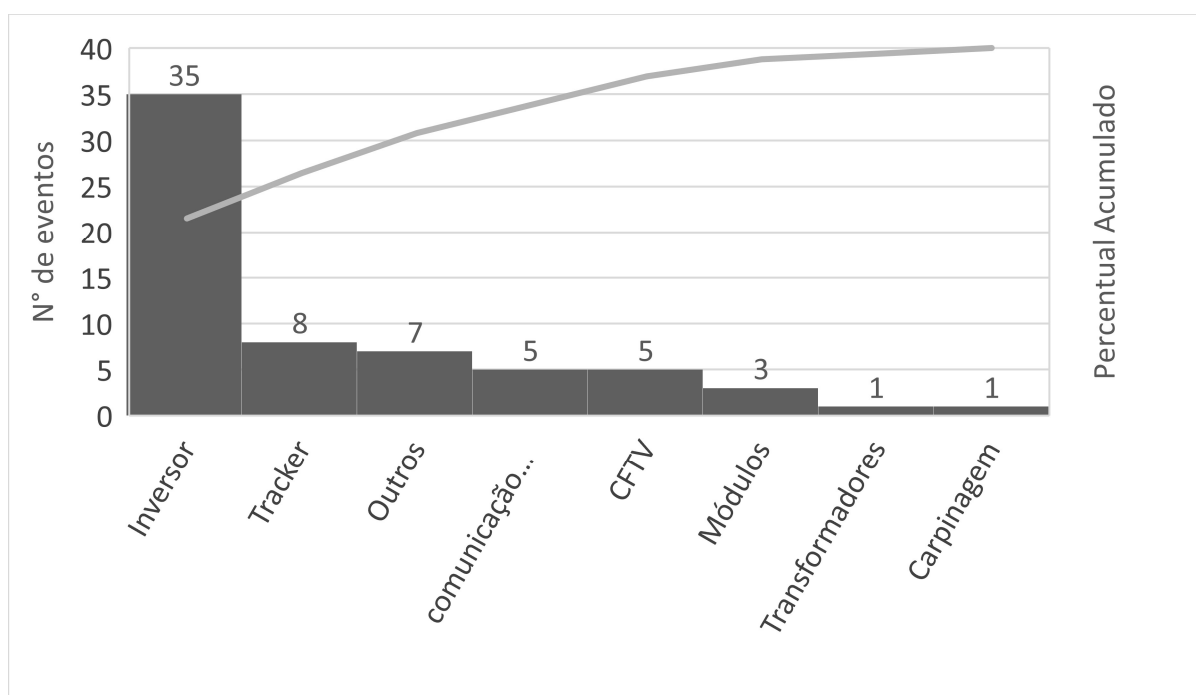
A usina B foi tratada com os mesmos critérios da usina anterior onde pode-se observar na tabela 07 e na figura 11 que a ocorrência de falha de maior frequência na usina B relaciona-se ao funcionamento dos inversores (35 ocorrências no período de 8 meses).

Tabela 07. Ocorrências gerados na usina B

Problema raiz	Nº de eventos	Valor acumulado	Percentual Unitário	Percentual Acumulado %
Inversor	35	35	54%	54%
<i>Trackers</i>	8	43	12%	66%
Outros	7	50	11%	77%
comunicação (dados)	5	55	8%	85%
CFTV	5	60	8%	92%
Módulos	3	63	5%	97%
Transformadores	1	64	2%	98%
Carpinagem	1	65	2%	100%

Fonte: Próprio autor, 2019.

Figura 11. Diagrama de Pareto da usina B – Problema raiz



Fonte: Próprio autor, 2019.

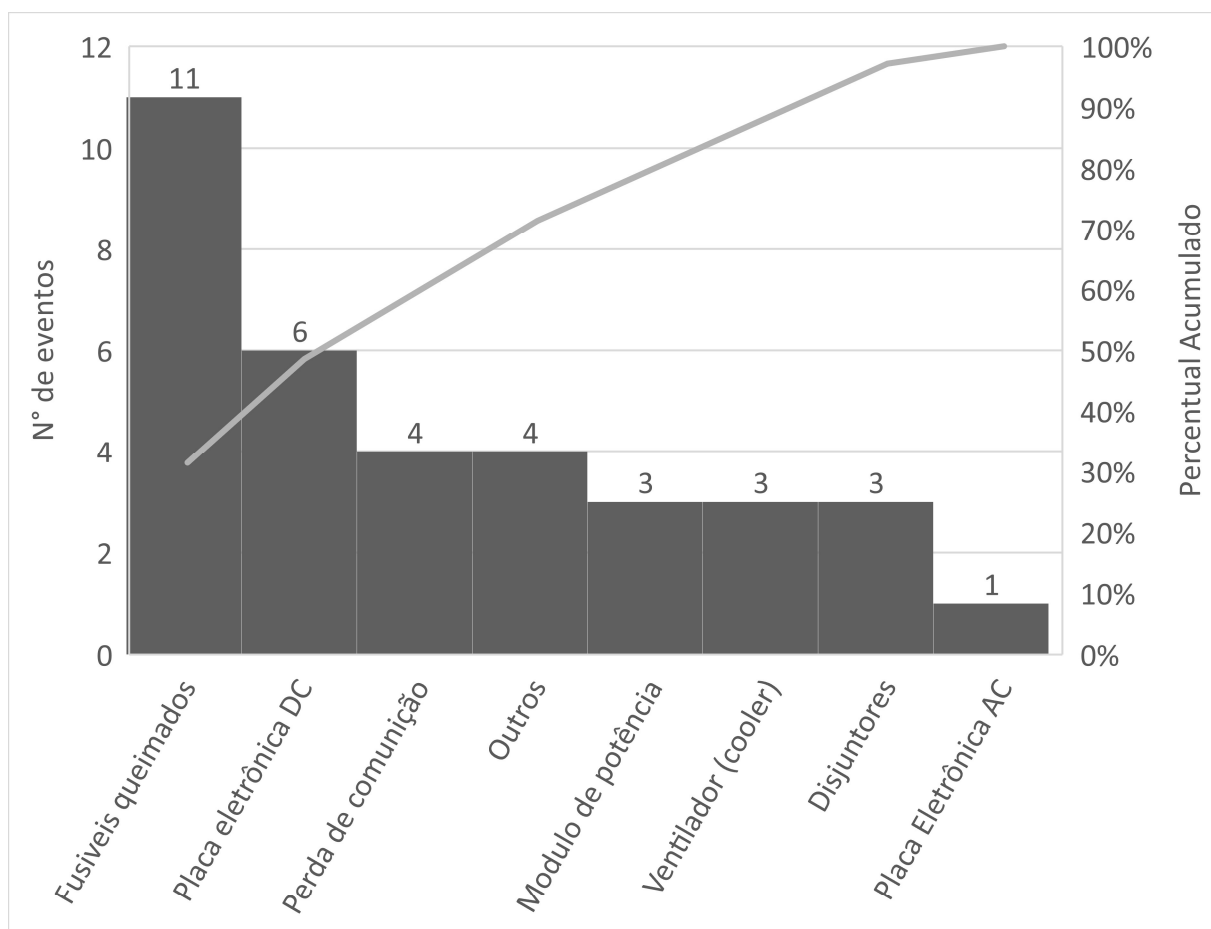
Em segundo lugar, verifica-se ocorrências no *tracker* (8 ocorrências no período de estudo). Na tabela 08 e na figura 12 são discriminados os problemas relacionados aos inversores, sendo que aproximadamente 50% destas ocorrências são decorrentes de queima de fusíveis e problemas nas placas eletrônicas DC.

Tabela 08. Ocorrências gerados da usina B – Problema dos inversores

Problemas do Inversor	Nº de eventos	Valor acumulado	Percentual Unitário	Percentual Acumulado%
Fusíveis queimados	11	11	31%	31%
Placa eletrônica DC	6	17	17%	49%
Perda de comunicação	4	21	11%	60%
Outros	4	25	11%	71%
Modulo de potência	3	28	9%	80%
Ventilador (cooler)	3	31	9%	89%
Disjuntores	3	34	9%	97%
Placa eletrônica AC	1	35	3%	100%

Fonte: Próprio autor, 2019.

Figura 12. Diagrama e Pareto da usina B – Problema dos inversores



Fonte: Próprio autor, 2019.

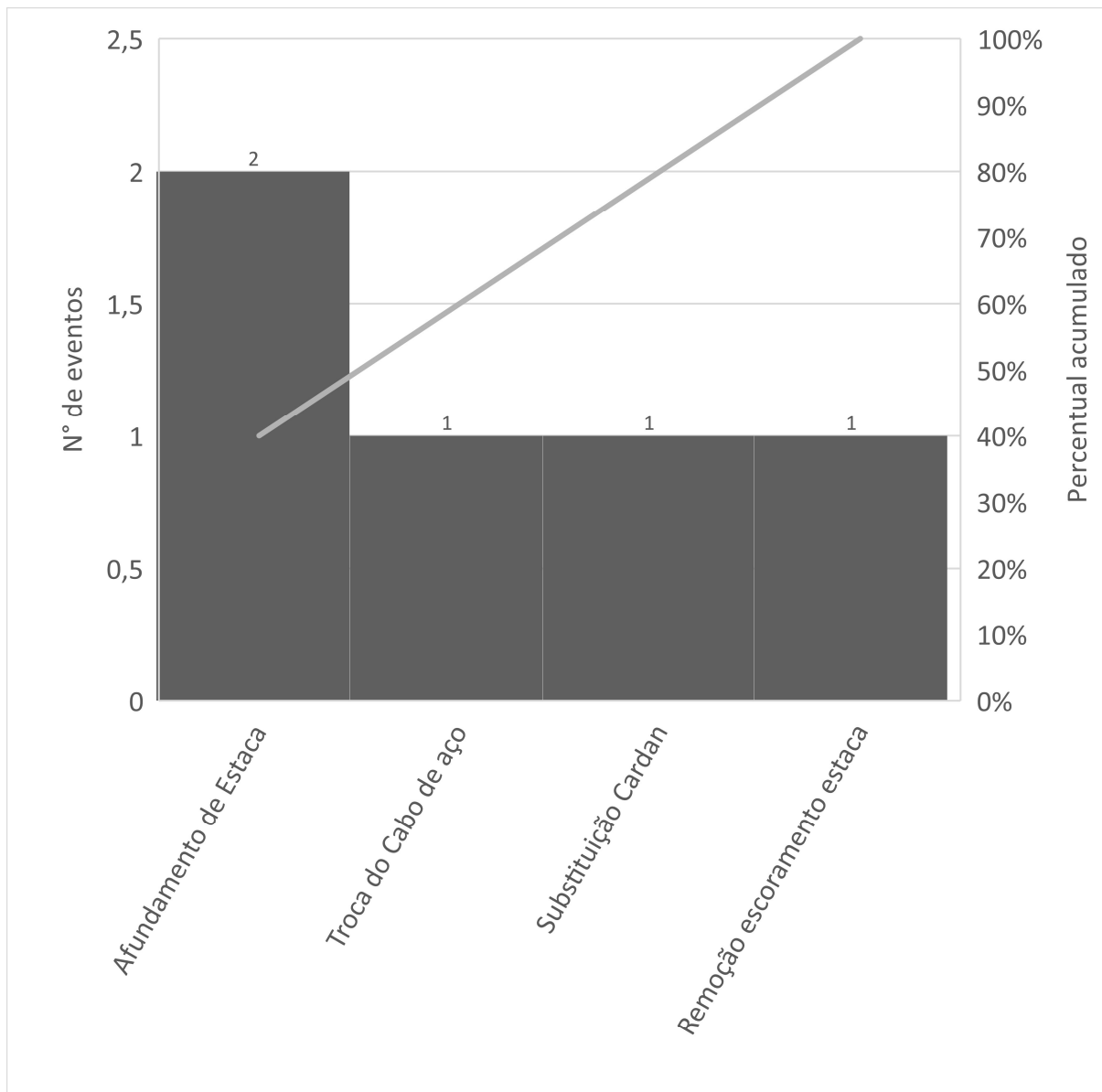
Na tabela 09 e na figura 13 são discriminados os problemas relacionados aos *tracker*, sendo que a ocorrência de maior frequência se relaciona com o afundamento das estacas e troca de cabo de aço.

Tabela 09. Ocorrências gerados da usina B – Problema dos *trackers*

Problemas do <i>trackers</i>	Nº de eventos	Valor acumulado	Percentual Unitário	Percentual Acumulado%
Afundamento de estacas	2	2	40%	40%
Troca de cabo de aço	1	3	20%	60%
Substituição cardam	1	4	20%	80%
Remoção escoramento estaca	1	5	20%	100%

Fonte: Próprio autor, 2019.

Figura 13. Diagrama de Pareto da usina B – Problema dos *trackers*



Fonte: Próprio autor, 2019.

Usina C

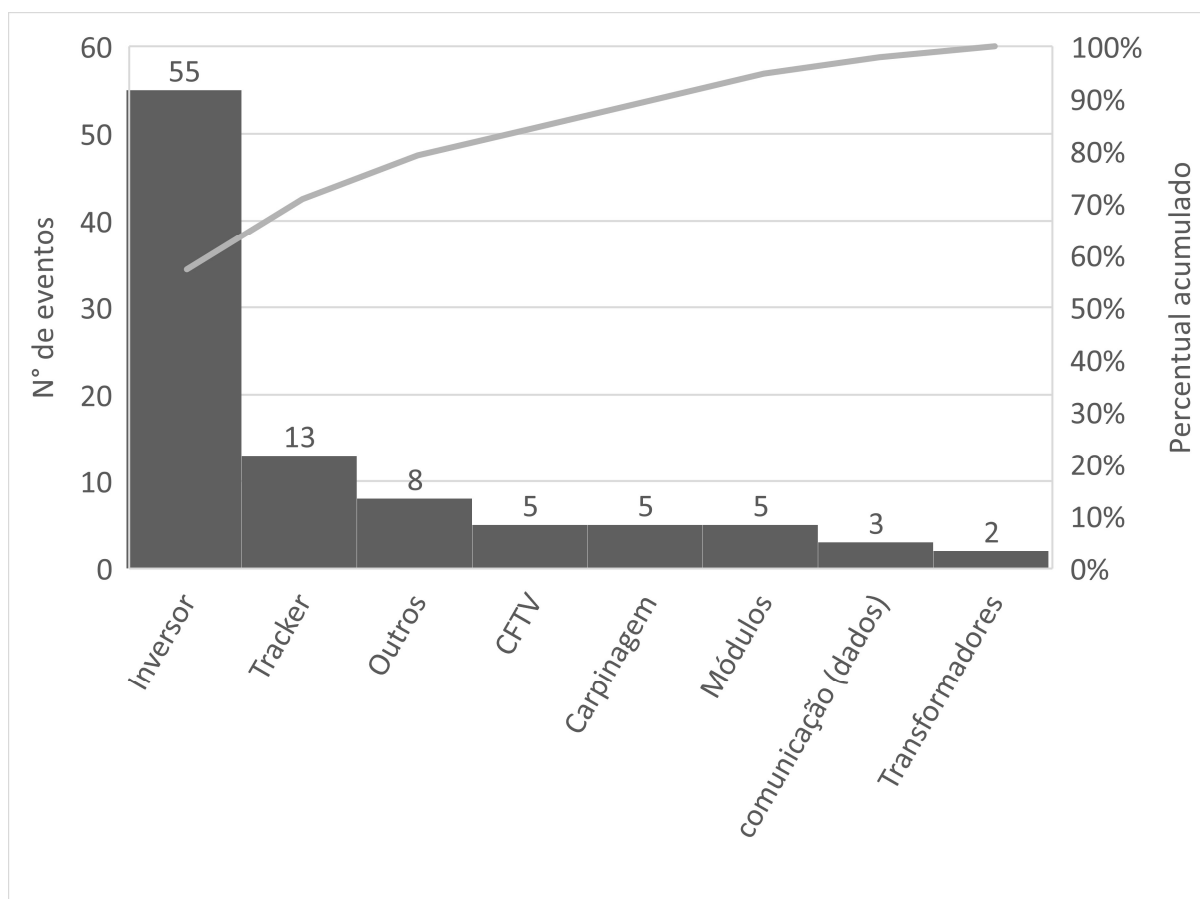
A usina C foi tratada com os mesmos critérios das usinas anteriores onde pode-se observar na tabela 10 e figura 14 que a ocorrência de falha de maior frequência na usina C relaciona-se ao funcionamento dos inversores (55 ocorrências no período de 8 meses).

Tabela 10. Ocorrências gerados na usina C

Problema raiz	Nº de eventos	Valor acumulado	Percentual Unitário	Percentual Acumulado%
Inversor	55	55	57%	57%
<i>Trackers</i>	13	68	14%	71%
Outros	8	76	8%	79%
CFTV	5	81	5%	84%
Carpinagem	5	86	5%	90%
Módulos	5	91	5%	95%
Comunicação (dados)	3	94	3%	98%
Transformadores	2	96	2%	100%

Fonte: Próprio autor, 2019.

Figura 14. Diagrama de Pareto da usina C – Problema Raiz



Fonte: Próprio autor, 2019.

Em segundo lugar, verifica-se ocorrências no *tracker* (13 ocorrências no período de estudo). Na tabela 11 e figura 15 são discriminados os problemas

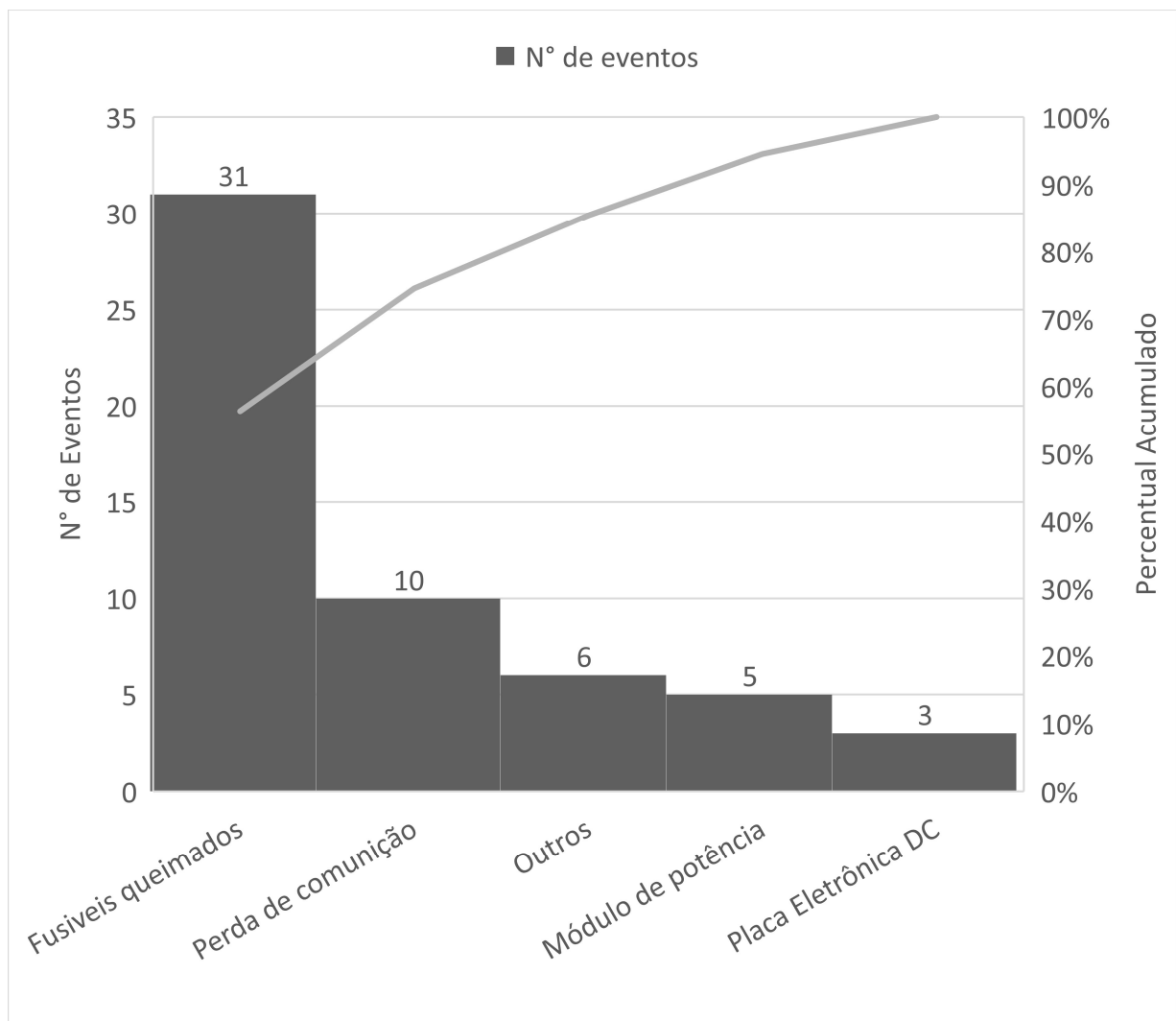
relacionados aos inversores, sendo que aproximadamente 75% destas ocorrências são decorrentes de fusíveis queimados e perdas de comunicação.

Tabela 11. Ocorrências gerados da usina C – Problema dos inversores

Problemas do Inversor	Nº de eventos	Valor acumulado	Percentual Unitário	Percentual Acumulado %
Fusíveis queimados	31	31	56%	56%
Perda de comunicação	10	41	18%	75%
Outros	6	47	11%	85%
Módulo de potência	5	52	9%	95%
Placa eletrônica DC	3	55	5%	100%

Fonte: Próprio autor, 2019.

Figura 15. Diagrama de Pareto da usina C – Problema dos inversores



Fonte: Próprio autor, 2019.

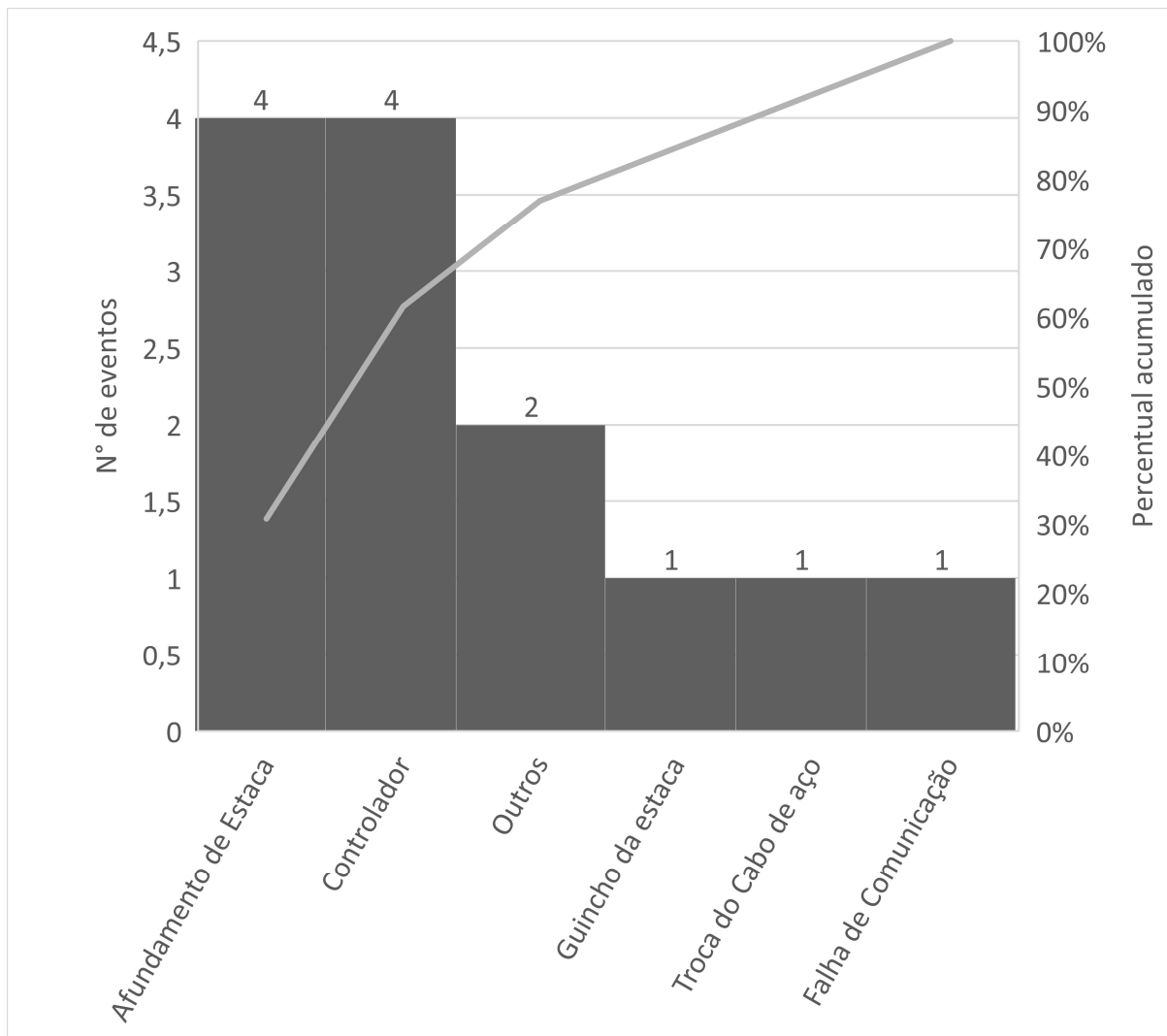
Na tabela 12 e figura 16 são discriminados os problemas relacionados aos *tracker*, sendo que a ocorrência de maior frequência se relaciona com o afundamento das estacas e no controlador.

Tabela 12. Ocorrências gerados da usina C – Problema dos *trackers*

Problemas do <i>trackers</i>	Nº de eventos	Valor acumulado	Percentual Unitário	Percentual Acumulado%
Afundamento de estaca	4	4	31%	31%
Controlador	4	8	31%	62%
Outros	2	10	15%	77%
Guincho da estaca	1	11	8%	85%
Troca de cabo de aço	1	12	8%	92%
Falha de comunicação	1	13	8%	100%

Fonte: Próprio autor, 2019

Figura 16. Diagrama de Pareto da usina C – Problema dos *trackers*



Fonte: Próprio autor, 2019

3.6. Resumo das principais ocorrências selecionadas

O diagrama de Pareto aplicado em cada usina fotovoltaica permitiu caracterizar as ocorrências de maior e menor frequência. O foco deste trabalho direcionou-se para as duas ocorrências de maior frequência. Para as usinas A, B e C as ocorrências mais frequentes foram nos equipamentos: inversor e *tracker*. Todavia, uma nova aplicação do diagrama de Pareto no desempenho destes equipamentos, permitiu observar que os tipos de ocorrências se diferenciaram entre as usinas. Na usina A, as ocorrências mais frequentes nos inversores foram perda de comunicação e falha *modulo de potência* e nos *trackers* foram quebra de cabo de

aço e falha de movimentação nas mesas. Na usina B, as ocorrências mais frequentes nos inversores foram queima de fusíveis e problemas com a placa eletrônica DC e nos *trackers* foram correção das estacas das mesas dos módulos – devido as condições do solo algumas estacas afundaram causando diferença de nível entre os módulos fotovoltaicos – e o rompimento de cabo de aço. Na usina C, as ocorrências mais frequentes nos inversores foram perda de comunicação e fusíveis queimados e nos *trackers* foram nas estacas que afundaram no solo e falha no controlador, um resumo destas principais ocorrências pode ser visto na Tabela 13, relacionando-as com cada uma das usinas (em asterisco).

Tabela 13. Resumo das principais ocorrências selecionadas

Equipamentos	Ocorrências	Usinas		
		A	B	C
Inversores	Perda de comunicação	*		*
	Módulo de potência	*		
	Fusíveis queimados		*	*
	Placa eletrônica DC		*	
Trackers	Troca de cabo de aço	*		
	Sem movimento	*		
	Afundamento das estacas		*	*
	Substituição do cardan		*	
	Controlador			*

Fonte: Próprio autor, 2019

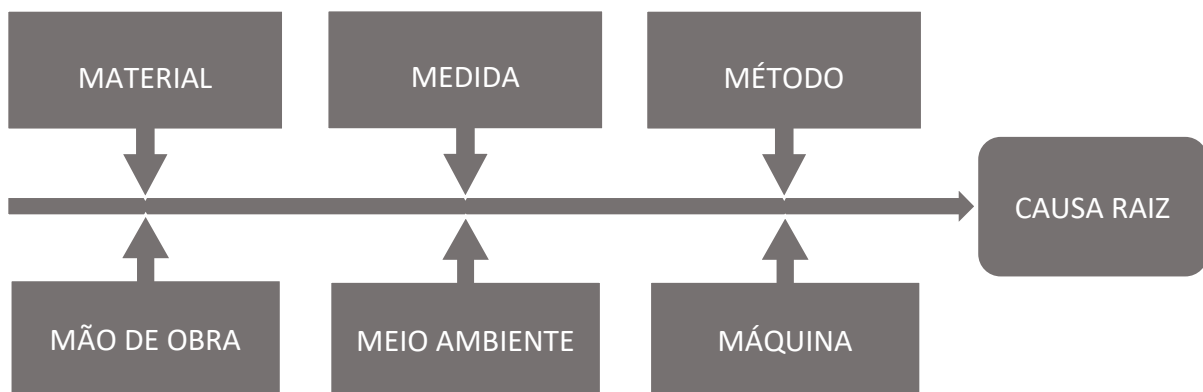
3.7. Soluções mais relevantes e reflexões

Para analisar as causas-raízes das ocorrências selecionadas e descritas no item anterior foram construídos diagramas de Ishikawa (figura 17) de acordo com os seguintes passos:

1. Selecionar o evento a ser estudado.
2. Estudar informações sobre o evento.

3. Verificar as ocorrências do departamento técnico para explorar as possíveis causas deste evento.
4. Construir um diagrama de Ishikawa com as informações do item anterior – vale destacar que quando não houver informações sobre algum eixo de análise que constitui o 6M's, este eixo não será apresentado..
5. Sugerir soluções específicas para o evento estudado, designando um responsável para sua aplicação.

Figura 17. Diagrama de Ishikawa – Modelo



Fonte: Próprio autor, 2019.

Usina A

As ocorrências principais foram:

Inversores:

- ❖ Perda de comunicação nos inversores;
- ❖ Módulo de potência.

Trackers:

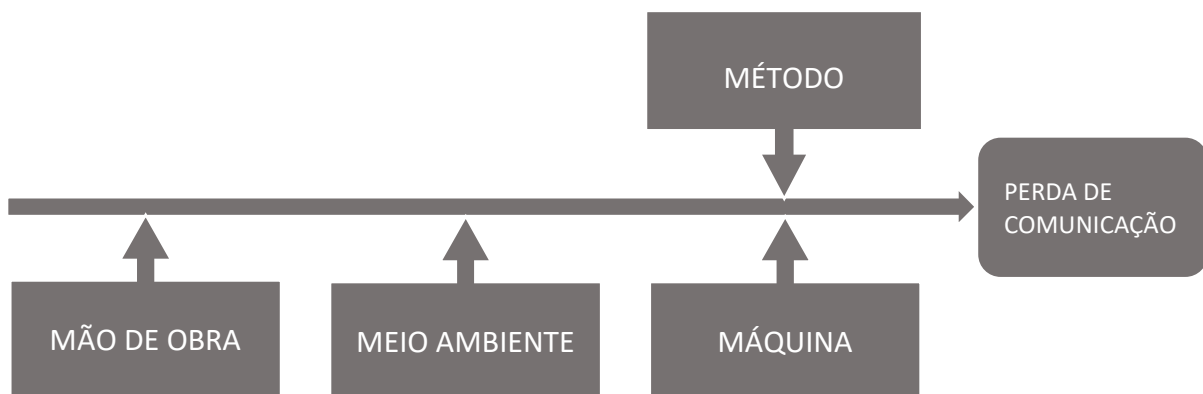
- ❖ Quebra do cabo de aço;
- ❖ *Tracker* sem movimentação.

Perda de comunicação nos inversores

As ocorrências relacionadas a perda de comunicação foram:

- a) Falha na comunicação entre o inversor e o sistema de monitoramento (software de supervisão dos inversores, via nuvem), prejudicando o acompanhamento dos valores dos transformadores de corrente (TC's) dos inversores;
- b) Atualização de data e hora no sistema de monitoramento (software de supervisão dos inversores, via WEB);
- c) Placa supervisora *board* DC com defeito de fabricação.

Figura 18. Diagrama de Ishikawa – Problema de perda de comunicação nos inversores.



Fonte: Próprio autor, 2019.

Máquina

1. Defeito de fabricação (Placa supervisor *board* DC). Isso gera a ocorrência C.

Meio ambiente

1. Tempo chuvoso provocam diversas descargas atmosféricas ocasionando interferências eletromagnéticas nos inversores, o que leva ao seu desligamento e perda de referência. Isso pode gerar as ocorrências A e B.
2. Superaquecimento devido à temperatura ambiente (acima de 40 graus celsius). Isso pode gerar as ocorrências A e B.

Método

1. Manuseio incorreto durante a instalação pode causar danos ao equipamento (exemplo, tampas dos inversores danificados por abertura incorreta impacta a vedação, permitindo em dias chuvosos a entrada de água e poeira). Isso pode gerar as ocorrências A e B.

Mão de obra

1. Falta de limpeza no terreno pode ocasionar obstrução da entrada de ar nos ventiladores (*cooler's*) dos inversores. Assim, ocorre o aquecimento das placas eletrônicas e, conseqüentemente, o desligamento indevido do equipamento. Isso pode gerar as ocorrências A e B.

Considerando o exposto, o problema da placa supervisor board DC defeituosa que pertence ao aspecto **máquina** inclui a substituição de novas peças, porque apresentavam defeito de fabricação.

Relativamente ao aspecto **meio ambiente**, estão instalados no inversor dispositivos de proteção contra surtos elétricos (DPS) cuja função é proteger o equipamento contra eventuais descargas atmosféricas. Porém, caso os DPS's não atuem é possível que, mesmo com um aterramento adequado, os circuitos eletrônicos queimem ou que ocorra uma abertura dos fusíveis. Um exemplo disso na usina A foi o registro de que um raio ocasionou a queima de 28 placas de supervisor *board* DC. A solução envolve fazer um projeto de dimensionamento de DPS independente do DPS utilizado pelo fabricante do inversor e instalar o dispositivo externo ao equipamento, pois cada região possui características diferentes de intensidade de descargas atmosféricas. Ainda falando sobre o aspecto **meio ambiente**, a temperatura externa elevada também contribuiu para uma possível falha nos circuitos elétricos devido a insuficiência de troca de calor no equipamento, sendo uma possível solução para esta ocorrência o redimensionamento do cooler para melhorar a capacidade de troca de calor do equipamento.

Para o aspecto **método**, foram verificadas falhas ao manusear os inversores – durante instalação ou manutenção preventiva –, uma vez que a abertura de forma

incorreta comprometeu sua vedação e ocasionou a entrada de água. A solução desta ocorrência deve envolver cursos de atualização à equipe técnica e padronizar os procedimentos de instalação ou manutenção por escrito.

Por fim, no aspecto **mão de obra** verificou-se que a falta ou baixa frequência de poda na vegetação do pátio ocasionou a obstrução nos ventiladores (*coolers*), o que prejudica a troca de calor pelo equipamento. Assim, quando o inversor está superaquecido, o sistema fica sobrecarregado e ocorre a baixa produção de energia e/ou o desligamento do equipamento. Para este problema é necessário aumentar o ciclo de limpeza do terreno no programa de manutenção preventiva para evitar eventos como este.

Problema no *modulo de potência*

As ocorrências relacionadas aos inversores foram:

- a) Não passava informação de corrente para o supervisório;
- b) Desligamento indevido;
- c) Produção de 20% a menos em relação aos demais inversores;

Figura 19. Diagrama de Ishikawa – Problema com o *modulo de potência* nos inversores



Fonte: Próprio autor, 2019.

Material

1. Defeito de fabricação do *modulo de potência*. Isso gera as ocorrências A, B e C.

Considerando o exposto, na usina existem peças e inversores sobressalentes para eventuais problemas, mas não para causas recorrentes como esta. Uma

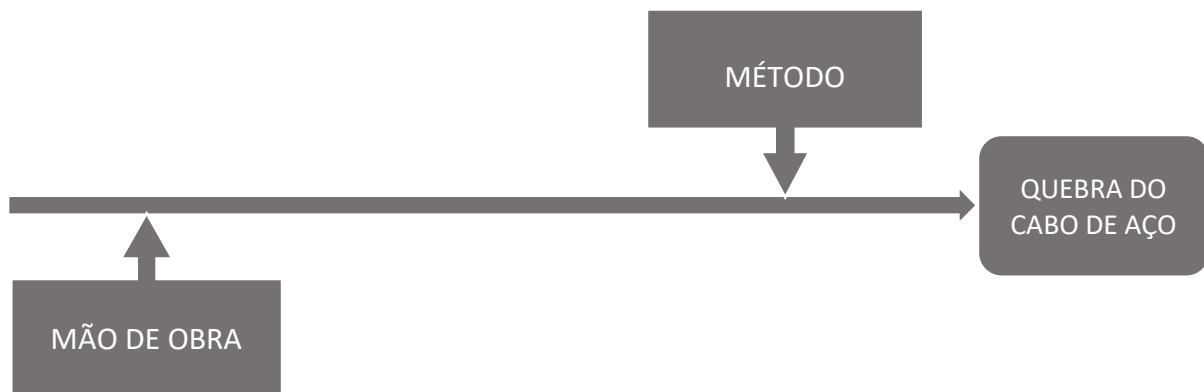
solução para o aspecto **material** pode envolver optar por outro fabricante de inversores em novos projetos.

Problema quebra do cabo de aço no *tracker*

A ocorrência relacionada ao cabo de aço foi:

- a) Quebra de cabo de aço no *tracker*.

Figura 20. Diagrama de Ishikawa – Problema com o cabo de aço do *tracker*.



Fonte: Próprio autor, 2019.

Mão de obra

1. Falha na montagem das estruturas metálicas e seus componentes. Isso gera a ocorrência A.

Método

1. Falha do comissionamento, que é responsável por inspecionar a montagem e funcionamento do equipamento. Isso gera a ocorrência A.

Considerando o exposto, para o aspecto **mão de obra**, foi observado a montagem equivocada da metade da usina onde as roldanas dos cabos de aço do *tracker* foram instalados em local indevido, causando elevado esforço mecânico até o seu rompimento. Uma solução para essa causa passa por um treinamento da equipe responsável pela montagem dos *tracker's* e/ou contratar empresas especializadas com renome no mercado.

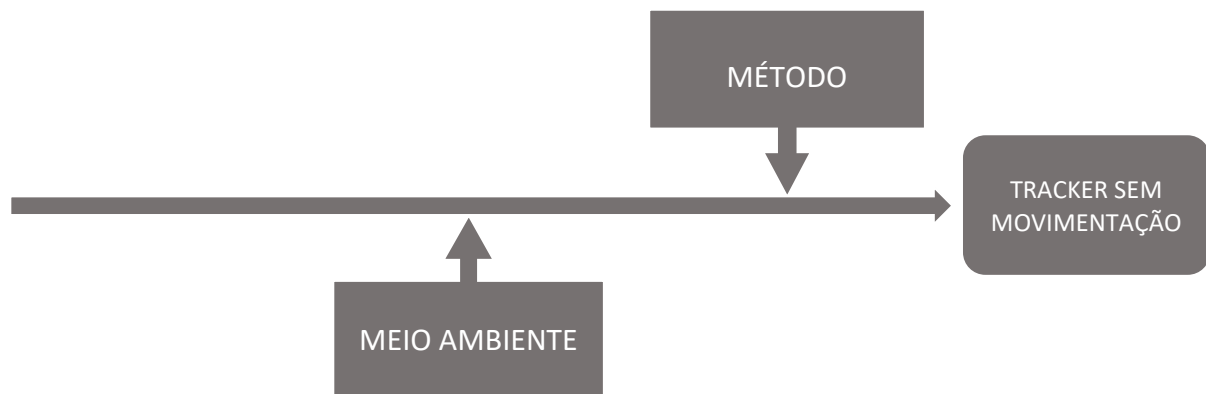
Para o aspecto **método**, o responsável pelo comissionamento não observou a falha na instalação. Uma solução para sanar este evento é incluir no *check list* este item de inspeção para ser observado nas próximas obras.

Problema de mesa do tracker sem movimentação

A ocorrência relacionada a mesa do *tracker* foi:

- a) *Tracker* em flat, na posição 180° (sem movimentação).

Figura 21. Diagrama de Ishikawa – Problema no *tracker* sem movimentação.



Fonte: Próprio autor, 2019.

Método

1. Ausência metodológica para explorar o problema do *tracker* sem movimentação gera maior tempo para o restabelecimento do sistema e/ou comprometimento de replicação pela busca da solução. Isso gera a ocorrência A.

Meio ambiente

1. Descargas atmosféricas podem ter causado a pane no controlador do *tracker*. Isso gera a ocorrência A.

Para o aspecto **método**, destaca-se que quando o *tracker* ficou sem movimentação foram realizados diversos *resets* no *pc tracker*, sensor box, mcu e no disjuntor do transformador auxiliar, e o sistema voltou a operar apenas após diversas tentativas. Assim, a ausência metodológica para explorar o problema do *tracker* gerou maior tempo para o restabelecimento do sistema. Dessa forma, uma solução para este evento é promover cursos específicos que fortaleçam o grupo para otimizar a resolução deste tipo de evento.

Para o próximo aspecto **meio ambiente**, descargas atmosféricas também podem ser um dos motivos que fizeram o sistema parar de operar. Uma solução para este problema é aumentar a sensibilidade do nível de proteção do sistema para que em casos de descargas atmosféricas dispositivos de proteção como fusíveis, disjuntores, DPS, e outros atuem protegendo o equipamento e reduzindo o tempo para retorno da operação.

Usina B

As ocorrências principais foram:

Inversores:

- ❖ Queima de fusíveis nos inversores;
- ❖ Queima da placa eletrônica DC.

Trackers:

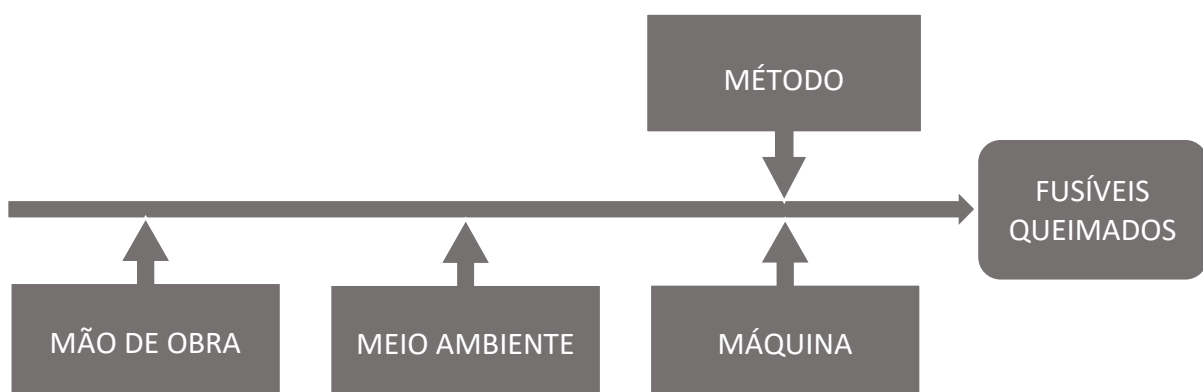
- ❖ Afundamento das estacas;
- ❖ Junção do *cardan* no eixo do *tracker*.

Queima de fusíveis nos inversores

As ocorrências relacionadas a queima de fusíveis foram:

- a) Verificação de alarme no inversor;
- b) Inversor com baixa produção;

Figura 22. Diagrama de Ishikawa – Problema com queima de fusíveis nos inversores



Fonte: Próprio autor, 2019.

Mão de obra

1. Inobservância do real problema. Isso gera a ocorrência A e B.

Máquina

1. Problemas de curto na *string* do inversor. Isso gera a ocorrência A e B.

Meio ambiente

1. Temperatura externa elevada, provocando aquecimento no circuito e consequentemente diminuindo o limite de condução de corrente do fusível. Isso gera a ocorrência A e B.

Método

1. Montagem errada dos circuitos das *strings* causando falha de isolamento ou curto-circuito causando queima do fusível. Isso gera a ocorrência A e B.
2. Fixação de parafusos no processo de montagem da estrutura metálica, onde a falta de cuidado nesse processo pode fazer com que o parafuso danifique os fios dos módulos fotovoltaicos prejudicando assim não só a isolamento do cabo como ruptura parcial ou total dos fios de cobre gerando no primeiro caso um aquecimento no ponto danificado até que o cabo venha se romper ou até mesmo entrar em contato com a carcaça gerando fuga de corrente e provocando a queima do fusível. Isso gera a ocorrência A e B.

No aspecto **mão de obra**, os fusíveis queimados costumam ser substituídos sem ter sido explorado a causa de tais ocorrências. Para detectar estas possíveis causas é necessário uma investigação em toda instalação como também acessar os registros de eventos do inversor e analisar os gráficos para descobrir qual foi o momento de ruptura do fusível.

O próximo aspecto a ser verificado é **meio ambiente**, onde estão instalados nos inversores dispositivos de proteção contra surtos elétricos (DPS) cuja função é proteger o equipamento contra eventuais descargas atmosféricas. Porém, caso os DPS's não atuem é possível que, mesmo com um aterramento adequado, os circuitos eletrônicos queimem ou que ocorra uma abertura dos fusíveis. A solução é fazer um projeto de dimensionamento de DPS independente do DPS utilizado pelo

fabricante do inversor e instalar o dispositivo externo ao equipamento, pois cada região possui características diferentes de intensidade de descargas atmosféricas. Além disso, o fusível possui variação de comportamento mediante a elevação de temperatura onde em condições de temperaturas elevadas a capacidade de condução de corrente diminui provocando assim sua ruptura. A solução para essa ocorrência é verificar junto ao fabricante se eles possuem fusíveis que suportem condições mais elevadas de temperatura e fazer a substituição e redimensionar o cooler para uma melhor troca de calor do equipamento.

Em relação ao aspecto **método** considera-se que a montagem errada das *strings* pode causar queima de fusível através de mal contato nos terminais MC4 dos módulos fotovoltaicos gerando o aquecimento nos terminais e conseqüentemente a abertura do circuito. Outro problema comum envolve o posicionamento dos parafusos da estrutura metálicas dos módulos que costumam danificar o isolamento dos cabos solares ou o rompimento deles causando fuga terra e ou baixa produção de energia. A solução destas ocorrências incluem a capacitação da equipe técnica e padronização do procedimento de instalação. Além disso, estes itens devem ser observados pela equipe de comissionamento.

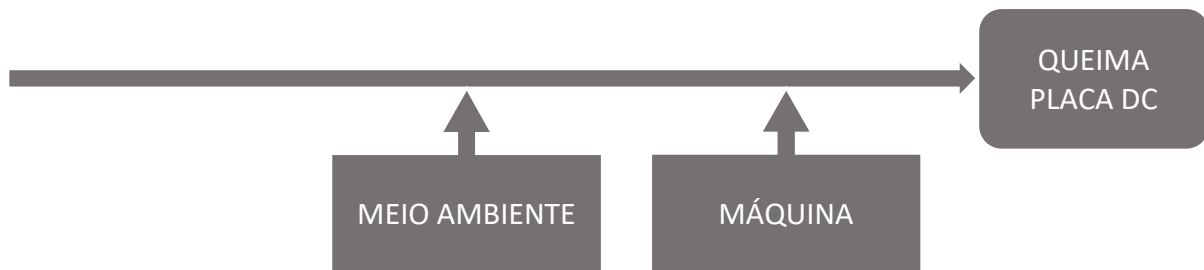
Quanto ao aspecto **máquina**, foram observados problemas de curto na *string* do inversor. Esse tipo de problema pode ter resultado de uma falha na fabricação do equipamento e/ou conexão ruim entre os terminais dos cabos solares nas *strings*. Na primeira situação, estando na garantia, deve-se acionar a visita técnica da empresa que fabricou o inversor. Na segunda situação, deve-se efetuar a manutenção corretiva, além de uma conferência periódica das demais conexões.

Queima da placa eletrônica DC nos inversores

As ocorrências relacionadas a queima de placa eletrônica foram:

- a) Conector da *string* danificada;
- b) Placa de fusíveis queimado;
- c) Mal funcionamento na placa do cooler.

Figura 23. Diagrama de Ishikawa – Problema com queima da placa DC do inversor.



Fonte: Próprio autor, 2019.

Máquina

1. Defeito de fabricação das placas DC. Isso pode gerar a ocorrência A.
2. Placa do cooler com defeito, impossibilitando a trocar de calor do equipamento. Isso pode gerar a ocorrência B e C.
3. Placa fusível do DC. Isso pode gerar a ocorrência B e C.

Meio ambiente

1. Descargas atmosféricas podem ter causado a queima da placa DC. Isso pode gerar a ocorrência B e C.
2. Temperatura externa acima de 40 graus. Isso pode gerar a ocorrência B e C.

No aspecto **máquina**, o problema da placa DC defeituosa deve ser solucionado com a substituição por peças novas acionados pela garantia. Outros inversores apresentaram problema na placa de alimentação dos ventiladores (coolers) que são responsáveis pela troca de calor provocando assim queima nas placas DC e/ou a placa fusível do DC. Para solucionar isto deve-se verificar junto ao fabricante defeitos de fabricação na placa eletrônica de alimentação dos *coolers*. E para a placa fusível responsável pela alimentação dos ventiladores avaliar junto ao fabricante se é possível utilizar o outro tipo de fusível que suporte uma corrente maior sem danificar os equipamentos protegidos por ele.

O próximo aspecto é **meio ambiente**, estão instalados no inversor dispositivos de proteção contra surtos elétricos (DPS) cuja função é proteger o

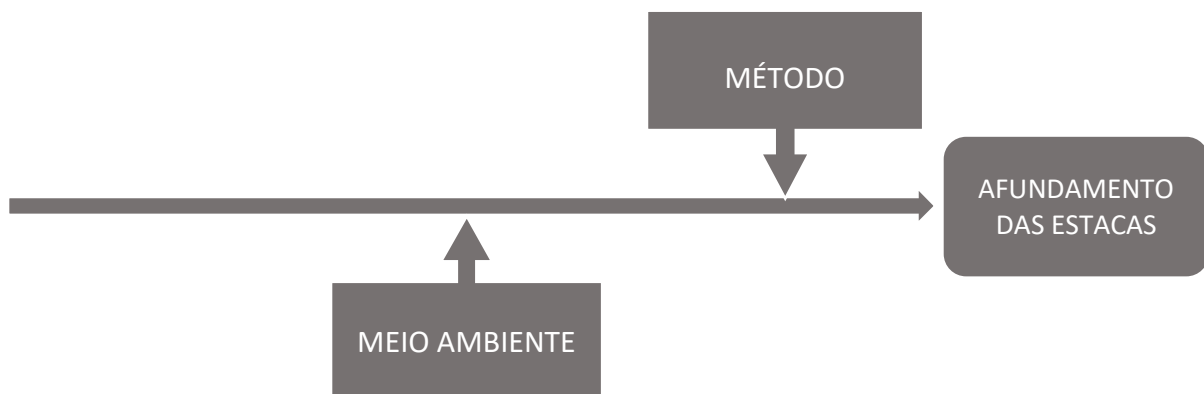
equipamento contra eventuais descargas atmosféricas. Porém, caso os DPS's não atuem é possível que, mesmo com um aterramento adequado, os circuitos eletrônicos queimem ou que ocorra uma abertura dos fusíveis. A solução é fazer um projeto de dimensionamento de DPS independente do DPS utilizado pelo fabricante do inversor e instalar o dispositivo externo ao equipamento, pois cada região possui características diferentes de intensidade de descargas atmosféricas. Ainda falando sobre o aspecto **meio ambiente**, a temperatura externa elevada também contribuiu para uma possível falha nos circuitos elétricos devido a insuficiência de troca de calor no equipamento, onde a solução para esta ocorrência é redimensionar o cooler para uma melhor troca de calor do equipamento.

Afundamento das estacas do tracker

As ocorrências relacionadas ao afundamento das estacas foram:

- a) Levantamento das estacas;
- b) Retirada dos escoramentos das estacas.

Figura 24. Diagrama de Ishikawa – Problema com afundamento das estacas do *tracker*.



Fonte: Próprio autor, 2019.

Método

1. Quantidade de ensaios insuficientes para correta definição do tipo de fundação das estacas. Isso pode gerar a ocorrência A.

2. Dimensionamento incorreto da fundação (erro de projeto). Isso pode gerar a ocorrência A.

Meio ambiente

1. Excesso de erosão. Isso pode gerar a ocorrência A.
2. Saturação do solo. Isso pode gerar a ocorrência A.
3. Presença de formigueiros e ou cupinzeiros nas regiões próximas as estacas. Isso pode gerar a ocorrência A.

Foi observado que ora os registros sobre as ocorrências se referem as soluções, ora as suas causas. Especificamente, na descrição do afundamento das estacas do *tracker* os registros de ocorrências estavam erroneamente referidos as soluções quando deveriam ser destacadas as causas deste problema.

Sobre o aspecto **método** destaca-se que durante as análises dos terrenos, em pontos diferentes são realizados em média 15 ensaios de sondagem do solo. A área total das usinas é de cerca de 12 hectares ou mais e, portanto, seriam necessários mais de 15 ensaios. Adicionalmente, é possível que tenha ocorrido um erro no dimensionamento da fundação das estacas ao não serem corretamente considerados outras características do solo. Assim, faz-se necessário o desenvolvimento mais cuidadoso destes projetos fotovoltaicos para eliminar suas incoerências. Além disso, também é possível que se busque soluções alternativas, como a fixação dos eixos dos *trackers* em sapatas, conforme realizado nesta usina.

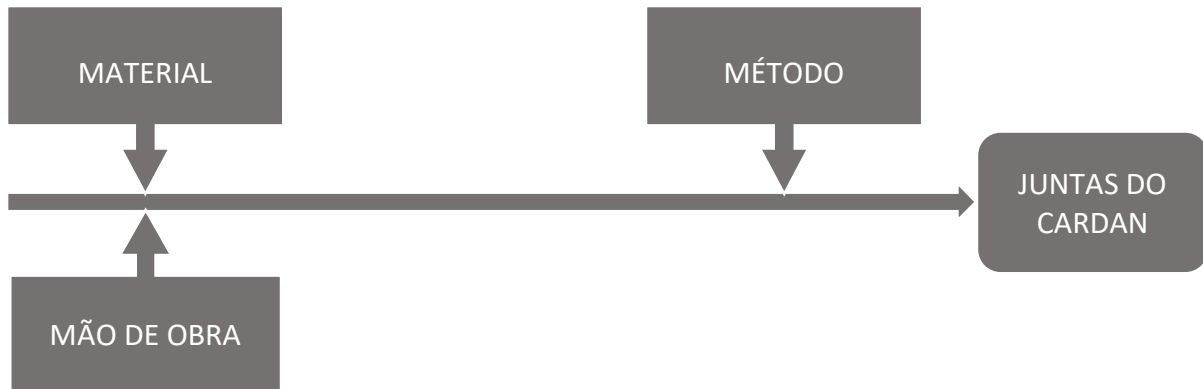
No aspecto **meio ambiente** há possibilidade de que o afundamento das estacas tenha sido decorrente do excesso de erosão no solo ou de sua saturação – em uma vez que em dias chuvosos o solo pode não ser capaz de absorver todo o volume de água gerado. Para solucionar estes fatores faz-se necessário um sistema de drenagem que conduza a água para pontos mais baixos da usina. Outros elementos de grande impacto para o afundamento das estacas são a presença de formigueiros ou cupinzeiros no terreno, pois muitas vezes se desconhece o tamanho de suas construções abaixo do solo. Assim, deve-se realizar um controle de pragas durante e após o processo de construção.

Troca da junção do *cardan* do *tracker*

A ocorrência relacionada a troca da junção foi:

- a) Instalar junção *cardan* no eixo do *tracker*.

Figura 25. Diagrama de Ishikawa – Problema na junta do *cardan* do *tracker*.



Fonte: Próprio autor, 2019.

Mão de obra

1. Erro na montagem.

Material

1. Defeito de fabricação do material.

Método

1. Maneira que o *cardan* foi transportado / manuseado.

Para o aspecto **mão de obra** é possível que no momento da instalação possa ter acontecido um erro de montagem danificando o material e causando a necessidade de sua troca. A solução para esta ocorrência é padronizar o processo de montagem e incluir na lista de verificação da equipe de comissionamento.

O próximo aspecto é **material** onde possivelmente possa ter tido algum tipo de defeito de fabricação. A solução para isto envolve a prévia verificação da qualidade

do *cardan* para que seu processo de montagem seja adequado, caso contrário solicitar a troca.

O próximo aspecto a ser verificado é **método** em que se considera que o material pode ter sofrido algum tipo de dano durante o transporte. A solução para esta possível causa inclui analisar se há necessidade de adicionar mecanismos de segurança para preservar a integridade do material transportado.

Usina C

As ocorrências principais foram:

Inversores:

- ❖ Queima de fusíveis;
- ❖ Perda de comunicação.

Trackers:

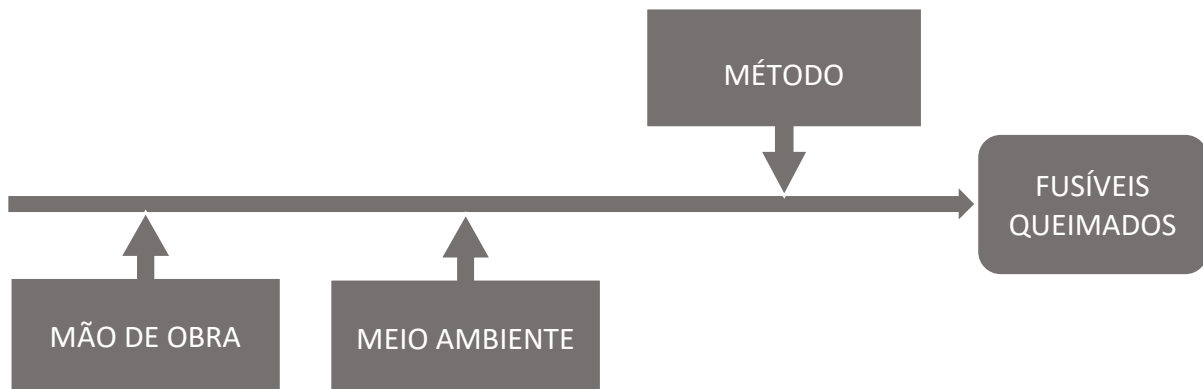
- ❖ Afundamento das estacas;
- ❖ Falha no controlador.

Queima de fusíveis nos inversores

As ocorrências relacionadas a queima de fusíveis foram:

- a) Verificação de alarme no inversor;
- b) Inversor com baixa produção;
- c) Cooler do *modulo de potência* obstruído com sujeira e vegetação.

Figura 26. Diagrama de Ishikawa – Problema com queima de fusíveis nos inversores



Fonte: Próprio autor, 2019.

Mão de obra

1. Inobservância do real problema, o que pode afetar nas ocorrências A, B e C.

Meio ambiente

1. Temperatura externa elevada, provocando aquecimento no circuito e consequentemente diminuindo o limite de condução de corrente do fusível, o que pode afetar na ocorrência A e B.
2. Obstrução por vegetação nos ventiladores responsáveis pela troca de calor interna do inversor, o que pode afetar na ocorrência A, B e C.

Método

1. Montagem errada dos circuitos das *strings* causando falha de isolamento ou curto-circuito causando queima do fusível, o que pode afetar nas ocorrências A e B.
2. Fixação de parafusos no processo de montagem da estrutura metálica, onde a falta de cuidado nesse processo pode fazer com que o parafuso danifique os fios dos módulos fotovoltaicos prejudicando assim não só a isolamento do cabo como ruptura parcial ou total dos fios de cobre gerando

no primeiro caso um aquecimento no ponto danificado até que o cabo venha se romper ou até mesmo entrar em contato com a carcaça gerando fuga de corrente e provocando a queima do fusível, o que pode afetar nas ocorrências A e B.

No aspecto **mão de obra**, para detectar a possível causa de queima de fusível é necessária uma investigação em toda instalação como também acessar os registros de eventos do inversor.

O próximo aspecto a ser verificado é **meio ambiente**, a solução é fazer um projeto de dimensionamento de DPS independente do DPS utilizado pelo fabricante do inversor. Estudar junto ao fabricante se eles possuem fusíveis que suportem condições mais elevadas de temperatura e fazer a substituição e redimensionar o cooler para uma melhor troca de calor do equipamento. Verificou-se que a falta e ou baixa frequência de poda na vegetação do pátio ocasionou a obstrução nos ventiladores (*coolers*), o que prejudica a troca de calor pelo equipamento.

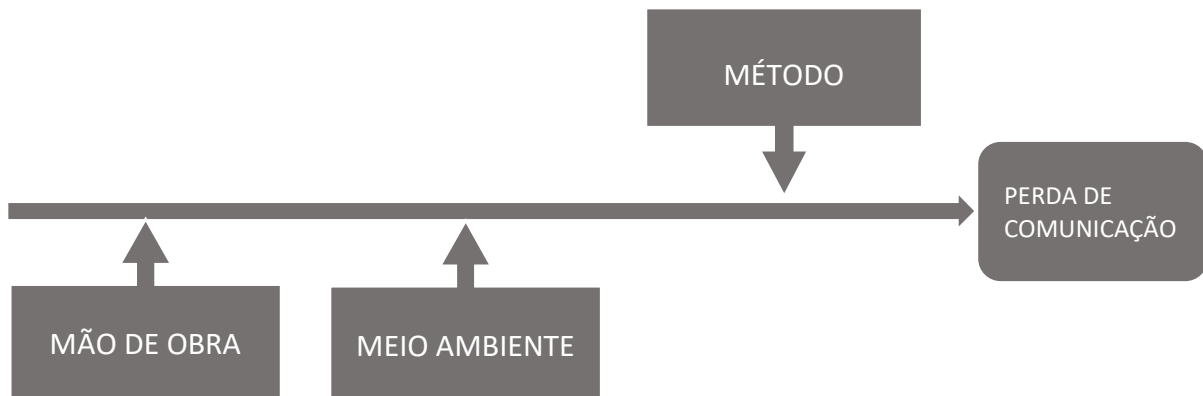
Em relação ao aspecto **método** considera-se que a montagem errada das *strings* pode causar queima de fusível através de mal contato nos terminais MC4 dos módulos fotovoltaicos. Outro problema comum envolve o posicionamento dos parafusos da estrutura metálicas dos módulos que costumam danificar o isolamento dos cabos solares ou o rompimento deles causando fuga terra e ou baixa produção de energia.

Perda de comunicação nos inversores

As ocorrências relacionadas a perda de comunicação foram:

- a) Atualização de data e hora no sistema de monitoramento (software de supervisão dos inversores, via WEB);
- b) Desligamento por entrada de água no *modulo de potência* (tampa danificada);

Figura 27. Diagrama de Ishikawa – Problema de perda de comunicação nos inversores.



Fonte: Próprio autor, 2019.

Meio ambiente

1. Tempo chuvoso provocam diversas descargas atmosféricas ocasionando interferências eletromagnéticas nos inversores, o que leva ao seu desligamento e perda de referência, o que pode afetar nas ocorrências A e B.
2. Superaquecimento devido à temperatura ambiente (acima de 40 graus celsius), o que pode afetar nas ocorrências A e B.

Método

1. Manuseio incorreto durante a instalação pode causar danos ao equipamento (exemplo, tampas dos inversores danificados por abertura incorreta danificando a vedação permitindo em dia chuvosos a entrada de água e poeira), o que pode afetar nas ocorrências A, B e C.

Mão de obra

1. Falta de limpeza no terreno pode ocasionar obstrução da entrada de ar nos ventiladores (*cooler's*) dos inversores. Assim, ocorre o aquecimento das placas eletrônicas e, conseqüentemente, o desligamento indevido do equipamento, o que pode afetar nas ocorrências A, B e C.

Considerando o exposto, para o aspecto **meio ambiente**, a solução envolve fazer um projeto de dimensionamento de DPS independente do DPS utilizado pelo fabricante do inversor e da necessidade de redimensionamento do cooler para melhorar a capacidade de troca de calor do equipamento.

Para o aspecto **método**, foram verificadas falhas ao manusear os inversores – durante instalação ou manutenção preventiva –, uma vez que a abertura de forma incorreta comprometeu sua vedação e ocasionou a entrada de água.

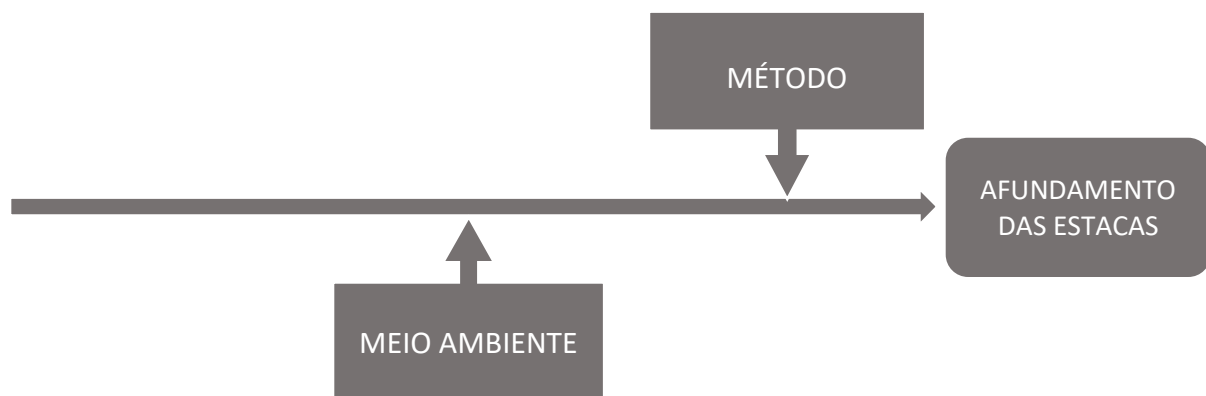
Por fim, no aspecto **mão de obra** verificou-se que a falta ou baixa frequência de poda na vegetação do pátio ocasionou a obstrução nos ventiladores (*coolers*).

Afundamento das estacas do tracker

As ocorrências relacionadas ao afundamento das estacas foram:

- a) Levantamentos das estacas;
- b) Retirada dos escoramentos das estacas.

Figura 28. Diagrama de Ishikawa – Problema com afundamento das estacas do *tracker*.



Fonte: Próprio autor, 2019.

Método

1. Quantidade de ensaios insuficientes para correta definição do tipo de fundação das estacas. Isso pode gerar a ocorrência A.
2. Dimensionamento incorreto da fundação (erro de projeto). Isso pode gerar a ocorrência A.

Meio ambiente

1. Excesso de erosão. Isso pode gerar a ocorrência A.
2. Saturação do solo. Isso pode gerar a ocorrência A.
3. Presença de formigueiros e ou cupinzeiros nas regiões próximas as estacas. Isso pode gerar a ocorrência A.

Sobre o aspecto **método** destaca-se que durante as análises dos terrenos, em pontos diferentes são realizados um número de ensaios de sondagem do solo menor do que o necessário, o que pode causar erro na escolha do tipo de fundação das estacas.

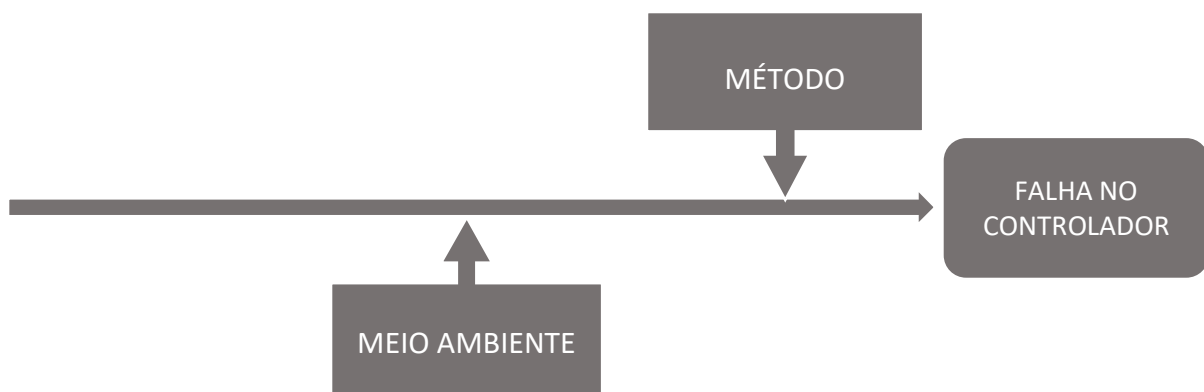
No aspecto **meio ambiente** faz-se necessário um sistema de drenagem que conduza a água para pontos mais baixos da usina e realizar um controle de pragas durante e após o processo de construção.

Falha no controlador do *tracker*

As ocorrências relacionadas a falhas no controlador foram:

- a) Sensor de posição do controlador desregulado;
- b) Controlador com luz de indicação acusando erro;
- c) Posição do *tracker* atrasado em relação aos outros.

Figura 29. Diagrama de Ishikawa – Problema nos controladores.



Fonte: Próprio autor, 2019.

Método

1. Como a maneira que o trabalho é realizado afeta o problema, isso podem gerar as ocorrências A, B ou C.

Meio ambiente

1. Tempo chuvoso provocam muitas descargas atmosféricas provocando interferências eletromagnéticas nos *trackers* fazendo com que desliguem e percam a referência, isso podem gerar as ocorrências A, B ou C.

Sobre o aspecto **método** onde a maneira que o trabalho é realizado afeta o problema. Os chamados realizados trataram-se de sensor do controlador desregulado provocando erro na operação gerando atraso ou adiantamento na posição das mesas. A solução para este caso é fazer um curso de capacitação à equipe técnica voltado ao sensor do controlador diminuindo o tempo de restabelecimento do sistema.

Próxima aspecto é **meio ambiente** onde descargas atmosféricas podem provocar interferências eletromagnéticas nos equipamentos de pátio fazendo que desliguem e ou percam a referência. A solução para esse caso é reforçar a sensibilidade do sistema de proteção contra descargas atmosféricas a fim de evitar desligamentos de menor relevância.

4. CONCLUSÃO

O estudo de caso sobre a análise crítica das ocorrências técnicas nos sistemas fotovoltaicos em minigeração distribuída envolvidos na pesquisa alcançou seu objetivo ao analisar as principais ocorrências geradas em cada usina com a aplicação do diagrama de Pareto e do diagrama de Ishikawa. Esta identificação das ocorrências irá favorecer a otimização do sistema fotovoltaico, com base na redução do número de ocorrências de problemas e consequente aumento na produção energética elétrica. Em linhas gerais, esta pesquisa revelou um perfil de trabalho pouco eficiente das equipes, relativo à manutenção preventiva e/ou preditiva, uma vez que costumeiramente estão sendo realizadas práticas corretivas pontuais. Observou-se que após oito meses em operação das usinas, a maioria das ocorrências registradas foram disparadamente relacionadas aos inversores com média de 58% dos casos de ocorrência, sendo que o próximo tipo de ocorrência mais relevante, com participação média de 12% no total das ocorrências, foram os *trackers*.

As principais soluções apresentadas no presente projeto em função dos registros de ocorrências mais relevantes, essencialmente envolvem a implantação de um programa contendo procedimentos de ação preventiva e preditiva, a fim de reduzir continuamente as manutenções corretivas.

Além disso, foi detectado problema de falta de capacitação técnica das equipes. No sentido de agilizar a detecção da falha e a tomada correta da ação corretiva junto aos fornecedores especializados deverá ser implantado um programa de treinamento técnico e de gestão com participação de todas as equipes de engenharia e manutenção.

Ainda, deve-se destacar que a principal limitação deste estudo foi a falta de comunicação com a equipe técnica das usinas. Esta limitação pode ter impactado na compreensão dos registros das ocorrências, pois as descrições dos procedimentos para solução e sua causa, não seguiam um padrão entre as três usinas estudadas.

Até onde se tem conhecimento, não foram desenvolvidas outras pesquisas de estudo de caso sobre ocorrências em usinas fotovoltaicas com aplicação do diagrama de Pareto e o diagrama de Ishikawa. Portanto, este trabalho teve por

objetivo realizar um estudo inicial na metodologia descrita, servindo como base para as etapas posteriores de trabalho. As próximas etapas deverão abranger o desenvolvimento e a implantação dos programas preventivos e preditivos, capacitação das equipes e padronizações, sendo seus resultados mensurados e analisados para melhoria contínua da qualidade nos processos.

Diante do visível crescimento da geração distribuída com fonte fotovoltaica no País, este tipo de ação tem grande importância para garantir um crescimento sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROSO, L. A. N. **Projeção da demanda de energia - para os próximos 10 anos (2017-2026)**. EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, p. 95. 2017.

BASTIANI, J. A. D.; MARTINS, R. Diagrama de Pareto. **Blog da Qualidade**, 2012. Disponível em: <<https://blogdaqualidade.com.br/diagrama-de-pareto/>>. Acesso em: 05 Novembro 2019.

BUENO, M. C. Diagrama de Ishikawa. **Blog da Qualidade**, 2015. Disponível em: <<https://blogdaqualidade.com.br/como-o-diagrama-de-ishikawa-me-ajuda/>>. Acesso em: 05 Novembro 2019.

LINS, B. F. E. Ferramentas Basicas da Qualidade. **Ibicit**, 1993. Disponível em: <<http://revista.ibict.br/ciinf/article/view/502/502>>. Acesso em: 05 Novembro 2019.

MOREIRA, N. J. H. Resolução 482. **ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica**, 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>>. Acesso em: 05 Novembro 2019.

NARUTO, D. T. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ESTUDO DE CASO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA, Janeiro 2017. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10020290.pdf>>. Acesso em: 05 Novembro 2019.

PARIS, A. D. Conferência das Nações Unidas sobre Mudança Climática - COP21. **Nações Unidas Brasil**, 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/cop21/>>. Acesso em: 05 Novembro 2019.

RUFINO, R. D. Resolução 687. **ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica**, 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 05 Novembro 2019.

RUFINO, R. D. Resolução 786. **ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica**, 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2017786.pdf>>. Acesso em: 05 Novembro 2019.