

João Vítor Eccel

**ALTERNATIVAS PARA ESCAVAÇÃO E LANÇAMENTO DE CABOS  
SUBTERRÂNEOS EM USINAS FOTOVOLTAICAS**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina apresentado como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Juan José Oviedo Haito

Florianópolis

29 de novembro de 2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Eccel, João Vítor

Alternativas para escavação e lançamento de cabos  
subterrâneos em usinas fotovoltaicas / João Vítor Eccel ;  
orientador, Ricardo Juan José Oviedo Haito, 2018.  
110 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Energia fotovoltaica. 3.  
Escavação. 4. Lançamento de cabos . 5. Obra linear. I.  
Oviedo Haito, Ricardo Juan José. II. Universidade Federal  
de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III.  
Título.

## **ALTERNATIVAS PARA ESCAVAÇÃO E LANÇAMENTO DE CABOS SUBTERRÂNEOS EM USINAS FOTOVOLTAICAS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de engenheiro civil e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 29 de Novembro de 2018.

### **Banca Examinadora:**



---

Prof. Dr. Ricardo Juan José Oviedo Haito  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Luis Alberto Gómez  
Membro da Banca  
Universidade Federal de Santa Catarina

Engenheira Caroline Werle  
Membro da Banca  
Gestora de contrato para construção de Usina Fotovoltaica

Dedico este trabalho a meus pais, Paulo Roberto Eccel e Elizabete Maria Barni Eccel, pelo exemplo de coragem, sabedoria e força que são para mim.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família, por ter me proporcionado a chance de estudar e por todo o apoio que sempre me deram durante toda a minha trajetória.

Ao professor Ricardo Juan José Oviedo Haito, pela orientação, tempo e ajuda em todo o processo de realização deste trabalho.

À minha namorada, pelo apoio e pela ajuda nos momentos de maior dificuldade.

Agradeço ao engenheiro Daniel Tjader Martins e à engenheira Caroline Werle, pelo auxílio com os dados, possibilitando este estudo. Agradeço também por terem sido sempre muito solícitos, disponibilizando diversas informações essenciais a este trabalho.

A todos que, de alguma maneira, colaboraram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

O crescimento do setor de geração de energias sustentáveis, no qual se enquadra a geração de energia fotovoltaica, vem crescendo de forma expressiva. Tal fato provoca o aumento do número de construtoras que atuam nessa área, acirrando a competição e obrigando-as a encontrar diferenciais competitivos. Uma das áreas onde diferenciais competitivos podem ser explorados é a execução do serviço de escavação de valas e de lançamento de cabos, dado que é uma das etapas mais longas na execução de usinas fotovoltaicas. O objetivo deste trabalho é comparar o método construtivo adotado em obras lineares em usinas fotovoltaicas para lançamento de cabos condutores subterrâneos no Brasil com duas tecnologias alternativas: método de lançamento direto e método mini-vala. O método utilizado consiste em uma pesquisa exploratória de cunho qualitativo. Os dados sobre métodos executivos, bem como os critérios de avaliação, foram coletados na literatura e em entrevistas; e posteriormente comparados. Ambas as alternativas avaliadas mostraram-se mais vantajosas que o método convencional, com base nos critérios analisados; vantagens que poderiam contribuir para tornar as empresas mais competitivas. Como exemplo, o método de lançamento direto permite executar etapas do serviço simultaneamente devido à utilização de operações mecanizadas, levando a ganhos de produtividade de pelo menos quatro vezes em relação ao método convencional. Além disso, o método de lançamento direto, ao demandar menos mão de obra, tende a reduzir custos e a diminuir riscos de acidentes no canteiro de obras.

Palavras-chave: energia fotovoltaica, obras lineares, escavação, lançamento de cabos condutores subterrâneos

## **ABSTRACT**

The growth in sustainable energies generation, in which the photovoltaic energy generation is included, has been growing expressively. This fact causes an increase in the number of construction companies that work in this area, intensifying competition and forcing companies to find out competitive advantages. One area where competitive advantages could be exploited is trench execution and cable plowing, since it is one of the longest steps in the construction of photovoltaic power plants. The goal of this study is to compare the method adopted for trench excavation and cable plowing in photovoltaic power plants in Brazil with two alternative technologies: plowing method and minitrenching method. An exploratory qualitative research was conducted. Data on executive methods, as well as evaluation criteria, were collected in the literature and in interviews. They technologies were then compared. The comparison showed that the two technologies were more advantageous than the conventional method. Those advantages could contribute in making companies more competitive. For example, the plowing method performs construction steps simultaneously due to the use of mechanized operations, leading to productivity gains of at least four times over the conventional method. In addition, the plowing method, by requiring less labor, tends to reduce costs and reduce risks of injuries in the construction site.

Key-words: photovoltaic energy, linear construction, excavation, cable plowing

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Evolução da capacidade fotovoltaica acumulada.....	14
Figura 1.2 - Investimento global em renováveis, em bilhões de US\$ .....	15
Figura 2.1- Mapa de Irradiação Solar Global Diária no Plano Inclinado - Média Anual.....	20
Figura 2.2 - Mapa de Irradiação Solar Direta Normal Diária - Média a Anual .....	20
Figura 2.3 - Formas de conexão entre os painéis fotovoltaicos e os inversores .....	25
Figura 2.4 - Esquema ilustrativo da distribuição dos cabos condutores em usinas fotovoltaicas .....	26
Figura 2.5 - Roteiro para dimensionamento de cabos de baixa tensão .....	27
Figura 2.6 - Relação entre os fatores de correção e o diâmetro de cabos de baixa tensão, para cabos subterrâneos .....	32
Figura 2.7 - Métodos de escavação sem valas para instalação de cabos enterrados.....	39
Figura 2.8 - Métodos com abertura de vala para instalação de cabos enterrados .....	40
Figura 2.9 - Sequência executiva do método convencional.....	41
Figura 2.10 - Lançamento de eletrodutos no método convencional .....	42
Figura 2.11 – Eletrodutos posicionados em vala escavada pelo método convencional.....	42
Figura 2.12 - Instalação da proteção mecânica em vala escavada pelo método convencional	42
Figura 2.13 - Compactação do reaterro em vala escavada pelo método convencional .....	42
Figura 2.14 - Instalação dos cabos condutores nos eletrodutos em vala escavada pelo método convencional .....	43
Figura 2.15 - Seção transversal da vala escavada pelo método convencional.....	44
Figura 2.16 - Layout de parte da usina fotovoltaica, com foco nas valas-exemplo.....	45
Figura 2.17 - Valas abertas em usina fotovoltaica .....	45
Figura 2.18 - Sequência executiva do método de lançamento direto .....	46
Figura 2.19 - Exemplo de máquina valetadeira utilizada no método de lançamento direto ....	46
Figura 2.20 - Detalhe da separação dos cabos (organização dos cabos que vem da máquina <i>wrapping</i> ).....	47
Figura 2.21 - Detalhe da separação dos cabos (organização dos cabos antes de chegarem à caixa de lançamento) .....	47
Figura 2.22 - Máquina valetadeira com acessórios identificados .....	48
Figura 2.23 - Detalhes do posicionamento dos cabos na caixa de lançamento .....	50
Figura 2.24 - Exemplo de estrutura padrão de trabalho com utilização de máquinas valetadeiras, <i>wrapping</i> e carregadoras de bobinas.....	51
Figura 2.25 - Seção transversal de vale de baixa tensão executada com valetadeira e caixa de lançamento .....	51
Figura 2.26 - Sequência executiva do método mini vala .....	52
Figura 2.27 - Máquina valetadeira com corrente dentada utilizada no método mini-vala .....	53
Figura 2.28 - Seção transversal da vala de baixa tensão executada com valetadeira de corrente .....	53
Figura 2.29 - Procedimento de execução de micro-valas .....	54
Figura 2.30 - Etapas do método de decisão de Souza (2003) .....	57
Figura 2.31 - Fluxograma do processo de decisão definido por Morettini (2012) .....	57



Figura 3.1 - Planta baixa da usina fotovoltaica utilizada como referência .....	66
Figura 3.2 – Sub-áreas da usina fotovoltaica utilizada como referência .....	66
Figura 3.3 - Detalhe da área 1.1, com indicação das características referentes aos componentes elétricos .....	67
Figura 3.4 - Características das valas na usina fotovoltaica analisada .....	68
Figura 3.5 - Seção transversal das valas na usina fotovoltaica estudada ((a), (b), (c)).....	69
Figura 3.6 - Seção transversal das valas na usina fotovoltaica estudada ((d) e (e)) .....	70
Figura 3.7 - Seção transversal da vala VLBT.1 .....	72
Figura 4.1 - Caracterização dos equipamentos utilizados nos métodos de escavação de valas e lançamento de cabos .....	87

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Quadro da Classificação Unificada dos Solos.....	37
Quadro 3.1 – Metodologia de estudo qualitativo adotada no presente estudo.....	62
Quadro 3.2 - Critérios de análise do processo e do produto de acordo com os princípios de Slack et al. (1997).....	75
Quadro 4.1 - Resultado da comparação para o processo de escavação de valas e lançamento de cabos .....	83
Quadro 4.2 - Produtividade do método convencional de escavação de valas e lançamento de cabos .....	84
Quadro 4.3 - Etapas manuais e mecanizadas dos diferentes métodos de escavação de valas e lançamento de cabos .....	84
Quadro 4.4 - Empresas no mercado brasileiro que oferecem equipamentos para o Método de Lançamento Direto e Método mini-vala.....	85
Quadro 4.5 - Quantidade de diferentes equipamentos utilizados no processo de escavação de valas e lançamento de cabos .....	86
Quadro 4.6 – Características dimensionais dos equipamentos utilizados para escavação .....	88
Quadro 4.7 - Características dimensionais dos equipamentos utilizados para lançamento de eletrodutos e cabos.....	88
Quadro 4.8 - Resultado da comparação para as valas produzidas por cada método .....	90
Quadro 4.9 – Tipos de vala produzidos por cada método de escavação de valas e lançamento de cabos analisado.....	92
Quadro 4.10 - Número de elementos nas valas escavadas utilizando os métodos de escavação de lançamento de cabos analisados.....	93

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A – Ampere

ACR - Ambiente de Contratação Regulado

AHP – *Analytic Hierarchy Process*

ASQ – *American Society for Quality*

BT – Baixa tensão

CA – Corrente alternada

CC – Corrente contínua

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CFTV – Circuito Fechado de Televisão

ENEL – Enel Green Power

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

HDD – *Horizontal Directional Drilling*

MAV – Método por abertura de valas

MT – Média tensão

NBR – Norma Brasileira

PEAD – Polietileno da Alta Densidade

PVC – Policloreto de Vinila

SIN – Sistema Interligado Nacional

SMART - *Simple Multi Attribute Rating Technique*

SUCS - Sistema Unificado de Classificação dos Solos

VLBT.1 – Vala de baixa tensão do tipo 1

WPM - *weighted product model*

WSM - *weighted sum model*

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1. Justificativa.....</b>	<b>14</b>
1.1.1. Objetivo geral.....	17
1.1.2. Objetivos específicos .....	18
1.1.3. Limitação do estudo .....	18
<b>1.2. Estrutura do trabalho.....</b>	<b>18</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1. Usinas fotovoltaicas.....</b>	<b>19</b>
2.1.1. Recurso solar no Brasil .....	19
2.1.2. Construção de usinas fotovoltaicas .....	20
2.1.2.1. Hastes e estruturas metálicas .....	20
2.1.2.2. <i>Trackers</i> .....	21
2.1.2.3. Módulos fotovoltaicos .....	21
2.1.2.4. Cabos solares .....	21
2.1.2.5. <i>String-box</i> .....	22
2.1.2.6. Cabos condutores de baixa tensão .....	22
2.1.2.7. Inversores.....	22
2.1.2.8. Transformadores elevadores .....	22
2.1.2.9. Cabos condutores de média tensão .....	23
2.1.2.10. Sistema de aterramento e de proteção contra descargas atmosféricas .....	23
2.1.2.11. Subestação coletora .....	23
2.1.2.12. Linha de transmissão .....	23
2.1.3. Cabos e condutores em usinas fotovoltaicas.....	24
<b>2.2. Escavação de valas e lançamento de cabos condutores em usinas fotovoltaicas</b>	<b>26</b>
2.2.1. Visão geral .....	26
2.2.2. Prescrições normativas para condutores de baixa tensão .....	27
2.2.2.1. Dimensionamento .....	27
2.2.2.2. Eletrodutos.....	33
2.2.2.3. Caixas de passagem .....	34
2.2.2.4. Cabo condutor e cabo de aterramento .....	34
2.2.2.5. Proteção mecânica e fita de sinalização .....	34
2.2.2.6. Dimensões da vala .....	35
2.2.2.7. Reaterro .....	35
<b>2.3. Métodos de instalação de condutores subterrâneos.....</b>	<b>37</b>
2.3.1. Métodos de escavação sem valas .....	38
2.3.2. Métodos por abertura de valas .....	40
<b>3.3.2.1</b> Método convencional .....	<b>41</b>
<b>3.3.2.2</b> Método de lançamento direto .....	<b>46</b>
<b>3.3.2.3</b> Método mini-vala .....	<b>52</b>
<b>3.3.2.4</b> Método micro-vala .....	<b>54</b>
<b>2.4. Critérios para comparação .....</b>	<b>54</b>
<b>2.5. Procedimentos para tomada de decisão .....</b>	<b>56</b>
<b>2.6. Considerações finais.....</b>	<b>59</b>
<b>3. MÉTODO .....</b>	<b>61</b>
<b>3.1. Visão geral.....</b>	<b>61</b>
<b>3.2. Pergunta de pesquisa .....</b>	<b>63</b>

<b>3.3.</b>	<b>Seleção de fontes relevantes .....</b>	<b>63</b>
<b>3.4.</b>	<b>Coleta de dados .....</b>	<b>64</b>
<b>3.5.</b>	<b>Interpretação dos dados .....</b>	<b>65</b>
3.5.1.	Definição do tipo de vala a ser comparada .....	65
3.5.2.	Levantamento de dados quanto aos métodos executivos.....	72
3.5.3.	Definição dos métodos alternativos a comparar .....	73
<b>3.6.</b>	<b>Trabalho teórico com dados.....</b>	<b>73</b>
3.6.1.	Definição de critérios para a comparação de métodos alternativos de execução	73
3.6.1.1.	Critérios de comparação do processo .....	75
3.6.1.1.1.	Produtividade .....	75
3.6.1.1.2.	Utilização de mão de obra .....	76
3.6.1.1.3.	Segurança .....	77
3.6.1.1.4.	Disponibilidade de equipamentos no mercado nacional .....	77
3.6.1.1.5.	Tamanho dos equipamentos utilizados .....	78
3.6.1.1.6.	Volume de material escavado .....	78
3.6.1.1.7.	Reaproveitamento do material escavado para reaterro .....	79
3.6.1.2.	Critérios de comparação de produto .....	79
3.6.1.2.1.	Quantidade de elementos .....	79
3.6.1.2.2.	Fidelidade ao projeto .....	80
3.6.1.2.3.	Qualidade da vala escavada.....	80
3.6.2.	Metodologia para atribuição de notas .....	81
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>83</b>
<b>4.1.</b>	<b>Comparação em termos do processo.....</b>	<b>83</b>
4.1.1.	Produtividade .....	83
4.1.2.	Menor uso de mão de obra.....	84
4.1.3.	Segurança dos operários .....	85
4.1.4.	Disponibilidade de equipamentos no mercado nacional.....	85
4.1.5.	Tamanho dos equipamentos.....	86
4.1.6.	Quantidade de material escavado.....	89
4.1.7.	Reaproveitamento do material escavado .....	89
4.1.8.	Conclusão sobre os resultados da comparação em termos do processo .....	90
<b>4.2.</b>	<b>Comparação em termos do produto.....</b>	<b>90</b>
4.2.1.	Quantidade de elementos .....	91
4.2.2.	Fidelidade ao projeto.....	94
4.2.3.	Qualidade da vala escavada .....	94
4.2.4.	Conclusão sobre os resultados da comparação em termos do produto .....	95
<b>4.3.</b>	<b>Considerações sobre o resultado das comparações.....</b>	<b>95</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>96</b>
<b>5.1.</b>	<b>Limitações do estudo.....</b>	<b>96</b>
<b>5.2.</b>	<b>Sugestões para trabalhos futuros .....</b>	<b>97</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>		<b>98</b>

# 1. INTRODUÇÃO

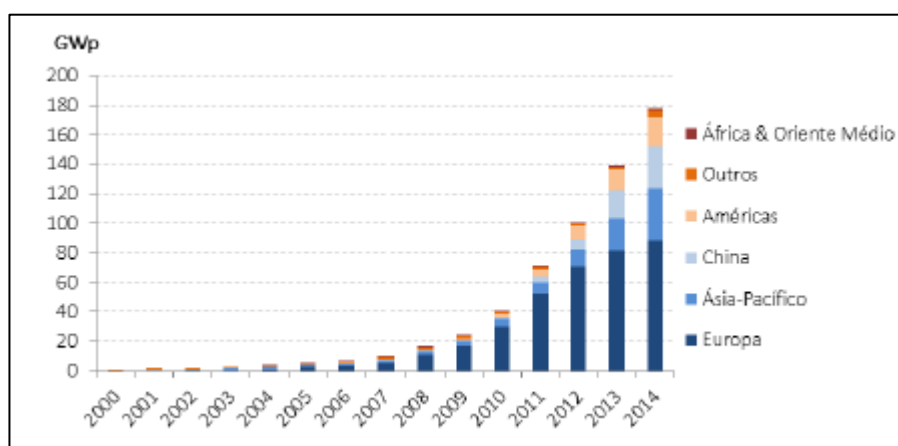
## 1.1. Justificativa

De toda a energia utilizada no mundo em 2017, apenas 2,1% foi proveniente da fonte solar. No entanto, a geração de energia fotovoltaica no mundo passou de 5 GWp para 500 GWp, entre 2004 e 2017, configurando um crescimento de 42,5% ao ano (IEA PVPS, 2018).

No cenário atual, observa-se que o maior número de instalações ocorre em países asiáticos, em especial na China e na Índia. A China é atualmente o principal ator no desenvolvimento do mercado e na diminuição de preços referentes à energia fotovoltaica no mundo (OCDE & IEA, 2017). Historicamente, no mundo, o crescimento da tecnologia foi fortemente influenciado por incentivos governamentais, principalmente na Europa. Nessa linha, a partir do momento em que houve redução dos incentivos, o número de instalações diminuiu, e a Europa deixou de ocupar a primeira posição.

Com a diminuição dos custos referentes à energia fotovoltaica nos últimos anos, a geração centralizada surgiu como uma interessante alternativa na geração de energia (TOLMASQUIM, 2016). A partir da diminuição constante dos custos da geração de energia solar, desde 2007, há forte tendência da participação de usinas fotovoltaicas no total de capacidade instalada mundialmente, conforme exibido na Figura 1.1.

Figura 1.1 - Evolução da capacidade fotovoltaica acumulada.

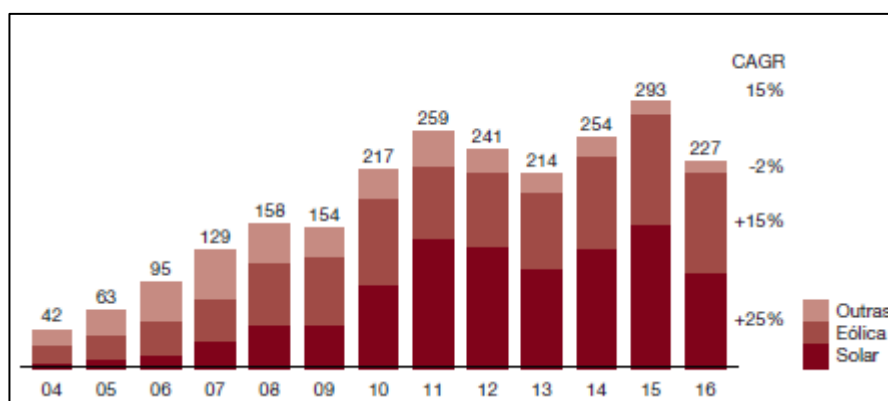


Fonte: Tolmasquim, 2016

Segundo Ramos e Gondim (2017), os investimentos globais em energias renováveis crescem a uma média anual de 15%, destacando-se a fonte solar. Os autores reforçam que um

dos principais motivos para o crescimento no investimento na última década é a diminuição do preço dos painéis fotovoltaicos, com queda de 7% ao ano. A Figura 1.2 ilustra o investimento global em renováveis, de 2004 a 2016, evidenciando a superioridade dos investimentos em energia solar em comparação com as demais, nos últimos anos.

Figura 1.2 - Investimento global em renováveis, em bilhões de US\$



Fonte: Ramos e Gondim (2017)

No entanto, Gielen et al. (2018), afirmam que, apesar do crescimento do investimento em energias renováveis, a capacidade instalada mundial dessa fonte energética ainda não é suficiente para atingir as metas de descarbonização e mitigação climática definidas pelos países.

Em 2015, na 21ª Conferência das Partes, 195 países estabeleceram a meta de manter o aumento da temperatura média global em menos de 2 °C acima dos níveis pré-industriais e de esforçarem-se para limitar o aumento da temperatura a 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais, ao assinarem o Acordo de Paris (DONG et al., 2018).

Mundialmente, para se atingir os objetivos definidos pelos países signatários, as energias renováveis precisam ser implantadas a uma taxa seis vezes maior do que a atual (GIELEN et al., 2018). Em relação ao Brasil, para honrar os compromissos firmados no Acordo de Paris, as metas definidas pelo Ministério de Minas e Energia sugerem que a participação de fontes adicionais de energia renováveis, de forma complementar à participação da energia hidráulica, passará de catorze por cento para vinte e três por cento do total da eletricidade consumida no país até 2030 (GIELEN et al., 2018).

Ainda em relação ao crescimento das energias renováveis, a Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE), em seu plano decenal de expansão de energia 2026, afirma que a

participação das energias renováveis (considerando energia eólica, fotovoltaica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas) passará de 22% em 2018 para 30% em 2026. Por outro lado, a participação da fonte hidráulica, decrescerá, passando de 64% para 52% no mesmo período, mostrando o crescimento da participação de diferentes fontes de energia renovável na matriz energética nacional.

Mais especificamente em relação à energia fotovoltaica, devido à disponibilidade de recurso solar no Brasil, por fatores como localização geográfica e disponibilidade de áreas, estima-se em 28.000 GW a capacidade que poderia ser instalada no Brasil em geração fotovoltaica centralizada (EPE, 2017). Para esse levantamento, considerou-se que as usinas poderiam ser instaladas em área não ocupadas, como área sem florestas, edificações ou quaisquer atividades econômicas. Atualmente, há apenas 1.406 MW em operação (há também 803 MW estão em construção e 1.449 com construção ainda não iniciada) (ANEEL, 2018).

Apesar das tendências de crescimento, a geração de energia em todo o Sistema Interligado Nacional – SIN é controlada pela ANEEL, através dos leilões realizados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). No Ambiente de Contratação Regulado (ACR), a venda da permissão para gerar energia é feita mediante leilões, onde tanto a potência outorgada quanto a data para início da geração são informados. A potência outorgada é a máxima potência que a geradora poderá operar. Os leilões são realizados em função da demanda energética nacional. Nesses leilões, usualmente, estão os projetos de usinas fotovoltaicas de grande porte (TOLMASQUIN, 2016).

O controle sobre a geração de energia é feito porque, diferentemente de outros sistemas de rede, como saneamento e gás, a energia elétrica gerada não pode ser armazenada de forma economicamente viável, implicando a necessidade de se ter equilibradas a oferta e a demanda desse recurso (ABRADEE, 2018). A CCEE faz projeções de demanda energética ao longo do tempo e vende, em leilões, a oportunidade de produzir e vender a energia para o mercado nacional. Nesse processo de venda, a CCEE define a porcentagem da energia a ser leiloadada que deverá ser provida por fontes alternativas, com a fotovoltaica.

Quanto aos preços de geração nos leilões para a fonte solar, os preços médios da energia elétrica fotovoltaica mostram forte queda. Como exemplo, em 2017, no leilão A-4 (leilão para projetos que devem iniciar geração ao final do quarto ano subsequente ao certame), o preço médio foi de R\$ 145,68/MWh, enquanto, em 2018, o preço médio foi de R\$ 118,07/MWh. Os preços definidos nos leilões de energia são os preços por MWh que o Governo pagará para as



geradoras, de acordo com o número de MWh gerados. A partir da queda dos preços da energia fotovoltaica nos leilões de geração, as empresas vencedoras buscam diminuir cada vez mais os seus custos, não apenas nos equipamentos utilizados usinas, como painéis fotovoltaicos, inversores e transformadores, mas também na contratação das empresas que construirão as usinas fotovoltaicas.

Dessa forma, cabe às construtoras se adaptarem à nova realidade dos preços praticados no Mercado, buscando formas de reduzir custos, prazos de execução das obras, e, paralelamente, aumentar a qualidade de suas obras. Ainda, dado que a empresa ganhadora do leilão só poderá colocar energia no Sistema Interligado Nacional a partir da data estipulada pela CCEE (por exemplo, a vencedora do leilão A-4 de 2018 só poderá colocar sua energia no Sistema quatro anos após a data do leilão, ou seja, em 2022), construir a usina fotovoltaica com antecedência não se mostra interessante, já que o capital investido para geração não trará retornos antes que se possa vender a energia gerada (NETO; FENSTERSEIFER; FORMOSO, 2003). Dessa forma, quanto mais rapidamente a usina fotovoltaica for construída, menos tempo o capital investido pela empresa demorará para ter retornos.

Nesse sentido, esse trabalho aborda duas etapas importantes da construção de usinas fotovoltaicas, que são: escavação de valas e lançamento de cabos, as quais são obras lineares com grandes extensões. A extensão das valas fica na ordem de dezenas a centenas de quilômetros, como, por exemplo, o Complexo Fotovoltaico Pirapora, que possui 529 mil metros de vala (SOLATIO, 2016). Em outras situações, a extensão das valas pode ser menor, como os 14 mil metros de vala na Usina Fotovoltaica Assú V (S. ENGENHARIA, 2018). Dessa forma, a extensão das valas depende do tamanho da usina fotovoltaica a ser construída. Pelo fato de as valas percorrerem extensas áreas, e pelo fato de as valas precisarem aguardar o lançamento dos cabos antes de poderem ser reaterradas, tem-se um problema na execução das demais atividades da obra, dado que as valas abertas podem limitar o acesso de outros equipamentos. Além disso, o processo de lançamento de cabos é, em muitos casos, manual, o que reduz a velocidade de execução.

### 1.1.1. Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é comparar o método construtivo adotado em obras lineares em usinas fotovoltaicas para lançamento de cabos condutores subterrâneos no Brasil com duas tecnologias alternativas: método de lançamento direto e método mini-vala.

### 1.1.2. Objetivos específicos

Dentre os objetivos específicos, incluem-se os seguintes:

- Compreender o processo construtivo de usinas fotovoltaicas, bem como identificar os principais componentes dessas usinas;
- Identificar critérios que influenciam a adoção do método construtivo para obras lineares em usinas fotovoltaicas;
- Comparar as características do método mais comumente adotado para execução de obras lineares com tecnologias alternativas, em termos dos critérios identificados.

### 1.1.3. Limitação do estudo

Apesar de, em usinas fotovoltaicas, existirem valas para cabos condutores de média e de baixa tensão, este trabalho limitou-se à análise das valas de baixa tensão.

Além disso, a análise de custos não foi abordada nesse trabalho. Por considerar a complexidade de tal análise, que envolveria custos diversos, como equipamentos (aquisição/locação), combustível, mão de obra na equipe de produção, materiais, impostos, taxas de importação, incentivos governamentais a obras de infraestrutura, entre outros, a análise segundo tal parâmetro não é realizada.

## 1.2. Estrutura do trabalho

Este trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo foi reservado para introduzir o tema ao leitor, bem como para apresentar os objetivos gerais e específicos.

O segundo capítulo contém a revisão de literatura. Na revisão, são identificados os componentes de usinas fotovoltaicas, a tecnologia atual para escavação de valas e lançamento de cabos, bem como tecnologias alternativas. Ainda, identificam-se critérios para análise das tecnologias e metodologias de comparação.

O terceiro capítulo contém o método através do qual esse trabalho foi realizado e apresenta informações quanto aos critérios considerados para as comparações e quanto à metodologia adotada para a atribuição de notas.

O quarto capítulo expõe os resultados obtidos ao longo do trabalho mediante comparações entre as notas atribuídas aos métodos, e o quinto capítulo é destinado às conclusões finais e às sugestões para trabalhos futuros.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Usinas fotovoltaicas**

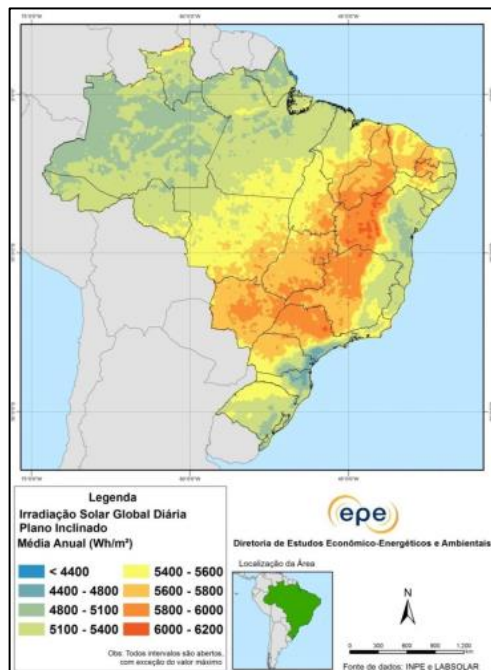
Nesta seção, são decorridos temas referentes ao recurso solar no Brasil, mostrando a grande disponibilidade de recurso solar no país, o que favorece a implantação de usinas fotovoltaicas. Além disso, trata-se das principais partes constituintes dessas usinas, as quais são importantes no processo de construção.

#### **2.1.1. Recurso solar no Brasil**

Segundo Tolmasquim (2016), o Brasil tem condições vantajosas no aproveitamento do recurso solar. Primeiramente porque a maior parte do território brasileiro se encontra entre os Trópicos de Câncer e de Capricórnio, o que permite altos índices de incidência da radiação solar na maior parte do território do país. Em seguida, devido ao fato de, na região intertropical, os raios incidem mais verticalmente, o que aumenta a eficiência dos raios solares na geração de energia. Por último, o fato de o Brasil estar localizado próximo à Linha do Equador proporciona uma menor variabilidade da radiação solar. (TOLMASQUIM, 2016). A Figura 2.1 exibe informações da irradiação solar global diária no plano inclinado no Brasil, a qual é mais indicada às aplicações fotovoltaicas. No mesmo sentido, a Figura 2.2 exibe informações da irradiação direta normal, a qual também deve ser considerada quando da busca por áreas de implantação de usinas fotovoltaicas.

A partir da análise dos mapas, é possível identificar os locais do país onde a irradiação solar é maior, sendo, portanto, regiões economicamente atrativas à instalação de usinas fotovoltaicas. Ao analisar unicamente o fator “irradiação solar”, as áreas mais apropriadas à instalação de usinas fotovoltaicas são: o oeste do estado da Bahia, assim como o Vale do São Francisco, Piauí, Mato Grosso, leste de Goiás e oeste do Estado de São Paulo. Apesar desses estados se destacarem, praticamente todo o território do País é passível do aproveitamento desse recurso (TOLMASQUIM, 2016).

Figura 2.1- Mapa de Irradiação Solar Global Diária no Plano Inclinado - Média Anual



Fonte: EPE, Diretoria de Estudo Econômico-energéticos e Ambientais.

Figura 2.2 - Mapa de Irradiação Solar Direta Normal Diária - Média a Anual



Fonte: EPE, Diretoria de Estudo Econômico-energéticos e Ambientais.

## 2.1.2. Construção de usinas fotovoltaicas

As usinas fotovoltaicas são compostas de diversos elementos além dos módulos fotovoltaicos, os quais contém as células fotovoltaicas capazes de gerar energia (TOLMASQUIM, 2016). De forma a melhorar a compreensão acerca dos principais elementos das usinas fotovoltaicas, eles são caracterizados nesta seção.

### 2.1.2.1. Hastes e estruturas metálicas

As hastes e estruturas metálicas são os elementos sobre os quais os módulos fotovoltaicos são instalados. Essas estruturas oferecem resistência aos esforços que venham a ocorrer, devido a ventos, por exemplo, bem como a manter os painéis na orientação e inclinação que maximize o rendimento (PEREIRA; OLIVEIRA, 2015).

Segundo Solatio (2016), a construção das fundações das estruturas metálicas envolve a locação da posição das hastes metálicas e a cravação do perfil. As hastes metálicas são usualmente cravadas com utilização de uma máquina hidráulica de cravação. A profundidade

das hastes e a distância entre elas é função do tipo de solo e de características climáticas da região, como regime de ventos.

Após a conclusão da cravação das hastes, as estruturas metálicas são montadas. As estruturas metálicas são compostas de vigas, pilares e cantoneiras leves, usinadas em fábrica. As peças são fixadas entre si e à fundação por meio de parafusos.

Em substituição às hastes metálicas, pode-se utilizar fundações de concreto. A escolha entre as duas opções fica a cargo do projetista, ao identificar a melhor alternativa.

#### 2.1.2.2. *Trackers*

Os *trackers* são equipamentos instalados nas estruturas metálicas que são capazes de fazer os módulos fotovoltaicos seguirem o sol conforme seu movimento diário no céu (WOLFE, 2012). A utilização desses equipamentos aumenta a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos, pois aumenta a intensidade de radiação sobre eles.

#### 2.1.2.3. Módulos fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos são compostos de células fotovoltaicas de silício cristalino montadas sobre uma camada de silicone. Essas células são protegidas por duas chapas de vidro temperado e por uma armação plástica. A partir do contato dos raios solares com os cristais de silício, energia é produzida.

Segundo Pereira e Oliveira (2016), os módulos fotovoltaicos são instalados sobre as estruturas metálicas, de forma manual. Os módulos são fixados à estrutura com o uso de parafusos e pequenas peças adaptadas para fixação.

#### 2.1.2.4. Cabos solares

Para conectar os módulos fotovoltaicos entre si e até o inversor, são utilizados cabos denominados cabos solares. Mais detalhes sobre os cabos solares são descritos no item 2.1.3.

Conforme a instalação dos módulos procede, eles são conectados entre si, até o final de cada série de painéis. Os cabos que saem dos módulos fotovoltaicos são direcionados para as caixas de conexão, sendo eles fixados à estrutura metálica.

Com o objetivo de aumentar a tensão de funcionamento do gerador fotovoltaico e reduzir as perdas pela transmissão, os módulos fotovoltaicos são conectados em série (PEREIRA; OLIVEIRA, 2016).

#### 2.1.2.5. *String-box*

Os painéis solares são agrupados em conjuntos chamados de *strings*. Nos *strings*, os cabos dos painéis fotovoltaicos são conectados em série e são direcionados até a *string box*. A *string box* é, essencialmente, um equipamento de proteção que isola o sistema de produção de energia fotovoltaica para impedir o risco de propagação de acidentes elétricos, como os curtos-circuitos e os surtos elétricos (PEREIRA; OLIVEIRA, 2016). Os cabos condutores que saem das *string-box* são direcionados aos inversores e, em seguida, aos transformadores.

#### 2.1.2.6. Cabos condutores de baixa tensão

O cabeamento de baixa tensão refere-se aos cabos que saem das *string box* em direção aos transformador. Os cabos são posicionados dentro de valas, com dimensões variáveis, em função da quantidade de circuitos. As especificações técnicas para disposição de cabos de baixa tensão dentro das valas são descritas na NBR 5410 (ABNT, 2008).

#### 2.1.2.7. Inversores

Os inversores são utilizados para transformar a voltagem da corrente contínua, que sai dos painéis, em corrente alternada (PEREIRA; OLIVEIRA, 2016).

Os inversores podem ser classificados em três tipos: centrais, *string* e microinversores (TOLMASQUIM, 2016). Os inversores centrais são equipamentos de grande porte, utilizados usualmente em usinas fotovoltaicas, em que vários arranjos de módulos são conectados. Os inversores *string* são mais comuns em instalações residenciais. Por último, os microinversores são inversores individuais, e são projetados para ficarem junto de cada painel fotovoltaico instalado.

#### 2.1.2.8. Transformadores elevadores

O transformador é o equipamento elétrico utilizado para elevar a tensão à saída dos

inversores, de forma a possibilitar a distribuição da energia. A elevação de tensão permite minimizar as perdas de energia que ocorrem mediante dos cabos (PEREIRA; OLIVEIRA, 2016).

Em usinas fotovoltaicas, o transformador separa fisicamente os circuitos de baixa tensão (BT) e média tensão (MT).

#### 2.1.2.9. Cabos condutores de média tensão

O cabeamento de média tensão refere-se aos cabos que saem dos transformadores em direção à subestação coletora. Da mesma forma que os cabos de baixa tensão, os cabos de média tensão são posicionados dentro de valas, com dimensões variáveis. As características das valas contendo cabos de média tensão (MT) são descritas na Norma Brasileira NBR 14039. A largura e a profundidade das valas contendo cabos de média tensão (MT) variam em função do número de circuitos que passam por elas.

#### 2.1.2.10. Sistema de aterramento e de proteção contra descargas atmosféricas

As estruturas metálicas de suporte dos módulos, os inversores, as *string boxes* e todos os elementos metálicos da usina fotovoltaica precisam ser aterrados e equipotencializados.

O condutor de aterramento segue ao longo das valas e caminhos de cabos de corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA). As estruturas de fixação e as salas elétricas são aterradas junto das molduras dos módulos, de forma a garantir a equipotencialização de todo o sistema (PEREIRA; OLIVEIRA, 2016).

#### 2.1.2.11. Subestação coletora

A subestação coletora é a subestação que recebe a energia das subestações unitárias. É a partir da Subestação coletora que a energia será colocada na rede (SOLATIO, 2016).

#### 2.1.2.12. Linha de transmissão

Segundo Pereira e Oliveira (2015) a linha de transmissão é utilizada para transportar a energia da subestação coletora para demais localidades onde seja necessária.

### 2.1.3 Cabos e condutores em usinas fotovoltaicas

Os cabos utilizados em uma usina fotovoltaica precisam suportar condições ambientais severas em relação à temperatura, umidade, e radiação ultravioleta, ao longo de todo ciclo de vida da usina fotovoltaica (entre 20 e 25 anos) (ABB GROUP, 2010). Além de serem capazes de suportar as condições externas por um longo tempo, todos os cabos devem ser dimensionados conforme sua voltagem de acordo com a voltagem da usina.

Nas usinas fotovoltaicas, os cabos condutores são divididos em dois grupos: baixa tensão e média tensão.

Os cabos de baixa tensão são os cabos condutores que conectam desde o painel solar até o transformador. A corrente é contínua (CC) até o inversor. O inversor transforma a corrente contínua em corrente alternada. Após passar pelo inversor, a energia segue até o transformador, onde a tensão será elevada para média tensão. Os condutores de baixa tensão estão divididos em dois grupos: cabos solares (1), os quais conectam os painéis fotovoltaicos à *string box*, ou diretamente ao inversor (dependendo de como determina o projeto da usina fotovoltaica), e cabos não-solares (2), os quais conectam a *string box* ao transformador, passando pelo inversor.

Os cabos que conectam os painéis fotovoltaicos devem ser capazes de suportar alta temperatura, haja vista que são fixados na parte traseira dos módulos, onde a temperatura pode atingir até 80 °C. Além de serem resistentes à temperatura, os cabos precisam ser resistentes à ação degradante da radiação ultravioleta (para casos em que estejam à vista, mesmo que sob os painéis fotovoltaicos). Por conta disso, cabos específicos são utilizados, sendo geralmente protegidos por bainha de borracha e isolados, com tensão nominal entre 0,6 a 1 kV, com proteção contra radiação ultravioleta e com temperatura operativa máxima de 90 °C (ABB GROUP, 2010).

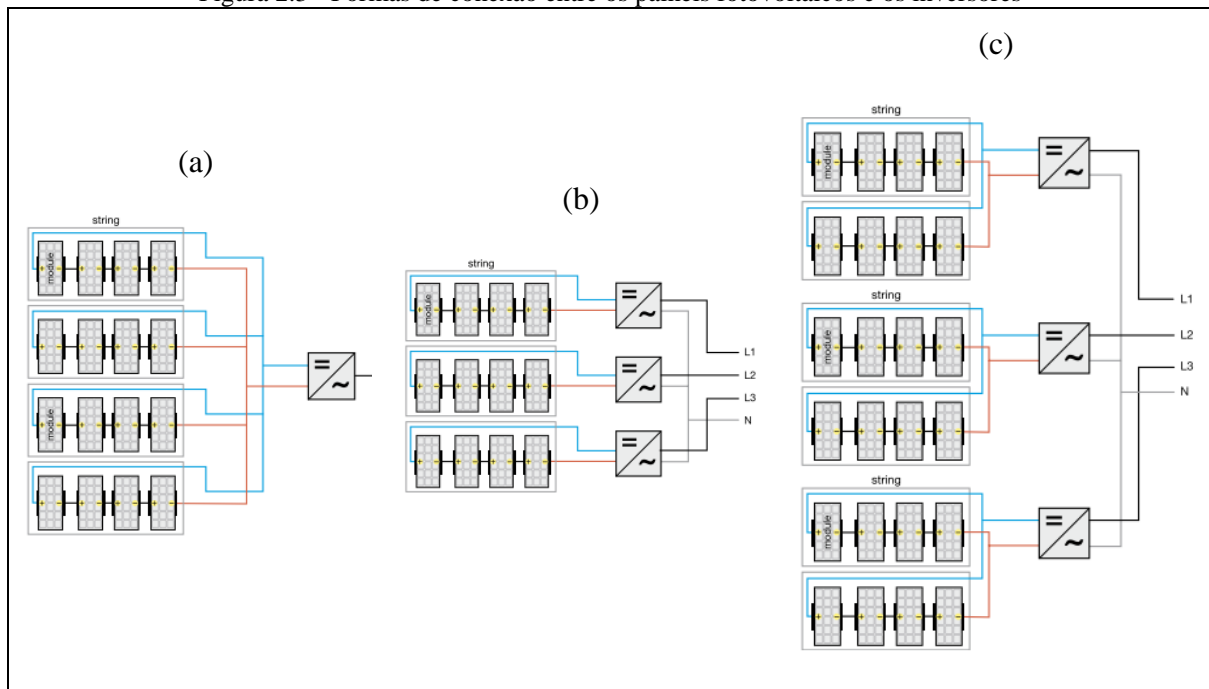
Os cabos não-solares não ficam próximos dos painéis solares, por isso trabalham em uma temperatura operativa menor, a qual não supera os 40 °C (ABB GROUP, 2010). Usualmente, esse tipo de cabo precisa estar protegido da radiação solar, por exemplo, enterrado (diretamente ou dentro de eletroduto) ou em eletrocalha na superfície. Os cabos que partem da *string box* em direção ao inversor estão, usualmente, enterrados no solo.

No inversor, a corrente contínua, gerada nos painéis solares, é convertida para corrente alternada. A conexão entre os *strings* (conjunto de painéis solares) e o inversor pode acontecer de três formas: com um único inversor para toda a usina (a), com um inversor para cada *string* (b) ou com um inversor para cada grupo de *strings* (c) (ABB GROUP, 2010). A Figura 2.3



ilustra as formas de conexão entre os *strings*, que são agrupamentos de painéis fotovoltaicos, com os inversores.

Figura 2.3 - Formas de conexão entre os painéis fotovoltaicos e os inversores



Fonte: Adaptado de ABB Group (2010)

Em grandes usinas fotovoltaicas, cada agrupamento (*string*) tem sua *string box*, que é o equipamento ao qual os cabos que saem dos painéis solares são conectados. A *string box* é, essencialmente, um equipamento de proteção que isola o sistema de produção de energia fotovoltaica para impedir o risco de propagação de acidentes elétricos, como os curtos-circuitos e os surtos elétricos (SOLARVOLT, 2018). Das *string box* saem cabos que, em paralelo, chegam aos inversores, conforme exibido na Figura 2.3 (c).

Em comparação com os outros *layouts*, essa opção gera uma redução no número de inversores, o que reduz o custo do empreendimento (ABB GROUP, 2010). Além disso, há a vantagem de que, caso um inversor seja danificado e pare de funcionar, apenas uma parte da produção da usina será prejudicada (diferentemente do que aconteceria caso todos os *strings* fossem conectados a um único inversor, conforme caso (a), exibido na Figura 2.3. (a). Da mesma forma, isso ocorre quando há necessidade de realizar manutenção no *string*, evitando que toda a produção da usina precise ser interrompida. Ao seguir essa configuração, o acompanhamento da produção da usina é atribuído a um sistema de supervisão que mede a produção de cada um dos *strings*.

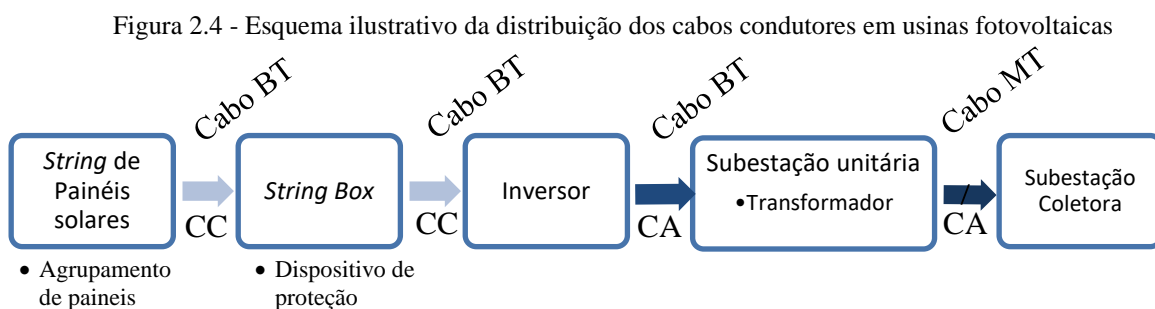
Após o inversor, os cabos conduzem a energia até o transformador, onde a tensão será

elevada, para possibilitar sua transmissão. O transformador fica dentro da subestação unitária. Em seguida, a energia é conduzida até a subestação coletora, a partir da qual a energia elétrica segue para o sistema interligado nacional.

Os cabos de média tensão têm diâmetro maior, dado que são alimentados com tensão entre 1 e 36,2 kV (NBR 14039 (ABNT, 2005)), enquanto os cabos de baixa tensão são alimentados com tensão máxima de 1 kV (NBR 5410 (ABNT, 2008)). Segundo a NBR 14039 (ABNT, 2005), os cabos de média tensão devem ser instalados de forma que o contato de pessoas e animais com partes vivas da instalação não ocorra. Uma das formas sugeridas para isso, segundo a NBR 14039 (ABNT, 2005), é por meio da utilização de cabos subterrâneos.

A partir da inversão de corrente nos inversores, a corrente é conduzida nessa forma até a subestação coletora.

A Figura 2.4 ilustra, em um esquema, como é o cabeamento em uma usina fotovoltaica.



Fonte: do Autor

## 2.2. Escavação de valas e lançamento de cabos condutores em usinas fotovoltaicas

### 2.2.1. Visão geral

O estudo dos métodos de escavação de vala e de lançamento de cabos envolve disciplinas tanto civis, relacionadas à escavação, ao reaterro e à compactação do solo, quanto elétricas, relacionadas aos condutores elétricos, aos eletrodutos e aos demais cabos enterrados, como o de aterramento. Dessa forma, para a compreensão do serviço como um todo, literaturas referentes a tais tópicos são avaliadas.

## 2.2.2. Prescrições normativas para condutores de baixa tensão

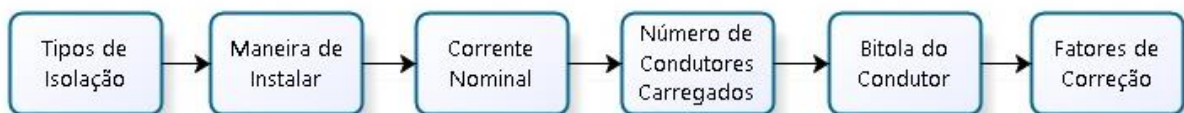
### 2.2.2.1. Dimensionamento

O dimensionamento dos condutores de baixa tensão é regulamentado pela NBR 5410 (ABNT, 2008). O objetivo do dimensionamento é que os cabos suportem condições referentes aos seguintes critérios: temperatura, queda de tensão, sobrecarga e curto-circuito (ABNT, 2008). Para isso, calcula-se o diâmetro do cabo por três critérios: critério de capacidade de corrente, critério de limite de queda de tensão e critério da seção mínima. Após calcular segundo os dois critérios primeiros, adota-se como diâmetro mínimo o maior resultado, comparando-o com o mínimo diâmetro permitido pela NBR 5410 (ABNT, 2008). Caso o diâmetro obtido seja menor do que o mínimo, deve-se adotar o mínimo indicado. Com base no resultado obtido, faz-se uso de tabelas de fabricantes para identificar cabos de seção igual ou maior à calculada.

Para a determinação do diâmetro dos condutores pelo critério de capacidade de corrente, é necessário levar em consideração diversos fatores, como o tipo de isolamento, a maneira de instalação (por exemplo, cabo embutido em alvenaria, cabo em canaleta embutida no piso, cabo em eletroduto enterrado no piso, cabo subterrâneo, entre outros), a corrente nominal, o número de condutores carregados e os fatores de correção.

A sequência para dimensionamento é exibida na Figura 2.5.

Figura 2.5 - Roteiro para dimensionamento de cabos de baixa tensão



Fonte: Adaptado de Dimensionamento (s.d.)

O tipo de isolamento é função da temperatura máxima para serviço contínuo dos condutores, que é a temperatura máxima do cabo resultante do transporte de corrente durante períodos prolongados de funcionamento normal (ABNT, 2008). A NBR 5410 (ABNT, 2008) apresenta quatro tipos de isolamento, conforme Tabela 2.1.

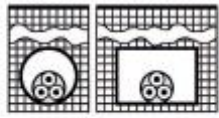
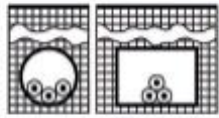
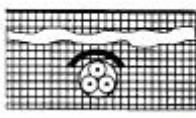
Tabela 2.1 - Tipo de isolamento e temperatura máxima para serviço contínuo

Tipo de isolamento	Temperatura máxima para serviço contínuo (condutor) °C
Policloreto de vinila (PVC) até 300 mm <sup>2</sup>	70
Policloreto de vinila (PVC) maior que 300 mm <sup>2</sup>	70
Borracha etileno-propileno (EPR)	90
Polietileno reticulado (XLPE)	90

Fonte: Adaptado de NBR 5410 (ABNT, 2008)

Em seguida, deve-se identificar a maneira em que os cabos serão instalados. A NBR 5410 (ABNT, 2008) apresenta 75 diferentes métodos de instalação, como “Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede” e “Cabo multipolar em eletroduto (de seção circular ou não) ou em canaleta não-ventilada enterrado (a)”. Para cabos enterrados, que são o objeto deste trabalho, a NBR 5410 (ABNT, 2008) lista três métodos, sendo eles caracterizados pelos números 61, 61A e o 63. A Tabela 2.2 exibe os tipos de instalação para os cabos enterrados.

Tabela 2.2 - Método de instalação para cabos enterrados

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência <sup>1)</sup>
61		Cabo multipolar em eletroduto (de seção circular ou não) ou em canaleta não-ventilada enterrado(a)	D
61A		Cabos unipolares em eletroduto (de seção não-circular ou não) ou em canaleta não-ventilada enterrado(a) <sup>2)</sup>	D
63		Cabos unipolares ou cabo multipolar diretamente enterrado(s), com proteção mecânica adicional <sup>3)</sup>	D

Fonte: Adaptado de NBR 5410 (ABNT, 2008)

Após identificar o tipo de instalação, deve ser calculada a corrente nominal, que é a corrente mais alta que um condutor pode conduzir continuamente dentro da faixa de temperatura prescrita. Para cada método de instalação, a NBR 5410 (ABNT, 2008) define um método de referência para o cálculo da capacidade de condução de corrente. Para os métodos de instalação 61, 61A e 63, o método de referência é o D, conforme ilustrado na Tabela 2.2.

Em seguida, define-se o número de condutores carregados.

O próximo passo é a determinação do diâmetro do condutor, considerando a temperatura do meio onde será instalado. A determinação é feita utilizando-se tabelas. Existem diferentes tabelas, a depender do tipo do tipo de instalação, do tipo de isolamento, da temperatura ambiente de referência, da temperatura do condutor e do material.

Em seguida, deve-se determinar os fatores de correção, quando aplicável. Há três fatores de correção: em relação à temperatura, ao agrupamento dos cabos e à resistividade térmica do solo.

Quanto à temperatura ambiente, quando menor ela for, maior será o fator de correção. Isso acontece pois quando o cabo se encontra em menores temperaturas, seu aquecimento é menor, sendo possível usar condutores de diâmetros menores, haja vista a temperatura ambiente. A Tabela 2.3 apresenta os fatores de correção referentes à temperatura para linhas subterrâneas, em função do tipo de isolamento do condutor.

Tabela 2.3 - Fatores de correção para temperaturas ambientes diferentes de 30 °C para linhas não subterrâneas e de 20 °C (temperatura do solo) para linhas subterrâneas

Temperatura °C	Isolação	
	PVC	EPR ou XLPE
Do solo		
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	–	0,60
70	–	0,53
75	–	0,46
80	–	0,38

Fonte: Adaptado de NBR 5410 (ABNT, 2008)

Quanto aos fatores de agrupamento para cabos diretamente enterrados, o fator de correção diminui à medida que a distância entre os cabos é menor, bem como à medida que aumenta o número de circuitos. Essa relação é exibida na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Fatores de agrupamento para linhas com cabos diretamente enterrados

Número de circuitos	Distâncias entre cabos <sup>1)</sup> (a)				
	Nula	Um diâmetro de cabo	0,125 m	0,25 m	0,5 m
2	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
3	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
4	0,60	0,60	0,70	0,75	0,80
5	0,55	0,55	0,65	0,70	0,80
6	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80

<sup>1)</sup>

Cabos multipolares

Cabos unipolares

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

Fonte: Adaptado de NBR 5410 (ABNT, 2008)

Quanto aos fatores de agrupamento para cabos em eletrodutos enterrados, o mesmo fato supracitado ocorre. O fator de correção diminui à medida que a distância entre os cabos é menor, bem como à medida que aumenta o número de circuitos. Essa relação é exibida na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Fatores de agrupamento para linhas em eletrodutos enterrados

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

(a)

Cabos multipolares

Cabos unipolares

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

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

Fonte: Adaptado de NBR 5410 (ABNT, 2008)

Por fim, os fatores de correção para linhas subterrâneas devido à resistividade térmica do solo ser diferente de 2,5 K.m/W são exibidos na Tabela 2.6. Quanto maior é a resistividade térmica do solo, menor é o fator de correção (ABNT, 2008).

Tabela 2.6 - Fatores de correção para linhas enterradas em solo com resistividade térmica diferente de 2,5 K.m/W

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

NOTAS

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

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

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

Fonte: Adaptado de NBR 5410 (ABNT, 2008)

Após a obtenção de todos os fatores de correção, a corrente nominal calculada deve ser dividida pelo produto dos fatores de correção, conforme a Equação 1 NBR 5410 (ABNT, 2008).

$$I'_p = \frac{I_p}{k_1 \times k_2 \times k_3}$$

Onde:

$I'_p$  é a corrente nominal corrigida (A);

$I_p$  é a corrente nominal original (A);

$k_1$  é o fator de correção devido à temperatura (adimensional);

$k_2$  é o fator de correção devido ao agrupamento de condutores ou eletrodutos (adimensional);

$k_3$  é o fator de correção devido à resistividade térmica do solo (adimensional);

Considerando que, quanto maior a corrente nominal, maior deverá ser o diâmetro do cabo, pode-se estabelecer relações entre o diâmetro do cabo e as características físicas representadas pelos fatores de correção supracitados. O diâmetro do cabo deve aumentar quando se tem elevada temperatura do ambiente, bem como elevada resistividade térmica do solo. Ainda, o diâmetro deve aumentar pela diminuição na distância entre cabos e entre eletrodutos. Essa relação é ilustrada na Figura 2.6.

Figura 2.6 - Relação entre os fatores de correção e o diâmetro de cabos de baixa tensão, para cabos subterrâneos

↑ Diâmetro	↑ Temperatura do ambiente/solo	↓ Distância entre cabos	↓ Distância entre eletrodutos	↑ Resistividade térmica do solo
------------	--------------------------------------	----------------------------	-------------------------------------	------------------------------------

Fonte: do Autor.

Como segundo passo, para a determinação do diâmetro dos condutores pelo critério de limite de queda de tensão, deve-se calcular quanto de tensão é perdida ao longo do comprimento do cabo. A tensão entre o ponto inicial e o ponto final, onde o cabo está chegando varia entre



cinco e sete por cento, a depender dos componentes que o cabo está interligando. Caso a queda de tensão seja maior do que essa taxa, deve-se refazer o dimensionamento.

#### 2.2.2.2. Eletrodutos

Além do dimensionamento dos condutores, quando se opta pela utilização de cabos condutores subterrâneos com eletrodutos, necessita-se dimensionar os eletrodutos, bem como prever a instalação de caixas de passagem.

Quanto aos eletrodutos, a NBR 5410 (ABNT, 2008) determina que as dimensões internas dos eletrodutos e de suas conexões devem permitir que, após montagem da linha, os condutores possam ser instalados e retirados com facilidade (ABNT, 2008). As taxas máximas de ocupação são:

- 53% no caso de um condutor ou cabo;
- 31% no caso de dois condutores ou cabos;
- 40% no caso de três ou mais condutores ou cabos.

A taxa de ocupação do eletroduto é calculada dividindo-se a soma das áreas das seções transversais dos condutores previstos, calculadas com base no diâmetro externo, e a área útil da seção transversal do eletroduto.

A NBR 15465 (ABNT, 2008) especifica requerimentos e testes para eletrodutos plásticos de seção circular, utilizados em instalações, tanto enterradas quanto não-enterradas, para uso com cabos de baixa tensão (tensão até 1kV). A NBR 15465 (ABNT, 2008) classifica os eletrodutos em rígidos e flexíveis, além de indicar a aplicação adequada de acordo com a classificação do eletroduto. Além disso, indica codificação de cores que auxiliam na identificação do eletroduto. Por exemplo, para eletrodutos flexíveis corrugados, a cor preta indica classe de resistência mecânica alta, enquanto a cor amarela indica classe de resistência mecânica leve. Para eletrodutos rígidos, a única cor existente é a preta, a qual indica alta resistência mecânica.

A NBR 15465 (ABNT, 2008) ainda indica as formas de fornecimento dos eletrodutos. Para eletrodutos flexíveis, o fornecimento deve ser feito em bobinas de no máximo 100 metros. Para eletrodutos rígidos, devem ser fornecidas barras de três ou seis metros (ABNT, 2008). A Norma nota que acordos entre comprador e fornecedor podem justificar o fornecimento em comprimentos diferentes dos estabelecidos.

### 2.2.2.3. Caixas de passagem

Para permitir que os condutores possam ser instalados e com facilidade, a NBR 5410 (ABNT, 2008) padroniza a distância máxima de trinta metros entre caixas de passagem, para linhas retilíneas e externas. Caso os trechos incluam curvas, o limite de trinta metros deve ser reduzido em três metros para cada curva de 90° (ABNT, 2008).

Além disso, entre cada trecho delimitado por caixas de passagem, qualquer que seja essa combinação (caixa-caixa, caixa-extremidade ou extremidade-extremidade), são permitidas no máximo três curvas de 90°, ou seu equivalente até no máximo 270°. A NBR 5410 (ABNT, 2008) proíbe instalações com curvas com deflexão maior que 90°.

### 2.2.2.4. Cabo condutor e cabo de aterramento

Quanto aos cabos condutores em linhas enterradas (cabos condutores em eletrodutos enterrados ou cabos diretamente enterrados), admite-se apenas cabos unipolares ou multipolares. Outra especificação, no que tange o método de instalação para cabos diretamente enterrados, é que, para situações em que o cabo não tenha proteção mecânica adicional, apenas cabos armados são admitidos. Caso contrário, havendo proteção mecânica adicional, admite-se cabos diretamente enterrados.

Segundo a NBR 5410 (ABNT, 2008), a função do cabo de aterramento é conduzir correntes de falta à terra, sem risco choques elétricas, de danos térmicos, termomecânicos e eletromecânicos. A Norma indica os materiais a serem utilizados em cabos de aterramento, sendo eles o aço e o cobre. De acordo com a superfície dos cabos e da sua forma, a norma estabelece dimensões mínimas de diâmetro, seção transversal e espessura média do revestimento.

### 2.2.2.5. Proteção mecânica e fita de sinalização

Durante a etapa de reaterro, deve-se instalar camada mecânica de proteção mecânica adicional, como chapas de PVC, para a proteção dos cabos, quando eles foram diretamente enterrados. Além disso, a NBR 5410 (ABNT, 2008) determina que, em linhas enterradas, seja instalada fita de sinalização a dez centímetros, no mínimo, acima do cabo instalado.

#### 2.2.2.6. Dimensões da vala

Para os cabos de baixa tensão, a NBR 5410 (ABNT, 2008) requer profundidade mínima de setenta centímetros, e de cem centímetros caso a vala esteja sob algum acesso, como uma rodovia. Para os cabos de média tensão, a NBR 14039 (ABNT, 2005) requer profundidade mínima de noventa centímetros. A profundidade proposta pela Norma tem como motivação a prevenção contra os efeitos de movimentação de terra.

Outro ponto relacionado à profundidade é a resistividade térmica do solo. As profundidades mínimas são definidas para solos de resistividade térmica de 2,5 K.m/W e dutos com resistividade térmica de 1,2 K.m/W. Para solos e dutos com resistividade térmica diferentes, a profundidade mínima deve ser analisada.

Para as escavações superficiais, como é o caso das valas de baixa e média tensão em usinas fotovoltaicas, utilizava-se a NBR 9061 - Segurança de escavação a céu aberto, no entanto esta norma foi cancelada em 2013 sob a alegação de “Esta norma não mais é utilizada pelo setor” (GRANDISKI, 2014). Junto ao cancelamento, nenhuma outra norma foi indicada para substituí-la (GRANDISKI, 2014)

Quanto à segurança das paredes, Sabesp (s.d.), afirma que para escavações em solos instáveis, com profundidade maior que 1,25 m, as valas devem ser escoradas ou receber a aplicação de outros métodos que garantam a estabilidade dos taludes.

#### 2.2.2.7. Reaterro

O reaterro das valas deve ser feito em camadas de, no máximo, vinte centímetros. Sendo que cada camada deve ser compactada. Além disso, a depender da presença de materiais rochosos no solo escavado, é necessário fazer o peneiramento dele antes de utilizá-lo para reaterro. Pode-se também optar por não utilizar o material escavado, o que demanda que um material mais apropriado seja utilizado.

Para cabos lançados diretamente no solo, a Norma N-1996 (PETROBRÁS - COMISSÃO DE NORMALIZAÇÃO TÉCNICA, 1996) define que os cabos devem ser cobertos com misturas de areias naturais com granulometrias escolhidas a fim de se obter um alto grau de compactação do solo, com elevada densidade a seco.

A areia utilizada para o reaterro deve ser livre de matéria orgânica, pedras, entulho de construção e lixo. Caso a areia disponível não cumpra esses requisitos, o reaterro deve ser

realizado com areia de outro local (S. ENGENHARIA, 2018).

Quanto à classificação dos solos, o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) classifica-os em dois grandes grupos: solos de granulação grossa e solos de granulação fina. Dentro do primeiro grupo, estão as areias e os pedregulhos, enquanto dentro do segundo grupo estão os siltes e argilas e as turfas. A partir disso, deve-se identificar a qual dos 14 grupos existentes o solo pertence (PESSOA, 2004). Os grupos são identificados por duas letras, sendo a primeira relativa à granulometria e a segunda relativa à plasticidade.

Conforme descrito por Pessoa (2004), os solos com mais de 50% da fração fina retida na peneira de 0,075 mm são denominados pedregulhos (G) ou areias (S), podendo ser bem (W) ou mal (P) graduados. Por outro lado, os solos com mais de 50% da fração fina passando pela peneira de 0,075 mm são denominados siltes (M) ou argilas (C), que podem ser de alta (H) e baixa (L) plasticidade. Por último, têm-se os solos orgânicos (Pt). O Quadro 2.1 mostra os grupos de solo, bem como sua designação característica.

Quadro 2.1 - Quadro da Classificação Unificada dos Solos

Processo para identificação no campo				Grupo	Designação característica	
<b>SOLOS DE GRANULAÇÃO GROSSA</b> Mais de metade é maior que a abertura da peneira de malha nº 40	<b>PEDREGULHOS</b> Mais de metade da fração grosseira e maior que a # nº 10	<b>PEDREGULHOS Puros</b> (pouco ou nenhum fino)	Grãos cobrindo toda a escala de granulação com quantidade substancial de todas as partículas intermediárias	<b>GW</b>	Pedregulhos bem graduados, misturas de areia e pedregulho com pouco ou nenhum fino.	
			Predominância de um tamanho de grão ou graduação falhada (ausência de alguns tamanhos de grão)	<b>GP</b>	Pedregulhos mal graduados, misturas de pedregulho e areia com pouco ou nenhum fino.	
		<b>POREGULHOS COM FINOS</b> (apreciável quantidade de finos)	Finos não plásticos (ML ou MH).	<b>GF</b>	Pedregulhos siltosos, misturas de pedregulho, areia e silte mal graduados.	
			Finos plásticos (CL ou CH)	<b>GC</b>	Pedregulhos argilosos, misturas de pedregulho, areia e argila bem graduados.	
	<b>AREIAS</b> Mais de metade da fração grosseira menor que a # nº 10	<b>AREIAS Puras</b> (pouco ou nenhum fino)	Grãos cobrindo toda a escala de granulação com quantidade substancial de todas as partículas intermediárias	<b>SW</b>	Areias bem graduadas, areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.	
			Predominância de um grão ou graduação falhada	<b>SP</b>	Areias mal graduadas, areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.	
		<b>AREIA COM FINOS</b> (apreciável quantidade de finos)	Finos não plásticos (ML ou MH)	<b>SF</b>	Areias siltosas, misturas mal graduadas de areia e silte.	
			Finos plásticos (CL ou CH ou OH)	<b>SC</b>	Areias argilosas, misturas bem graduadas de areia e argila.	
	<b>SOLOS DE GRANULAÇÃO FINA</b> Mais de metade do material é menor que a abertura de malha nº 200	Processo de identificação executado sobre a fração < # nº 40			A abertura da malha # nº 200 corresponde aproximadamente à menor partícula visível a olho nu	
		<b>ENSAIO EXPEDITO</b> ↓	<b>RESISTENCIA a SECO</b> (esmagamento pelos dedos)	<b>DILATANCIA (DILAÇÃO)</b> (sacudindo na palma da mão)	<b>RIGIDEZ</b> (consistência na proximidade do LP)	
<b>SILTES E ARGILAS</b> Limite de Liquidez menor que 50		nenhuma a pequena	rápida a lenta	nenhuma	<b>ML</b>	Siltos inorgânicos e areias muito finas, alteração de rocha, areias finas, siltos ou argilas com pequena plasticidade.
		média a elevada	Nenhuma a muito lenta	média	<b>CL</b>	Argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade, argilas pedregulhosas, argilas arenosas, argilas siltosas, argilas magras.
		Pequena a média	lenta	pequena	<b>OL</b>	Siltos orgânicos e siltos argilosos orgânicos de baixa plasticidade
<b>SILTES E ARGILAS</b> Limite de liquidez maior que 50		Pequena a média	Lenta a nenhuma	Pequena a média	<b>MH</b>	Siltos inorgânicos, micáceos ou diatomáceos, finos arenosos ou solos siltosos, siltos elásticos.
		Elevada a muito elevada	nenhuma	elevada	<b>CH</b>	Argilas inorgânicas de alta plasticidade, argilas gordas.
		Média a elevada	Nenhuma a muito lenta	Pequena a média	<b>OH</b>	Argilas orgânicas de média e alta plasticidade
<b>TURFAS</b>		Facilmente identificáveis pela cor, cheiro, porosidade e frequentemente pela textura fibrosa.			<b>Pt</b>	Solos com elevado teor de matéria orgânica

Fonte: Adaptado de Vargas (1977)

### 2.3. Métodos de instalação de condutores subterrâneos

Quanto ao tipo de instalação de cabos condutores de baixa tensão subterrâneos, a NBR 5410 (ABNT, 2008) cita duas opções: cabos em eletroduto ou em canaleta não ventilada enterrado e cabos diretamente enterrados, com proteção mecânica adicional. A definição do

tipo de instalação fica a critério do projetista, desde que respeite as indicações da Norma.

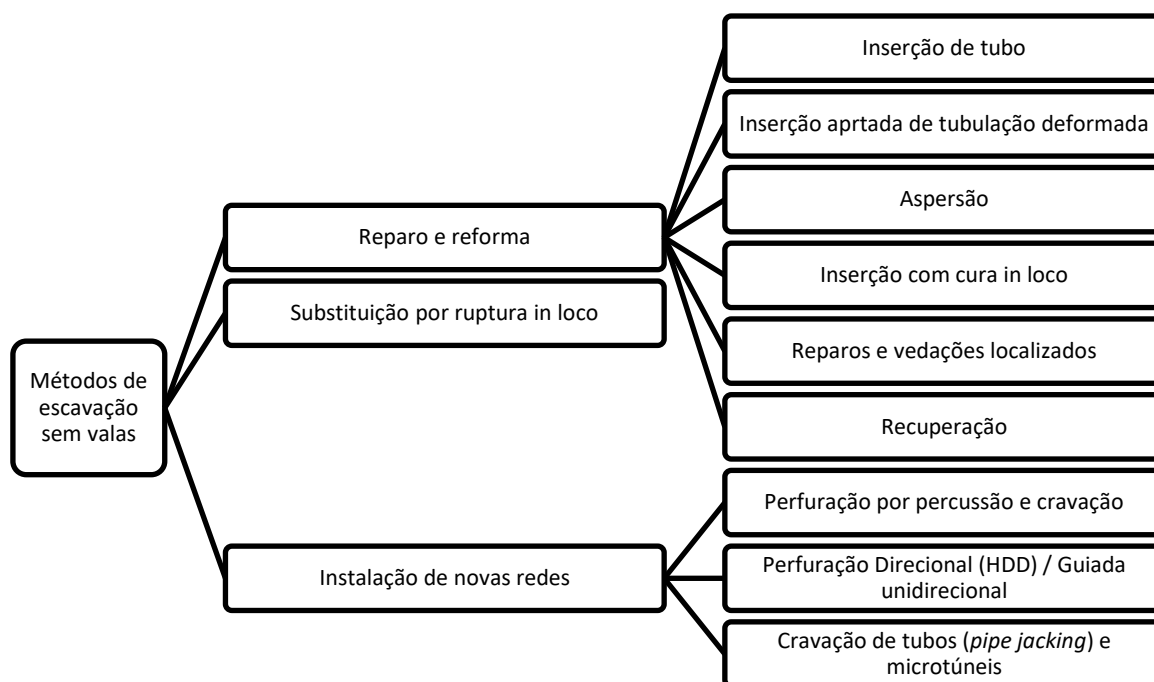
Quanto ao método de instalação, Dezotti (2008) afirma que a seleção do método depende das condições específicas de cada projeto, considerando as características do solo, o diâmetro do duto, o comprimento dos dutos, o prazo de execução e a disponibilidade local do método construtivo. Segundo Sanz (2017), os métodos existentes para instalação de cabos enterrados podem ser classificados em dois grupos: instalação por métodos de escavação sem vala e instalação por abertura de valas (método tradicional).

### 2.3.1. Métodos de escavação sem valas

Por outro lado, os métodos de escavação sem vala são caracterizados como o conjunto de métodos, materiais e equipamentos que podem ser aplicados na instalação, reparação e substituição de tubos, dutos e cabos subterrâneos, mediante da aplicação de técnicas que reduzam ou eliminem a necessidade de instalação (ABRATT, s.d.). Os métodos de escavação sem valas podem ser divididos em três grandes grupos: reparo e reforma, substituição por ruptura *in loco* e instalação de novas redes.

No primeiro grupo, incluem-se os métodos de revestimento por inserção de tubo, revestimento por inserção apertada de tubulação deformada (*Close-fit lining*), revestimento por aspersão (*Spray lining*), revestimento por inserção com cura *in loco* (*Cured-in-place-pipe*), reparos e vedações localizados e recuperação de tubos de grande diâmetro e de poços de visita. No segundo grupo, há apenas o método de substituição por ruptura *in loco* pelo mesmo caminhamento (*online replacement*). No terceiro grupo, há o método de perfuração por percussão e cravação, perfuração direcional (HDD) ou perfuração guiada unidirecional, cravação por tubos (*pipejacking*) e micro-túneis. Tais agrupamentos e métodos são ilustrados na Figura 2.7.

Figura 2.7 - Métodos de escavação sem valas para instalação de cabos enterrados



Fonte: Adaptado de Sanz (2017)

Dentre os grupos de métodos de escavação sem valas, o grupo da instalação de novas redes é o que tem maior similaridade com o assunto de interesse do presente trabalho. Dessa forma, mais detalhes são fornecidos acerca dos métodos desse grupo. Por outro lado, os métodos dos grupos “reparo e reforma” e “substituição por ruptura in loco”, devido a sua aplicabilidade não ser comum no tópico de estudo deste trabalho, eles não são detalhados.

Quanto aos métodos do grupo de “instalação de novas redes”, no método de perfuração por percussão e cravação, utiliza-se haste metálica, de pequeno diâmetro, a qual é pressionada contra o solo a partir de força aplicada por martelo de percussão. Conforme a haste metálica move-se à frente, a tubulação é posicionada no buraco aberto (ALLOUCHE; ARIARATNAM, 2002).

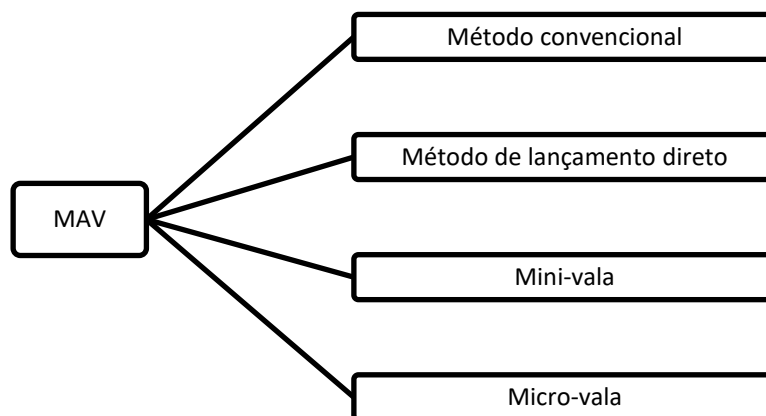
Em geral, o método de Perfuração Direcional Horizontal (HDD) consiste em um sistema guiado para a instalação de tubulações e cabos a uma profundidade rasa, utilizando-se um equipamento de escavação. Inicialmente se escava um furo piloto, com diâmetro entre 25 e 125 mm, com auxílio de uma máquina de escavação, o qual é alargado no sentido inverso até o tamanho necessário para a tubulação ou os cabos a serem instalados (RAFLE, 2017). Com o método HDD, o diâmetro do furo pode variar de 5 a 120 cm (NAJAFI, 2017).

Os métodos do grupo de *Pipe Jacking*, em geral, consistem na instalação direta de tubos a partir da aplicação de forças de compressão, com equipamentos hidráulicos, formando uma linha contínua no solo. Após cravar o tubo, é necessário remover o solo do seu interior. Quanto ao método de microtúnel, este consiste na instalação de tubulações mediante do uso de máquinas microtuneladoras (conhecidas como MTBM), as quais são empurradas pelo solo utilizando-se um sistema de bombeamento. Ao mesmo tempo em que o solo é escavado, os dutos são instalados (RAFLE, 2017).

### 2.3.2. Métodos por abertura de valas

O método por abertura de valas, também chamado de MAV, consiste nas etapas de escavação da vala, lançamento do duto (ou do próprio cabo, quando diretamente enterrado), reaterro e compactação (BASCUM; WILLIAMS; KWILINSKI, 2016). Devido às suas características, esse método implica na perturbação do estado normal da superfície do solo, o que, em áreas urbanas, pode ser um problema. Dentre os métodos de execução dentro dessa categoria, existem a mini vala, a micro vala, o método convencional e o método de lançamento direto (HASANUZZAMAN, 2016). Tais métodos são ilustrados na Figura 2.8.

Figura 2.8 - Métodos com abertura de vala para instalação de cabos enterrados

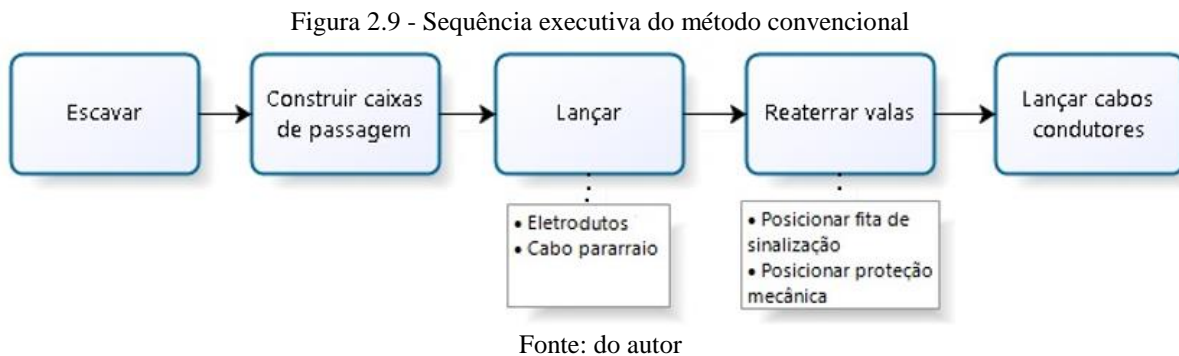


Fonte: Adaptado de Hasanuzzaman (2016)



### 3.3.2.1 Método convencional

De acordo com Bascom, Williams e Kwilinski (2016), cabos subterrâneos são comumente instalados mediante do método convencional, em que algum tipo de retroescavadeira é utilizada para construir valas dentro das quais passam condutos, canos, ou cabos condutores. A sequência executiva do método convencional é ilustrada na Figura 2.9.



Assim como indica Bascom, Williams e Kwilinski (2016), segundo S. Engenharia (2018), a primeira etapa do processo de escavação é usualmente realizada com máquina retroescavadeira. O material escavado, a depender de sua qualidade, pode ser reaproveitado ou não. Caso não seja possível reaproveitar o material para a etapa do reaterro das valas, será necessário remover o material, o que pode ser feito com o auxílio de máquinas carregadeiras e caminhões caçamba.

A profundidade da escavação será função do que foi projetado pelo projetista elétrico, em respeito às limitações normativas.

No método convencional, o processo de construção de caixa de passagem é feito, em grande parte, manualmente. A caixa de passagem pode ser do tipo pré-moldada de concreto, polimérica ou produzida *in loco*.

O lançamento dos eletrodutos é feito de forma manual, pelos operários. Para posicionar o eletroduto, é necessário que o operário entre na vala, de forma a mantê-lo na posição de interesse. Juntamente ao posicionamento dos eletrodutos, deve ser posicionado o cabo de aterramento. Segundo Bascom e Antoniello (2011), a utilização de cabos enterrados usualmente requer que longos trechos de vala permaneçam abertas até o lançamento dos cabos. Para diminuir o tempo que as valas permanecem abertas, utilizam-se eletrodutos, os quais permitem que a vala seja fechada e que o cabo seja posteriormente lançado (BASCOM;

ANTONIELLO, 2011). Os eletrodutos instalados contam com cabos guias internos, que auxiliam o posterior puxamento dos cabos (PETROBRÁS - COMISSÃO DE NORMALIZAÇÃO TÉCNICA, 1996). A Figura 2.10 mostra o processo de posicionamento dos eletrodutos dentro das valas, e a Figura 2.11 exibe a vala com eletrodutos posicionados.

Figura 2.10 - Lançamento de eletrodutos no método convencional



Fonte: S. Engenharia (2018)

Figura 2.11 – Eletrodutos posicionados em vala escavada pelo método convencional



Fonte: S. Engenharia (2018)

Segundo S. Engenharia (2018), a compactação é feita por compactador mecânico, do tipo sapo, o qual é operado pelos operários. A Figura 2.12 mostra os dispositivos de proteção mecânica posicionados dentro da vala, e a Figura 2.13 mostra o processo de compactação.

Figura 2.12 - Instalação da proteção mecânica em vala escavada pelo método convencional



Fonte: S. Engenharia (2018)

Figura 2.13 - Compactação do reaterro em vala escavada pelo método convencional



Fonte: S. Engenharia (2018)

Após a etapa de reaterro, pode ser necessário fazer recuperação da superfície, fazendo-se plantio de vegetação. Além disso, após o reaterro das valas, inicia-se a etapa de lançamento de condutores, o que é feito a partir dos cabos guia existentes dentro dos eletrodutos instalados. Os condutores são lançados manualmente pelos operários, sendo lançados trecho a trecho, entre as caixas de passagem. Os cabos não podem sofrer torção e curvatura acima dos limites previstos na NBR 9511 (ABNT, 1997). Dessa forma, o trabalho de lançamento dos cabos deve ser feito de forma cuidadosa.

Usualmente, os cabos estão em bobinas, as quais são pesadas, dificultando seu manuseio pelos operários. Dessa forma, utiliza-se equipamento para realizar a movimentação das bobinas. Segundo S. Engenharia (2018), utiliza-se caminhão *munck* e, acoplado a ele, um suporte para as bobinas. O puxamento dos cabos mediante dos eletrodutos utiliza grande quantidade de mão de obra, dado que são necessários operários dentro das caixas de passagem, puxando os cabos, além de operários fora da caixa de passagem, para mover os cabos e assegurar que eles não sejam danificados devido aos movimentos. A Figura 2.14 mostra operários realizando o puxamento dos cabos condutores.

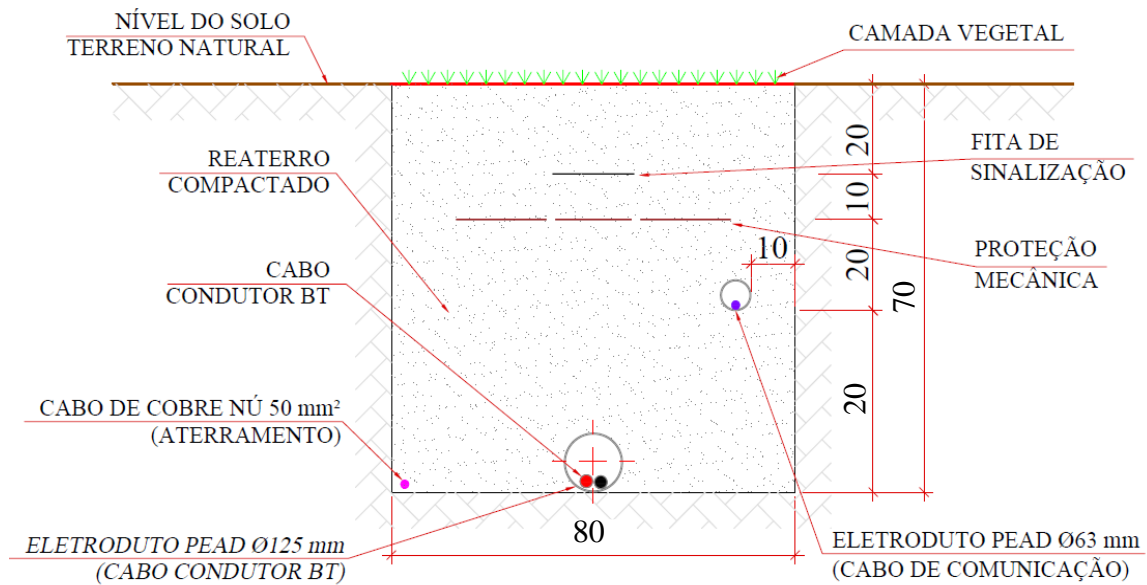
Figura 2.14 - Instalação dos cabos condutores nos eletrodutos em vala escavada pelo método convencional



Fonte: S. Engenharia (2018)

Após o lançamento dos cabos condutores, o serviço de escavação de vala e de lançamento de cabo está concluído. Um exemplo de produto obtido a partir da execução do processo supracitado é ilustrado na Figura 2.15.

Figura 2.15 - Seção transversal da vala escavada pelo método convencional

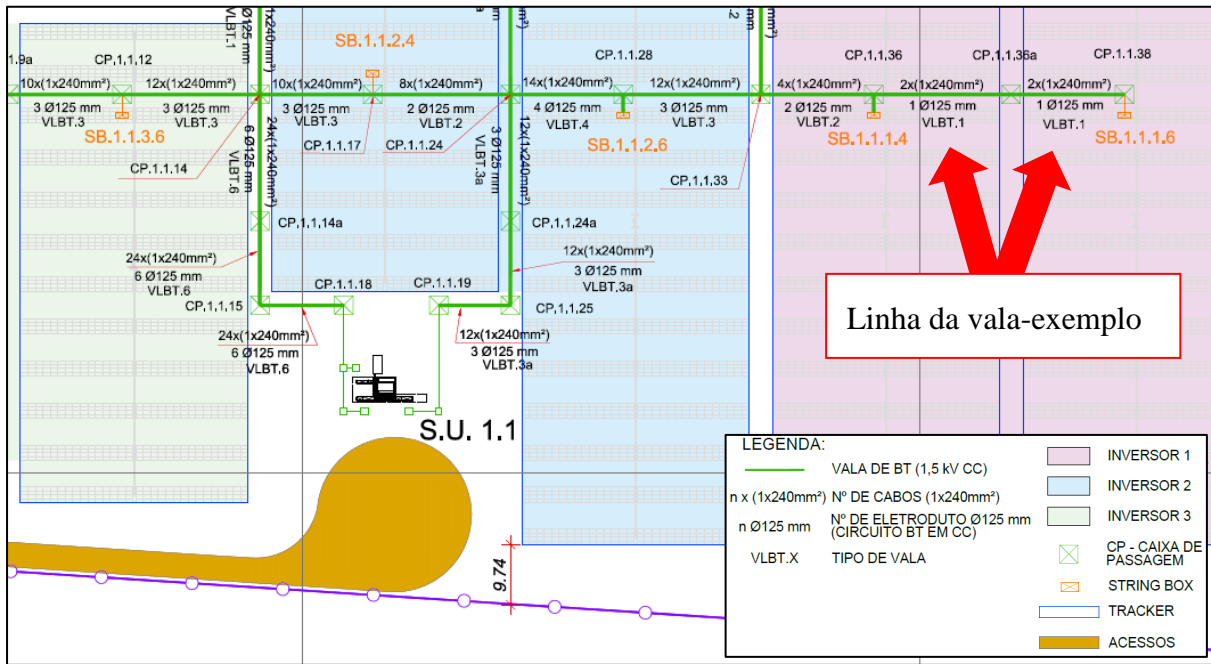


Fonte: Adaptado de S. Engenharia (2018)

A vala de baixa tensão utilizada como exemplo de produto obtido mediante do método convencional é composta por diversos elementos, sendo eles: cabo de cobre nú, eletroduto PEAD  $\phi 125\text{mm}$ , cabos condutores de baixa tensão, eletroduto PEAD  $\phi 63\text{mm}$ , cabo de comunicação, reaterro compactado, proteção mecânica (placas de PVC), fita de sinalização e camada vegetal de cobertura (S. ENGENHARIA, 2018). Quanto às dimensões, a vala tem setenta centímetros de largura e setenta centímetros de profundidade, conforme estabelece a NBR 5410 (ABNT, 2008) para a profundidade das valas de Baixa Tensão.

Para contribuir com a compreensão do produto, exibe-se, na Figura 2.16, um detalhe do layout de um parque fotovoltaico, indicando a qual vala a seção transversal da Figura 2.16 faz referência. No layout, as linhas verdes indicam as valas, as quais levam os cabos até a subestação unitária.

Figura 2.16 - Layout de parte da usina fotovoltaica, com foco nas valas-exemplo



Fonte: Adaptado de S. Engenharia (2018)

Ainda, a título de facilitar a compreensão do leitor acerca do tópico, a Figura 2.17 mostra, em uma visão aérea, as valas “abertas” em uma usina fotovoltaica.

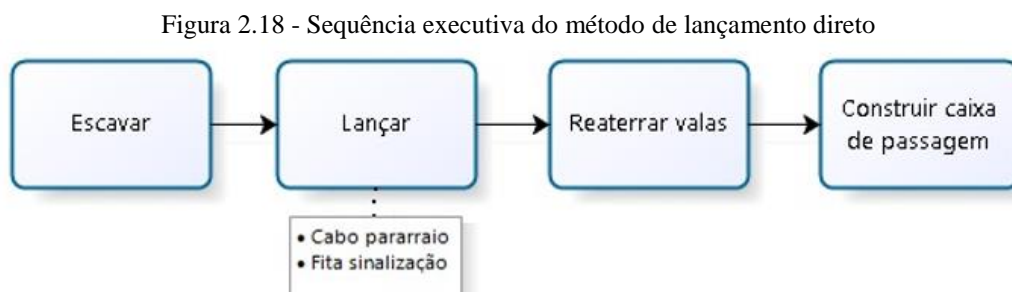
Figura 2.17 - Valas abertas em usina fotovoltaica



Fonte: S. Engenharia (2018)

### 3.3.2.2 Método de lançamento direto

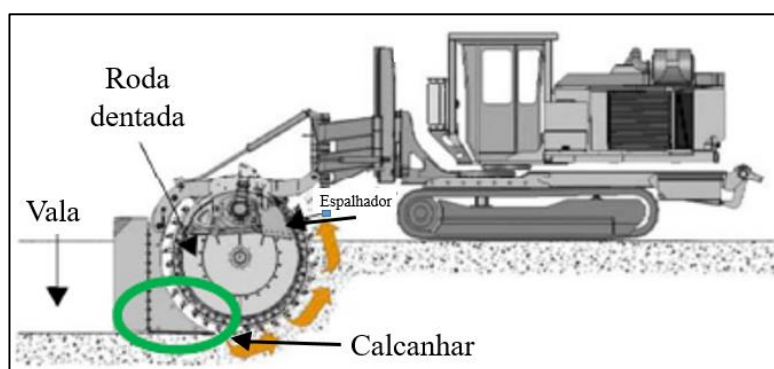
A sequência executiva do método de lançamento direto é ilustrada na Figura 2.18.



Fonte: Adaptado de Tesmec & Marais (2018)

Segundo Tesmec & Marais (2018), o processo de escavação é realizado com máquina valetadeira, com roda dentada, a qual tem diferentes funções, como a escavação e a manutenção das dimensões das valas. A valetadeira faz a escavação a partir de uma roda dentada e de um acessório chamado calcanhar. As dimensões das valas podem ser alteradas a partir da regulação desses dois elementos (TESMEC & MARAIS, 2018). O calcanhar faz a regularização do fundo da vala, empurrando para baixo eventuais rochas, evitando que os cabos fiquem em contato com alguma rocha, prejudicando sua durabilidade. A largura da vala é função do tamanho da roda dentada utilizada. Um exemplo de máquina valetadeira com escavação a partir de roda dentada é exibido na Figura 2.19.

Figura 2.19 - Exemplo de máquina valetadeira utilizada no método de lançamento direto



Fonte: Adaptado de Tesmec & Marais (2018)

Acoplada à máquina valetadeira, existe um acessório chamado de caixa de lançamento (*laying box*), a qual tem como função lançar os cabos dentro da vala, mantendo-os organizados, tanto em relação à manutenção das distâncias mínimas exigidas quanto em relação à profundidade na qual cada cabo deve estar (TESMEC & MARAIS, 2018).

Para o processo de lançamento é utilizada caixa de lançamento juntamente de dois equipamentos auxiliares: máquina *wrapping* (cujo uso é opcional, a depender do tipo de cabo sendo lançado) e máquina carregadora de bobina. As máquinas *wrapping* são utilizadas para agrupar os cabos puxados a partir das bobinas, e são mais comumente utilizadas para instalação de cabos de média tensão, cujo diâmetro é maior. A máquina agrupa os condutores e amarra-os entre si, facilitando o processo de lançamento. Por último, a máquina carregadora de bobinas serve para carregar as bobinas dos cabos que serão lançados (TESMEC & MARAIS, 2018). Usualmente, as bobinas de cabos são muito pesadas, tornando difícil sua movimentação sem a utilização de equipamentos específicos.

Antes de chegarem à vala, os cabos são separados e distanciados entre si, conforme exhibe-se na Figura 2.20 e na Figura 2.21.

Figura 2.20 - Detalhe da separação dos cabos (organização dos cabos que vem da máquina *wrapping*)



Fonte: Adaptado de Tesmec & Marais (2018)

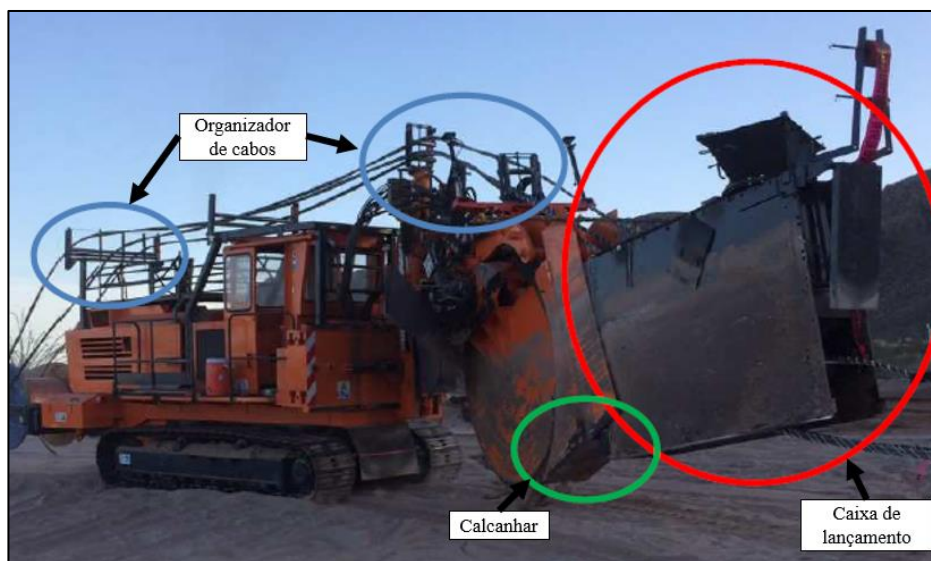
Figura 2.21 - Detalhe da separação dos cabos (organização dos cabos antes de chegarem à caixa de lançamento)



Fonte: Adaptado de Tesmec & Marais (2018)

Após serem separados, os cabos seguem para a caixa de lançamento, na qual são colocados em posição para serem lançados. A Figura 2.22 ilustra a caixa de lançamento, acoplada à máquina valetadeira.

Figura 2.22 - Máquina valetadeira com acessórios identificados



Fonte: Adaptado de Tesmec & Marais (2018)

O processo de reaterro da vala ocorre paralelamente ao lançamento, pois, para suportar os cabos em suas posições, é necessário que as valas estejam preenchidas (TESMEC & MARAIS, 2018). Para isso, a caixa de lançamento conta com um sistema de abastecimento de areia, facilitando o processo de reaterro da vala. Segundo Minizanzas (2018), a partir do uso da roda dentada, escarifica-se o solo, de maneira que ele possa ser reutilizado para reaterro. Dessa forma, caso o solo removido seja arenoso e sem impurezas, ele pode ser utilizado para reaterro (MINIZANJAS, 2018). Caso contrário, é necessário que se traga material apropriado até o local de instalação. Nessa situação, podem ser utilizados retroescavadeiras e caminhões caçamba para trazer solo apropriado até a vala.

Segundo a NBR 5410 (ABNT, 2008), para cabos diretamente enterrados, quando não é utilizada proteção mecânica adicional, deve-se utilizar cabos armados. Por conta dessa especificação técnica, pode-se optar por instalar a proteção mecânica manualmente ou utilizar cabos armados.

Segundo Tesmec & Marais (2018), a fita de sinalização é instalada diretamente, partir da caixa de lançamento.

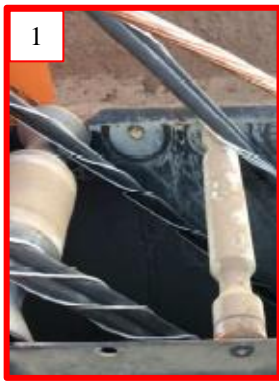
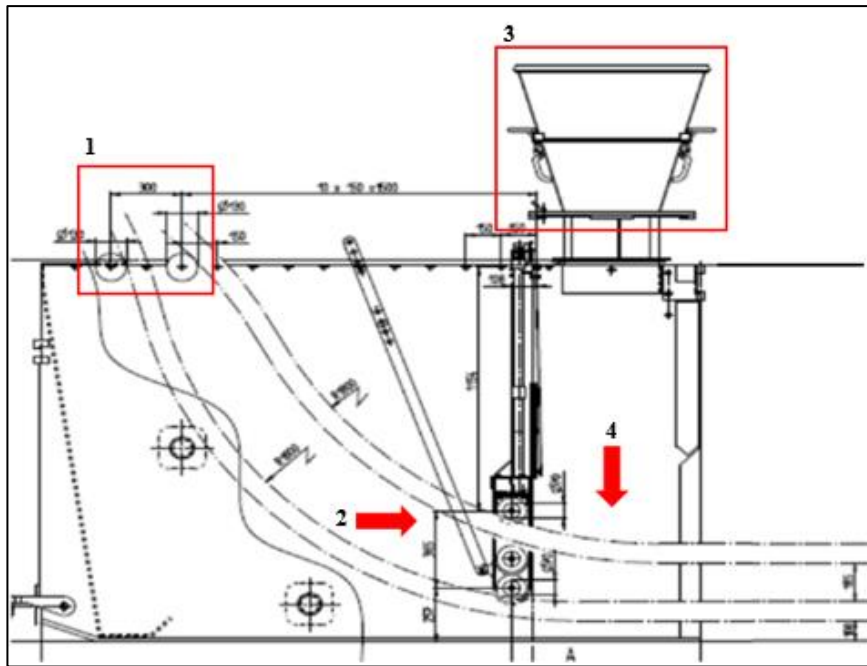
Quanto ao processo de compactação, pode-se executá-lo com equipamento específico para essa função (MARAIS, 2018), ou, igualmente ao que é feito no método convencional, com compactador mecânico (S. ENGENHARIA, 2018).



As caixas de passagem devem ser executadas apenas em locais onde haja emenda nos condutores, de acordo com a NBR 5410 (ABNT, 2008). Para execução da caixa de passagem, deve-se deixar sem reaterro as áreas em que as caixas de passagem serão instaladas.

A Figura 2.23 ilustra como os cabos são organizados na entrada (1) e na saída (2 e 4) da caixa, além de ilustrar o sistema de regulação de areia (3).

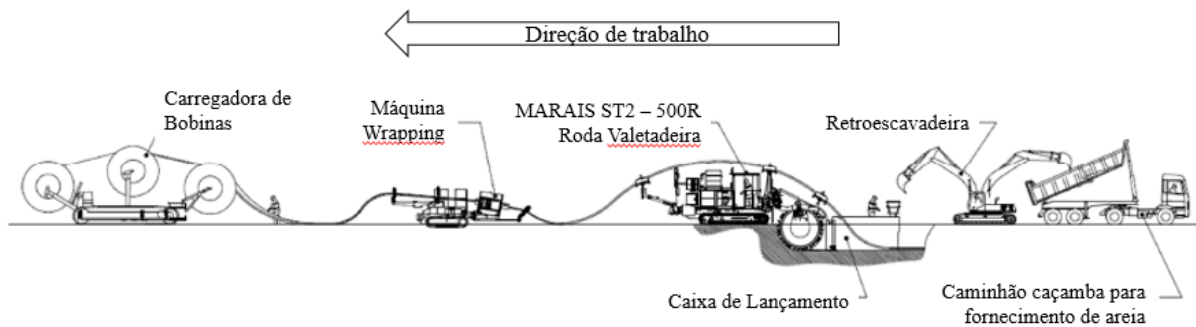
Figura 2.23 - Detalhes do posicionamento dos cabos na caixa de lançamento



Fonte: Adaptado de Tesmec & Marais (2018)

As informações supracitadas referentes ao processo de construção resumo são ilustradas na Figura 2.24. A partir da Figura 2.24, pode-se compreender como os equipamentos são utilizados e como devem ficar dispostos, de acordo com a direção de trabalho.

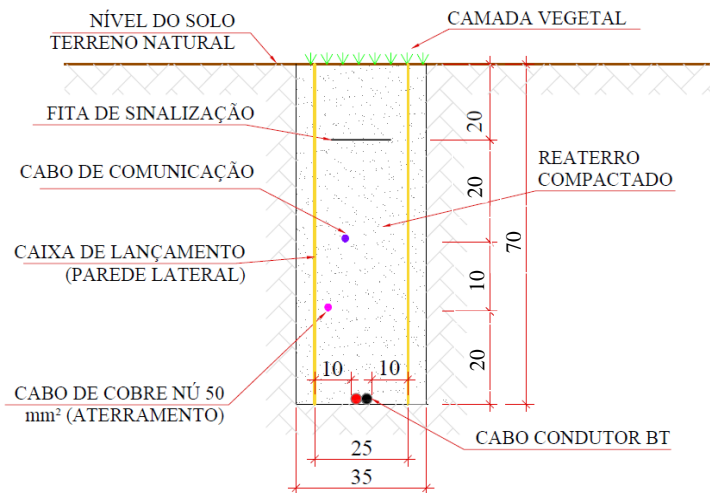
Figura 2.24 - Exemplo de estrutura padrão de trabalho com utilização de máquinas valetadeiras, *wrapping* e carregadoras de bobinas



Fonte: Adaptado de Tesmec & Marais (2018)

A vala obtida a partir da execução do método é ilustrada na Figura 2.25.

Figura 2.25 - Seção transversal de vale de baixa tensão executada com valetadeira e caixa de lançamento



Fonte: Adaptado de Tesmec & Marais (2018)

A vala de baixa tensão é composta por diversos elementos, sendo eles: cabo de cobre nú, cabos condutores de baixa tensão armados, cabo de comunicação armado, reaterro compactado, fita de sinalização e camada vegetal de cobertura. Quanto às dimensões, utilizando

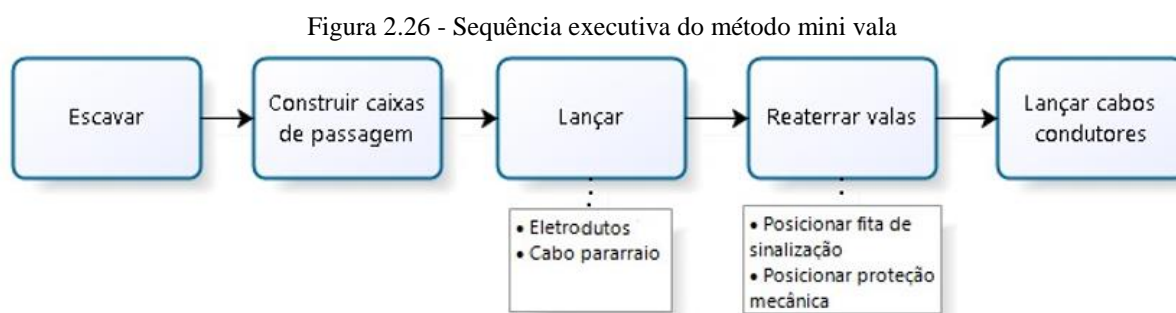
o equipamento em análise, a vala pode ter entre 18 e 55 centímetros de largura e até 1,60 metros de profundidade (TESMEC & MARAIS, 2018).

Segundo Marais (2018), entre as vantagens do método de lançamento direto em relação ao método convencional, estão a velocidade, a facilidade, segurança e qualidade. Quanto à velocidade, o método produz entre 300 metros (em solos rígidos) e 2500 metros (em solo mole), permitindo execução rápida das valas. Quanto à facilidade, tem-se menor quantidade de operários, menos material para processar e menos caminhões transitando no canteiro. Em relação à segurança, no método de lançamento direto não é necessário que o operário entre na vala escavada, o que evita acidentes no canteiro de obras. Por último, quanto à qualidade, Marais (2018) afirma que os cabos são posicionados precisamente de acordo com as especificações, garantindo que a vala executada seja conforme o projetado.

### 3.3.2.3 Método mini-vala

Mini valas são valas cuja largura varia entre 7 e 35 centímetros e a profundidade máxima é de 130 centímetros (MICROZANJAS, 2018). Neste método, a escavação da vala pode ser executada tanto com roda dentada, a qual tem limitação de tamanho, e com correia dentada, a qual permite escavar valas com maiores largura e profundidade (MICROZANJAS, 2018).

A seqüência executiva do método é ilustrada na Figura 2.26.



Fonte: Adaptado de Microzanjas (2018)

O processo de escavação é realizado com valetadeiras de corrente dentada, seguindo as prescrições de profundidade e largura descritas no projeto executivo. Um exemplo de máquina valetadeira utilizado no método de mini vala é exibido na Figura 2.27.

Figura 2.27 - Máquina valetadeira com corrente dentada utilizada no método mini-vala



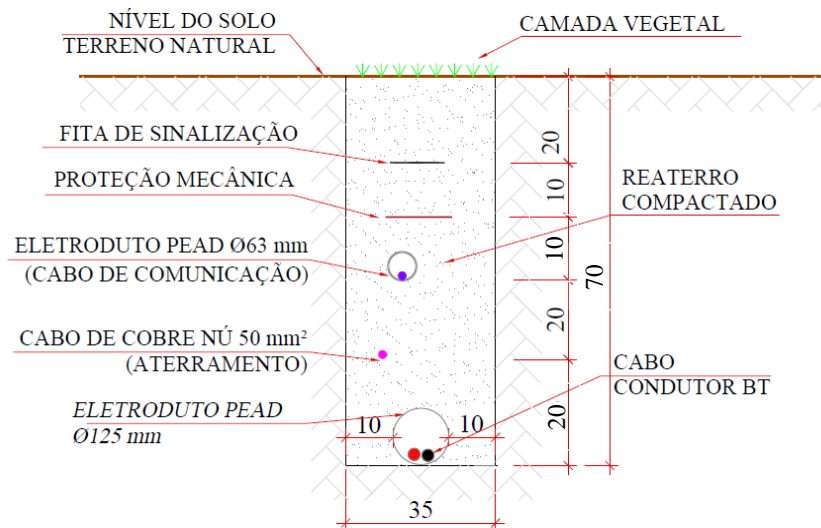
Fonte: Microzanjas (2018)

As demais etapas da sequência são executadas conforme o método convencional, obedecendo-se às mesmas regras.

Entre as vantagens do método, segundo Microzanjas (2018), está a possibilidade de a máquina valetadeira ter trabalhabilidade em praticamente todo o tipo de terreno. Além disso, há a vantagem de se ter menor quantidade de solo removido, devido à menor dimensão da vala.

A vala obtida a partir da execução do método é ilustrada na Figura 2.28.

Figura 2.28 - Seção transversal da vala de baixa tensão executada com valetadeira de corrente



Fonte: Adaptado de Microzanjas (2018).

### 3.3.2.4 Método micro-vala

No método da micro-vala, as valas abertas têm usualmente dois centímetros de largura e profundidade entre doze e trinta centímetros. Seu uso é destinado à instalação de cabos de fibra óptica ou de cabos condutores (ainda que menos comumente) em regiões urbanas, sem perturbação e danos às demais redes subterrâneas existentes (HASANUZZAMAN, 2016). A técnica da mini-vala é trinta vezes mais rápida e cinco vezes mais barata que o método convencional (McDONNELL, 2009). Isso acontece pelo fato de menos material precisar ser escavado, por haver menor impacto na estrutura urbana e pela menor área a recuperar após a escavação. A Figura 2.29 ilustra o procedimento de execução de micro-valas.

Figura 2.29 - Procedimento de execução de micro-valas



Fonte: Adaptado de Hasanuzzaman (2016)

Apesar das características atrativas de produtividade e custo, a aplicação em solos granulares é desafiadora, podendo dificultar a execução do método devido à possibilidade de deposição de materiais dentro da vala (DCMS, 2011).

## 2.4. Critérios para comparação

Segundo Barros Neto, Fensterseifer e Formoso (2003), em busca de tornar-se competitiva, uma empresa deve definir prioridades competitivas, ou seja, os critérios que a empresa deve valorizar para competir no mercado. Para essa definição, a empresa deve avaliar fatores como competências internas, o mercado de atuação, os concorrentes no mercado e o produto produzido por ela, de forma a aproveitar seus recursos, capacidade e oportunidades. Para Piana e Erdmann (2011), a integração entre as áreas de uma organização é necessária

devido à dimensão global da competição, e para isso é necessário observar quais são as prioridades competitivas que afetam essas áreas.

Prioridades competitivas são objetivos que as empresas devem buscar fortemente, com o intuito de aumentar sua competitividade e, como consequência, sua participação no mercado. Slack et al. (1997) define cinco prioridades competitivas: qualidade, velocidade, confiabilidade, flexibilidade e custo. Cada uma das propriedades listadas tem seus critérios e especificidades, haja vista que suas definições são amplas e genéricas (BARROS NETO; FENSTERSEIFER; FORMOSO, 2003).

Slack et al. (1993), ao mostrar a existência de ligação entre a visão de negócio e a visão operacional das empresas, evidencia a importância que se deve atribuir à produção como fonte de vantagens competitivas. Por conta disso, nem sempre a busca pela redução de custos é o principal objetivo competitivo da produção, dado que pode haver demais objetivos que atendam melhor ao que a empresa busca.

O critério qualidade significa fazer corretamente o que deve ser feito, entregar bens ou serviços conforme as especificações ou as necessidades dos clientes e fazer produtos que, realmente, os clientes desejam, sem cometer erros, e de boa qualidade. Quanto ao quesito qualidade, Picchi (1993) segmenta a qualidade em três componentes: qualidade do projeto, qualidade de conformação e qualidade de serviços. O primeiro componente se refere ao grau em que o produto, com suas características, atende às necessidades dos clientes; o segundo abrange aspectos de atendimento às especificações e ao projeto, além da eficiência do processo; o terceiro envolve atendimento e informação ao consumidor.

O critério da velocidade significa o tempo que o cliente deve esperar desde a requisição pelo produto até o recebimento efetivo do produto. Esse critério demonstra a capacidade da empresa fazer certa atividade mais rápido do que concorrência. Segundo Barros Neto, Fensterseifer e Formoso (2003), em nichos de mercado em que os empreendimentos precisam de um retorno rápido do investimento esse critério é valorizado.

O critério da confiabilidade significa produzir e entregar bens e/ou serviços em tempo hábil e nos prazos prometidos. Em muitas indústrias, esse critério é considerado como critério qualificador, porém, na indústria da construção, o prazo de entrega é comumente negligenciado pelas empresas. Dessa forma, a confiabilidade de entrega no prazo pode ser explorada como critério ganhador de pedido (BARROS NETO; FENSTERSEIFER; FORMOSO, 2003).

O critério da flexibilidade significa ser capaz de atender a mudanças de produtos ou de

serviços, como ampliação ou redução do *mix* de produtos ou serviços, dos prazos de entrega, dos volumes de produção, e estar apto a mudanças quando for necessário, e com a rapidez suficiente. Barros Neto, Fensterseifer e Formoso (2003), definem alguns tipos de flexibilidade, haja vista que o conceito de flexibilidade é bastante amplo: flexibilidade de produto, flexibilidade de *mix*, flexibilidade de entrega e de volume de produção. A flexibilidade de produto refere-se à facilidade com que a empresa consegue adaptar seus produtos a um grupo de clientes ou a um cliente individualmente. Esse tipo de flexibilidade é a mais evidenciada em obras de construção de edifícios (BARROS NETO; FENSTERSEIFER; FORMOSO, 2003).

O critério de custo significa a capacidade de produzir bens e serviços a custos mais baixos do que os concorrentes conseguem administrar. Quanto ao critério de custo, a produção tem importante papel na redução de custos envolvidos, buscando alternativas que sejam menos custosas e que se adequem ao fluxo de caixa das empresas. Esse critério demonstra a capacidade de a empresa ser produtiva, produzindo mais e utilizando menos recursos. Segundo Barros Neto, Fensterseifer e Formoso (2003), uma empresa pode investir em processos construtivos e equipamentos que possibilitem que as atividades sejam executadas mais próximas dos períodos finais da obra. Dessa forma, a empresa se capitalizará no início e poderá concentrar as despesas no final da obra, reduzindo seus custos e garantindo maior retorno financeiro.

Segundo Slack et al. (1997), ao alcançar esses cinco objetivos, a organização consegue alcançar patamares de superioridade no mercado.

Além de custos, qualidade e flexibilidade, Davis (2001) cita o serviço e a entrega (similar ao fator rapidez, citado por Slack et al. (1997)) como prioridades competitivas. O autor considera o critério do serviço referindo-se à forma que os produtos são entregues e acompanhados.

## **2.5. Procedimentos para tomada de decisão**

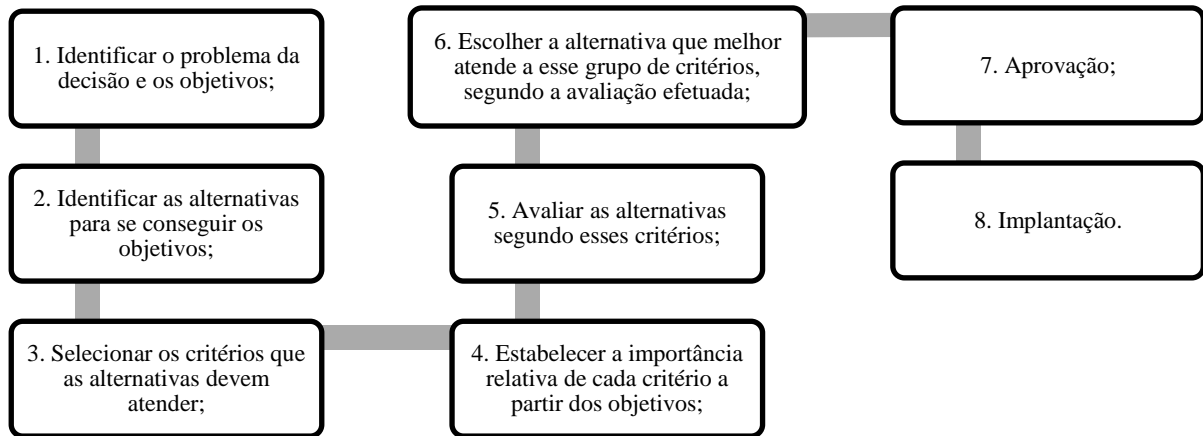
Diversos métodos para tomada de decisão existem. Segundo Triantaphyllou (2000), há três passos na utilização de qualquer técnica de tomada de decisão envolvendo análise numérica de alternativas, sendo eles: determinação dos critérios e das alternativas relevantes (1), definir medidas numéricas à importância relativa dos critérios e aos impactos das alternativas nesses critérios (2) e processar os valores numéricos para determinar a avaliação de cada alternativa (3).

Souza (2003) também propõe um método de tomada de decisão segmentado em três



fases: formulação do problema, formulação da decisão e implantação. Tais fases são divididas em oito etapas, conforme Figura 2.30.

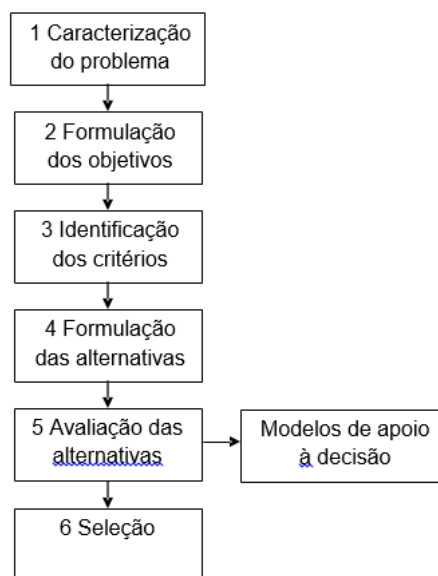
Figura 2.30 - Etapas do método de decisão de Souza (2003)



Fonte: adaptado de Souza (2003)

No mesmo sentido, Morettini (2012) caracteriza o processo de tomada de decisão. Em sua descrição, Morettini (2012) define o processo de tomada de decisão em seis etapas, conforme ilustrado na Figura 2.31.

Figura 2.31 - Fluxograma do processo de decisão definido por Morettini (2012)



Fonte: Morettini (2012)

Em processos de tomada de decisão envolvendo muitos atributos, pode-se utilizar modelos de apoio a decisão (MORETTINI, 2012). No caso de existirem vários fatores a serem considerados, a importância relativa de cada um deles deve ser estudada para que um não seja ocultado por outros. Neste caso, modelos multicritério de decisão podem ser utilizados como importantes ferramentas (BERNSTEIN, 1997).

Passos importantes na utilização de modelos são a definição dos pesos para os critérios definidos e a definição dos valores atribuídos às alternativas em cada critério (TRANTAPHYLLOU, 2000).

Enquanto isso, para a definição de valores para cada alternativa, em relação aos critérios escolhidos, deve-se inicialmente determinar uma escala de valores possíveis. Segundo Barfod e Leleur (2014), a atribuição de valores é o processo de avaliação do valor a partir da performance da alternativa em relação ao critério analisado, realizado parte do tomador de decisão. Os valores precisam ser avaliados dentro de um intervalo de escala de medidas, o qual é determinado a partir da definição de dois pontos de referência (os quais podem ser, por exemplo, o ponto mínimo e o ponto máximo, representando a pior e a melhor avaliação, respectivamente) (BARFOD; LELEUR, 2014).

Pode-se utilizar uma escala local ou uma escala global. A escala local é definida para o conjunto de alternativas que estão sendo comparadas. A alternativa que performa da melhor forma em determinado critério recebe nota 100 e a alternativa que performa da pior maneira recebe a nota 0. Todas as outras alternativas devem receber notas dentro do intervalo determinado. Por outro lado, na escala global, os limites da escala podem ser definidos pelo cenário ideal e o pior cenário relativos à performance do parâmetro no critério analisado (BARFOD; LELEUR, 2014).

Segundo Barfod e Leleur (2014), como formas de atribuir valores, têm-se: a definição de uma “função de valoração parcial” (1), a construção de uma “escala de valoração qualitativa” (2) e a “valoração direta” das alternativas (3). Na primeira forma, a definição se relaciona à performance da alternativa em termos de um atributo mensurável, o qual reflete o critério de interesse. Na segunda forma, a performance das alternativas pode ser avaliada em referência a valores indicativos determinados. Na última forma, não se busca definir uma escala que caracterize a performance das alternativas independentemente de quais alternativas estejam sendo avaliadas. O tomador de decisão apenas define um número, ou identifica a posição da alternativa em uma escala análoga visual, a qual reflete o valor de uma alternativa em relação

ao ponto de referência determinado (BARFOD; LELEUR, 2014).

Para o processamento dos valores numéricos atribuídos aos diferentes critérios das alternativas, diversos métodos podem ser utilizados, entre eles o WSM (*weighted sum model*), WPM (*weighted product model*), AHP (*Analytic Hierarchy Process*), AHP revisada e SMART (*Simple Multi Attribute Rating Technique*) (TRANTAPHYLLOU, 2000; PÖYHÖNEN, 1998).

O WSM (*weighted sum model*) é o método mais utilizado (TRANTAPHYLLOU, 2000). Nesse método, o valor total de cada alternativa é determinado pelo somatório dos produtos do valor atribuído ao critério e do peso de importância atribuído ao critério. Segundo o método WSM, a melhor alternativa é aquela cujo somatório foi maior.

## **2.6. Considerações finais**

Ao analisar as partes que compõem usinas fotovoltaicas, é possível perceber que a rede de valas necessárias para os cabos e condutores é extensa. Além disso, percebe-se a complexidade do produto, devido às diversas partes que o compõem, como os cabos condutores, cabos de aterramento, cabos de comunicação, eletrodutos, dispositivos de proteção mecânica, fita de sinalização e reaterro.

Ao analisar as normas técnicas relativas a cabos condutores de baixa e média tensão apresentam diversas maneiras de instalação, percebe-se que elas não se restringem apenas aos aspectos elétricos, mas também a critérios construtivos das valas, servindo como um completo guia na identificação do que se pode fazer na execução de tais serviços.

A pesquisa por métodos de escavação e de lançamento de cabos indicou a existência de dois grandes grupos de métodos: métodos de escavação sem valas e métodos por abertura de valas. O estudo quanto aos métodos de escavação sem valas mostrou que tais métodos são mais apropriados a áreas onde escavações na superfície trariam impactos negativos, como em áreas urbanizadas, ou a situações em que uma rede precisa cruzar um obstáculo, como um rio ou uma reserva ambiental, o que não se aplica às usinas fotovoltaicas. Dessa forma, o método por abertura de valas mostrou-se mais indicado.

Como métodos por abertura de valas foram identificados: método convencional, método de lançamento direto, método mini-vala e método micro-vala. Os estudos mostram que os três primeiros métodos são utilizáveis em usinas fotovoltaicas, dado que conseguem produzir produtos de acordo com as limitações das Normas Técnicas brasileiras.

Quanto aos critérios de análise dos métodos, os estudos indicam a utilização de critérios de competitividade, como qualidade, velocidade, confiabilidade, flexibilidade e custo. Uma das alternativas para a comparação dos métodos é a utilização de modelos de apoio a decisão, como o WSM.

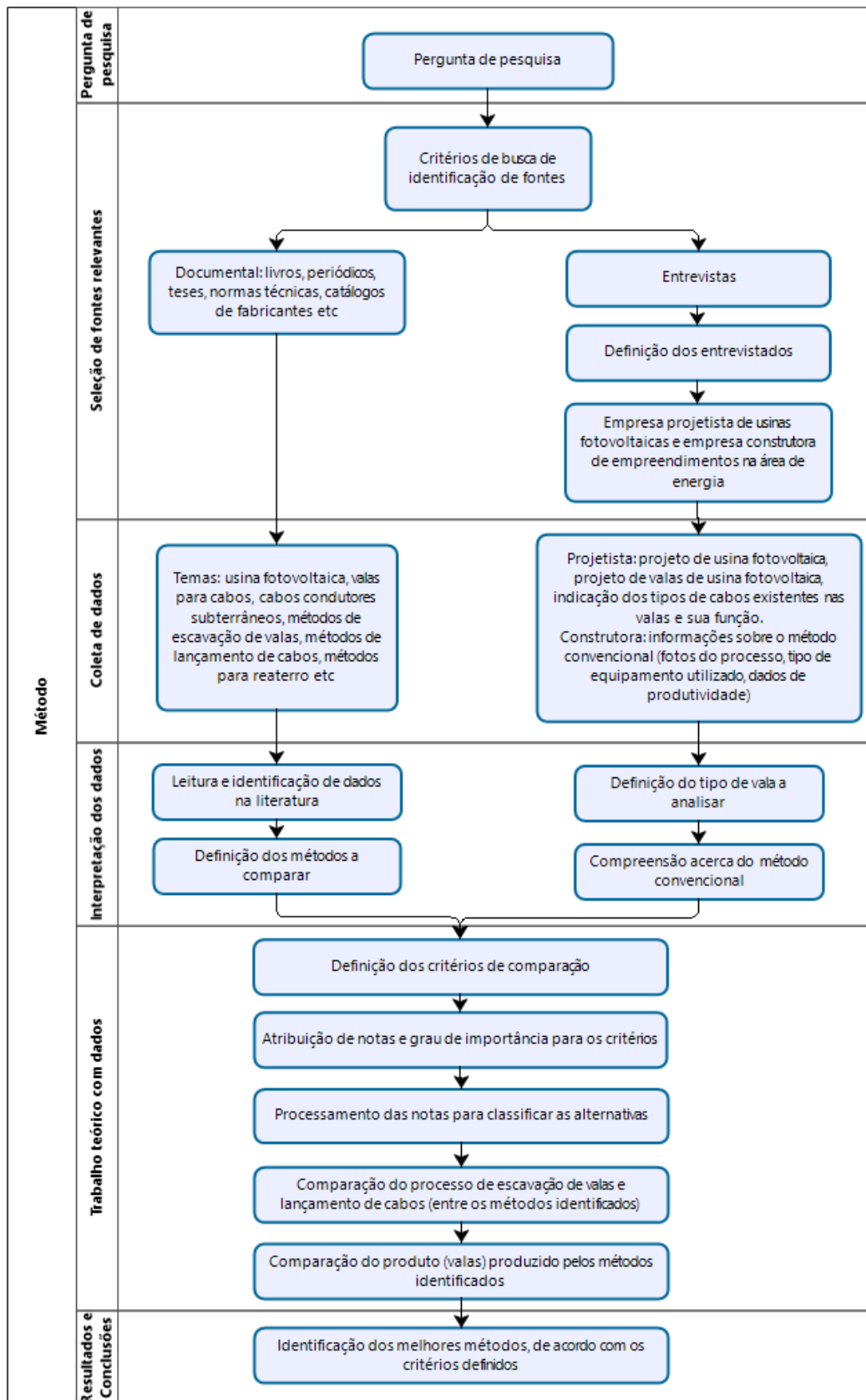
### **3. MÉTODO**

Este capítulo visa a apresentar o método utilizado para a identificação de tecnologias e procedimentos alternativos aos utilizados atualmente nas obras lineares para lançamento de cabos em usinas fotovoltaicas. O método utilizado neste trabalho consiste em uma pesquisa exploratória de cunho qualitativo, seguindo-se os passos recomendados por Bryman (2008).

#### **3.1. Visão geral**

Para a realização de pesquisas qualitativas, Bryman (2008) recomenda seguir seis passos principais, sendo eles: pergunta de pesquisa, seleção de fontes relevantes, coleta de dados, interpretação dos dados, trabalho conceitual e teórico e conclusão. A partir da identificação dos passos recomendados, as atividades que compõem cada passo são definidas. O Quadro 3.1 mostra os passos e as atividades definidas como o método do presente estudo. Em seguida, os passos são abordados individualmente.

Quadro 3.1 – Metodologia de estudo qualitativo adotada no presente estudo



Fonte: do autor (com base em Bryman (2008))

### **3.2. Pergunta de pesquisa**

O interesse pelo tópico do presente estudo surgiu a partir de uma necessidade percebida pelo autor durante seu estágio em uma empresa de construção civil pesada em Florianópolis.

Em uma requisição de proposta para a execução das obras civis em uma usina fotovoltaica, enviada pela empresa Enel Green Power, empresa multinacional de energia e uma das maiores empresas privadas do setor elétrico brasileiro (ENEL, 2018), dava-se incentivos a empresas que utilizassem soluções tecnológicas em determinadas áreas da obra, como prioridades no processo de seleção. Uma dessas áreas era a escavação das valas e lançamento de cabos, onde requisitava-se que as valas fossem abertas e fechadas mais rapidamente do que no método convencional e que não fosse necessário nenhum operário entrar dentro da vala escavada. A partir de tal requisição, conhecendo-se a grande competitividade nos processos de contratação da empresa ENEL, surgiu o interesse do autor pelo tópico, motivando a realização do presente estudo.

### **3.3. Seleção de fontes relevantes**

Para responder à questão “Quais são as tecnologias alternativas ao método convencional de escavação de valas e lançamento de cabos adotado em usinas fotovoltaicas no Brasil e como selecioná-las?” o escopo do presente estudo consistiu em revisão dos conceitos teóricos, utilizando-se como recurso livros, periódicos, teses, normas técnicas, catálogos de fabricantes, entre outros. Foram utilizadas normas técnicas, tanto da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) quanto da Petrobrás. Foram utilizados também artigos científicos sobre métodos de escavação e lançamento de cabos, bem como sobre critérios de comparação de tecnologias. Sites de órgãos governamentais do setor de energia, catálogos e sites de empresas fornecedoras de equipamentos de escavação de valas e lançamento de cabos também foram analisados. Em adição às fontes documentais, foram realizadas entrevistas com empresas da área de energias renováveis.

A escolha das duas empresas entrevistadas deu-se em função de o autor do presente estudo fazer estágio em uma delas (construtora). A definição da segunda empresa (projetista) é resultado da relação entre a empresa construtora e a empresa projetista. A partir do conhecimento acerca das obras executadas pela empresa construtora, o autor se interessou pela obra de usina fotovoltaica realizada pela empresa. A escolha pela empresa projetista deu-se pelo fato de ela ter elaborado o projeto da usina fotovoltaica construída pela construtora. Buscou-se contato com a empresa projetista dado que ela poderia fornecer mais informações

acerca dos aspectos técnicos do projeto utilizado na execução da usina fotovoltaica utilizada como referência neste estudo.

A empresa projetista é pioneira no Brasil na prestação de serviços na área de energia solar fotovoltaica, tendo sido fundada em 2011. A empresa tem mais de 3.000 MW em projetos e estudos desenvolvidos. A título de confidencialidade, a empresa projetista é definida, neste trabalho, como “Empresa Projetista”.

Por sua vez, a construtora entrevistada foi fundada em 1986 e atualmente, após 36 anos de atuação no mercado da construção civil, tem forte presença no mercado de energias renováveis. A empresa tem experiência na construção de usinas fotovoltaicas, usinas eólicas, pequenas centrais hidrelétricas, linhas de transmissão, subestações e outros, como rodovias e obras-de-arte-especiais. A título de confidencialidade, a construtora é definida, neste trabalho, como “S. Engenharia”.

Ambas as empresas têm escritório na cidade de Florianópolis, no Estado de Santa Catarina.

### **3.4. Coleta de dados**

Como a execução das valas e o lançamento de cabos envolve diferentes etapas (escavação, lançamento de condutos e cabos, reaterro e compactação do solo), foram consideradas literaturas relacionadas que abordassem cada uma dessas etapas individualmente. Por exemplo, foram consideradas informações sobre escavação, lançamento de tubulações e reaterro em obras de saneamento, nas quais, apesar de produzirem diferentes produtos, há similaridade entre os processos.

Dentre as normas técnicas utilizadas, cita-se a NBR 5410 (ABNT, 2008) e a NBR 14039 (ABNT, 2005), nas quais dados sobre dimensionamento, cabos condutores e de aterramento, eletrodutos, caixas de passagem, fita de sinalização, proteção mecânica e dimensões das valas foram obtidas, tanto para cabos de baixa quanto de média tensão. Além disso, utilizou-se a NBR 15465 (ABNT, 2008) para obtenção de informações sobre eletrodutos corrugados. Utilizou-se também a Norma Técnica N-1996 da Petrobrás, o qual diz respeito a cabos subterrâneos e sua instalação.

De periódicos, foram extraídas informações sobre o mercado de energia solar no Mundo e no Brasil, foram identificados os métodos de escavação de valas e lançamento de cabos existentes aplicáveis (métodos por escavação de valas e métodos sem valas), além dos critérios de



competitividade para comparação de tecnologias (critérios de Slack et al. (1997)). Foram utilizados também informações de sites de órgãos governamentais, como da CCEE, para dados sobre a comercialização de energia no Brasil, e da ANEEL, para dados sobre a geração de energia fotovoltaica no país. Utilizou-se também catálogos de empresas fornecedoras, como a empresa Marais, identificando informações sobre o método de lançamento direto, como processo executivo, equipamentos utilizados, características dos equipamentos, limitações, vantagens e caracterização do produto. Foi utilizado catálogo da empresa Microzanjas para coleta de informações sobre o método mini-vala, a partir do qual foi possível identificar método executivo, equipamentos utilizados, características dos equipamentos, limitações, vantagens e caracterização do produto. Por fim, recorreu-se também a sites de empresas fornecedoras de equipamentos, procurando-se sobre a atuação no mercado brasileiro, tipos de equipamentos fornecidos e vantagens dos equipamentos em relação aos equipamentos convencionais.

A partir da entrevista na empresa projetista, feita com engenheiro civil que atua na criação de projetos de usinas fotovoltaicas, foram disponibilizados os projetos de uma usina fotovoltaica, o qual é utilizado como referência neste estudo. Além disso, foram fornecidas informações sobre os componentes de uma usina fotovoltaica, os tipos de valas e de cabos utilizados, bem como as normas técnicas envolvidas no processo de projeto das valas de cabos em usinas fotovoltaicas.

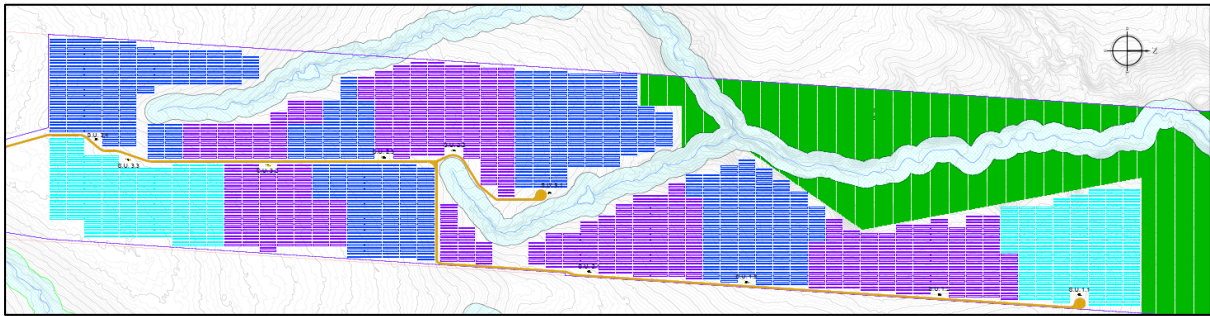
Paralelamente, na entrevista na empresa construtora, feita com engenheira civil responsável pela gerencia do contrato de execução de usina fotovoltaica, foram levantadas informações acerca do método convencional, como especificações dos equipamentos utilizados, dados de produtividade e fotos das etapas do processo.

### **3.5. Interpretação dos dados**

#### **3.5.1. Definição do tipo de vala a ser comparada**

Neste trabalho, tomou-se como base de comparação uma usina fotovoltaica construída por uma construtora especializada em obras de energias renováveis. A obra foi executada no Estado do Rio Grande do Norte, com potência nominal de 30 MW. Nessa usina fotovoltaica foram instalados 320 mil módulos solares em uma área de aproximadamente 90 hectares. O layout da usina é exibido na Figura 3.1.

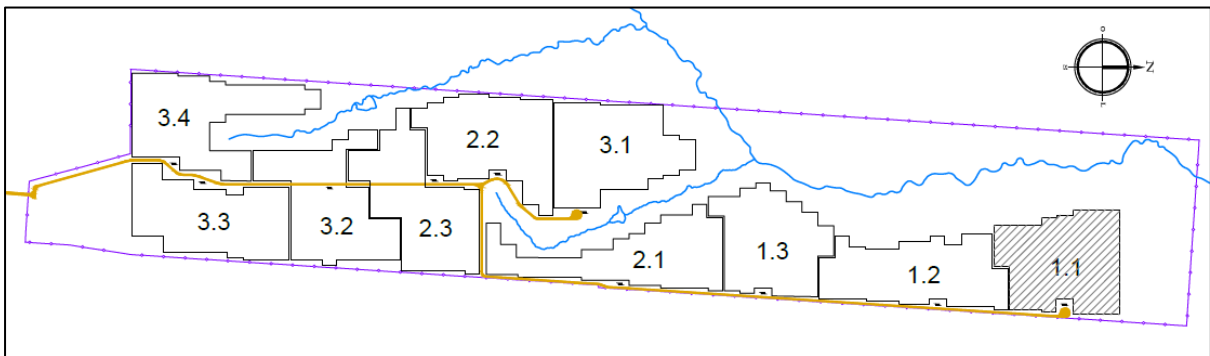
Figura 3.1 - Planta baixa da usina fotovoltaica utilizada como referência



Fonte: Adaptado de S. Engenharia (2018).

Para facilitar o controle da execução, a usina foi dividida em dez partes, cada uma levando a uma subestação unitária. A divisão da usina é representada na Figura 3.2.

Figura 3.2 – Sub-áreas da usina fotovoltaica utilizada como referência

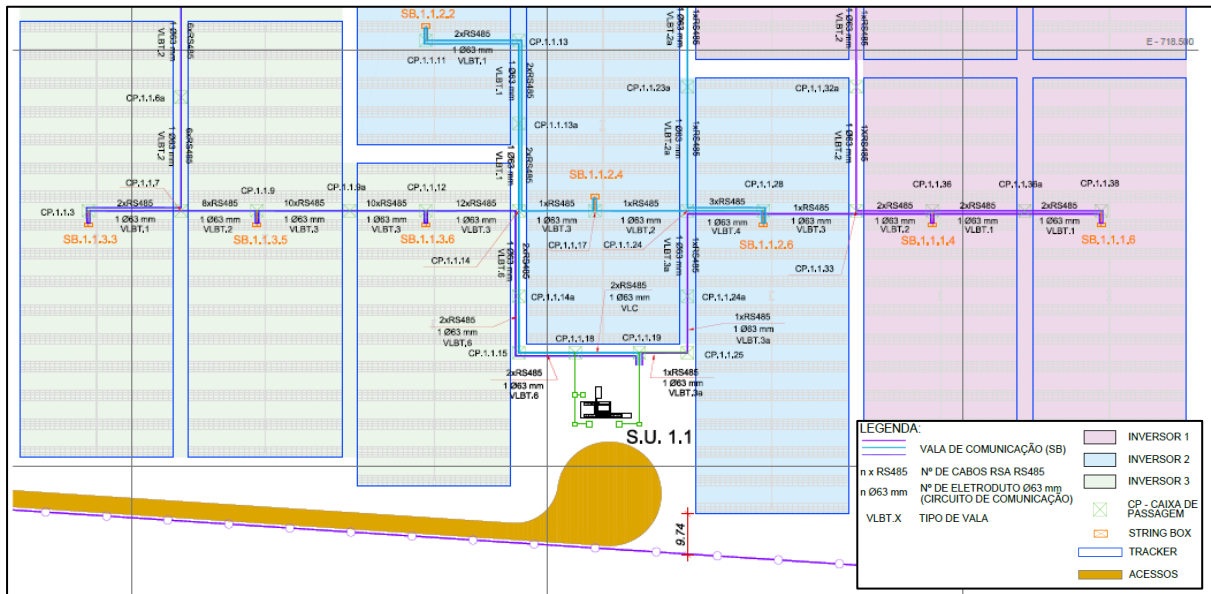


Fonte: Adaptado de S. Engenharia (2018).

A partir de análise prévia de todas as áreas, na intenção de identificar os tipos de valas presentes em cada uma das áreas, concluiu-se que os tipos de valas eram similares, independente da área analisada. Dessa forma, adotou-se, aleatoriamente, a área 1.1 para prosseguir com as análises.

Uma parte da área 2.1, onde se pode identificar os diferentes tipos de valas, as caixas de passagem, as *string boxes*, os tipos de cabo e a subestação unitária, é exibida na Figura 3.3.

Figura 3.3 - Detalhe da área 1.1, com indicação das características referentes aos componentes elétricos

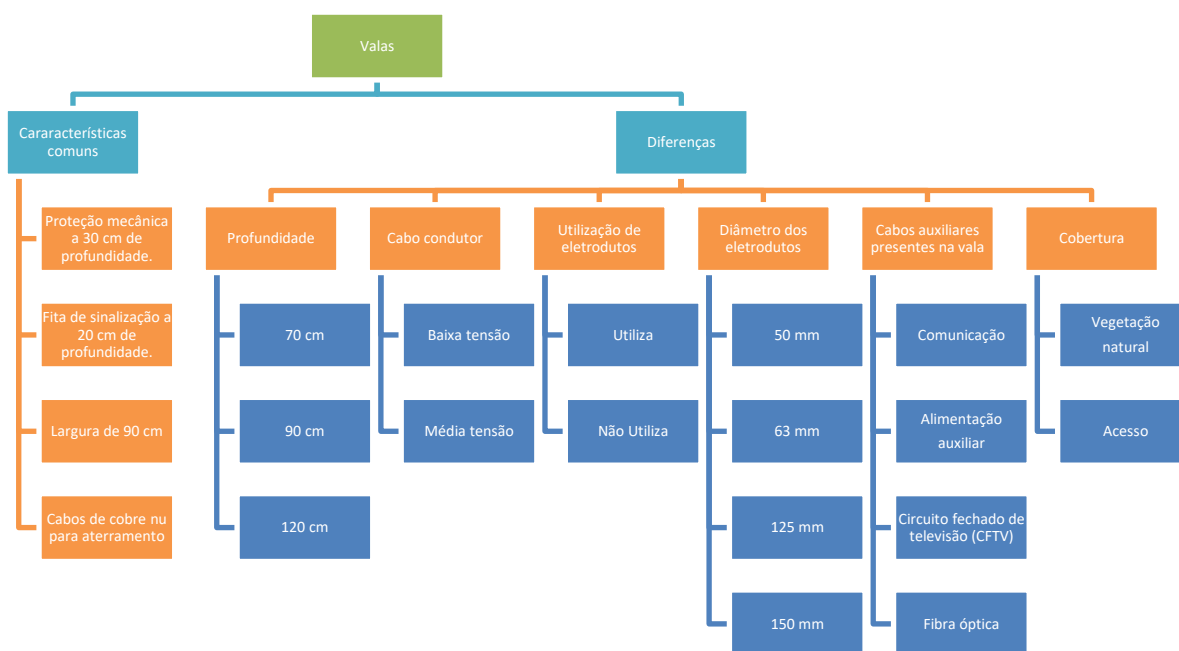


Fonte: Adaptado de S. Engenharia (2018)

Apesar da existência de valas para cabos condutores tanto de baixa quanto de média tensão em usinas fotovoltaicas, o presente estudo aborda apenas as valas de baixa tensão, dado que a extensão das valas de baixa tensão supera a extensão das valas de média tensão. Por exemplo, na usina fotovoltaica utilizada como base neste estudo, havia 10.892 metros de valas de baixa tensão, e 3.404 metros de valas de média tensão.

Para a usina fotovoltaica tomada como base, foram projetados 25 diferentes tipos de valas para a usina fotovoltaica. As valas têm características comuns quanto à largura, existência de proteção mecânica (a trinta centímetros de profundidade), existência de fita de sinalização (a vinte centímetros de profundidade) e quanto à existência de cabo de cobre nu para aterramento. As valas se diferenciam quanto à profundidade, quanto ao tipo de cabo condutor (cabos de baixa ou de média tensão), quanto à utilização de eletrodutos, quanto ao diâmetro dos eletrodutos, quanto aos tipos de cabos auxiliares presentes na vala (comunicação, alimentação auxiliar, circuito fechado de televisão (CFTV) e fibra óptica) e quanto às características da cobertura (vegetação natural ou acesso). A Figura 3.4 ilustra as diversas características de valas existentes na usina fotovoltaica analisada.

Figura 3.4 - Características das valas na usina fotovoltaica analisada



Fonte: do autor

A Figura 3.5 e Figura 3.6 ilustram a seção transversal dos vinte e cinco diferentes tipos de valas. As valas estão agrupadas em grupos de (a) até (e’). Os grupos (a), (b) e (c) são ilustrados na Figura 3.5, enquanto os grupos (d) e (e) são ilustrados na Figura 3.6.

- (a) valas de baixa tensão, com eletrodutos para cabos de baixa tensão (sendo que o número de eletrodutos varia de um a seis), além de um eletroduto para cabo de comunicação.
- (b) valas de baixa tensão, similares às agrupadas em a), porém com a existência de não apenas um eletroduto para cabo de alimentação, mas sim de dois.
- (c) valas de média tensão, com cabos agrupados em trifólio, e posicionados sem utilização de eletrodutos. O número de trifólios varia de um a três. Há diferenças também quanto à presença de eletrodutos para cabos auxiliares.
- (d) valas onde não passam cabos condutores, apenas cabos de CFTV e/ou de comunicação.
- (e) valas construídas sob os acessos da usina fotovoltaica, o que exige que os cabos condutores sejam posicionados a uma profundidade maior. Nesse grupo, há tanto valas de baixa e média tensão, quanto valas apenas de comunicação.

Figura 3.5 - Seção transversal das valas na usina fotovoltaica estudada ((a), (b), (c))

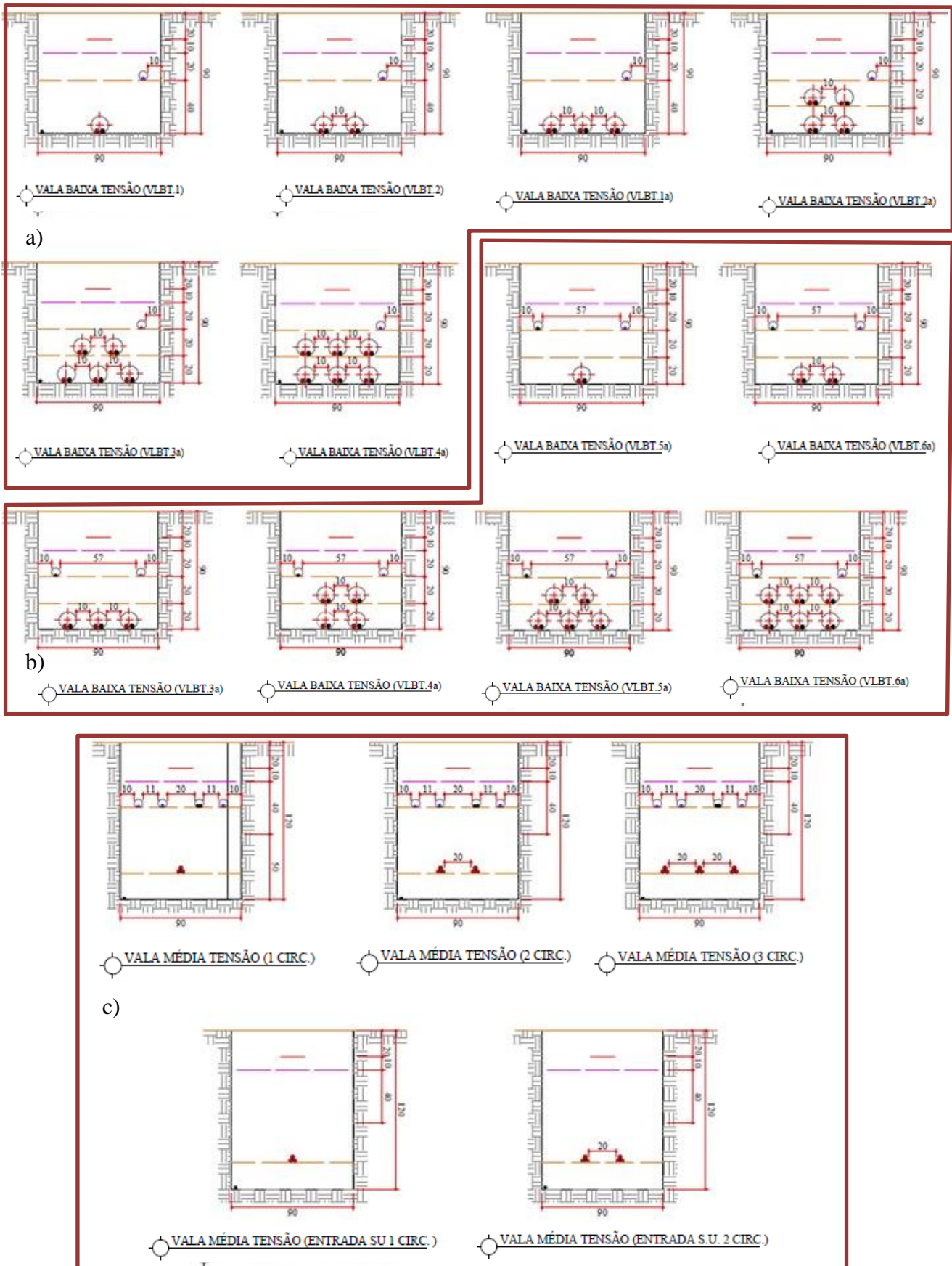
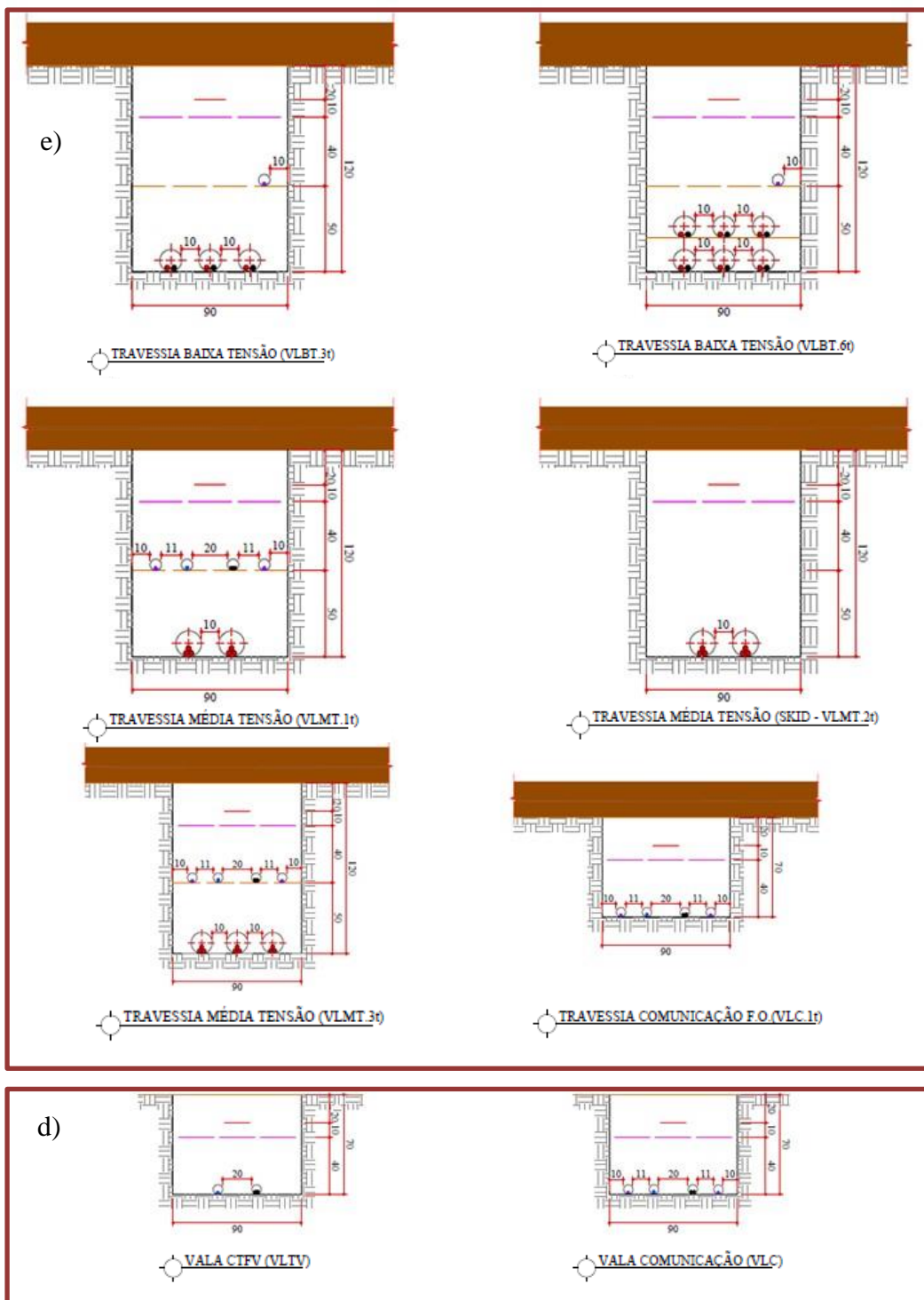


Figura 3.6 - Seção transversal das valas na usina fotovoltaica estudada ((d) e (e))



A partir da identificação da existência de diferentes tipos de valas em toda a usina fotovoltaica, escolheu-se, para apresentação de maior detalhamento, a mais representativa. Na usina fotovoltaica analisada, foram escavados 10.892 metros de valas de baixa tensão, 3.404 metros de valas de média tensão e 3.895 metros de valas de CFTV e comunicação. Com base

nesses números, optou-se por identificar o tipo de vala mais representativo dentro do grupo das valas de baixa tensão.

Para identificar o tipo de vala mais representativo, foi realizada contagem da quantidade de valas de cada tipo. Foram contabilizados os tipos de vala entre as caixas de passagem. Os resultados são exibidos na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Contagem dos tipos de valas de baixa tensão na usina fotovoltaica analisada

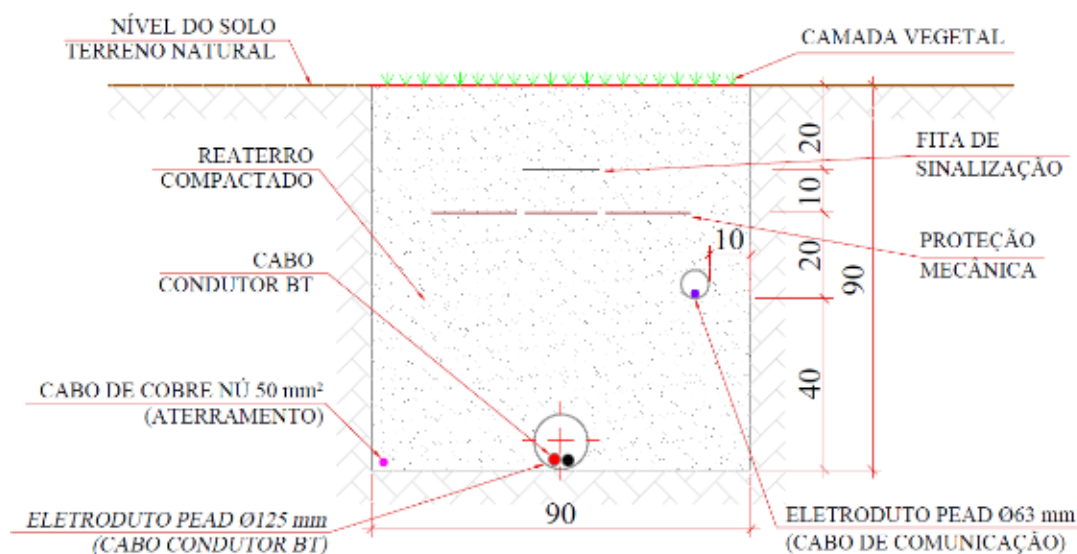
Tipo	Subestação Unitária (Área)										Total	% do total
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	3.4		
VLBT.1	22	25	12	21	27	27	26	26	21	32	239	50%
VLBT.1a	-	3	3	-	-	-	-	-	3	1	10	2%
VLBT.2	10	1	3	12	5	6	3	9	11	7	67	14%
VLBT.2a	5	3	3	-	5	-	3	-	-	-	19	4%
VLBT.3	5	5	4	6	8	9	8	4	4	7	60	13%
VLBT.3a	3	4	3	-	2	-	-	-	5	-	17	4%
VLBT.3t	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	0%
VLBT.4	1	1	-	9	-	-	4	-	-	2	17	4%
VLBT.4a	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	3	1%
VLBT.5	-	3	-	1	-	-	1	-	1	4	10	2%
VLBT.5a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	0%
VLBT.6	3	3	4	6	-	4	-	-	2	-	22	5%
VLBT.6a	-	-	-	-	2	-	6	3	-	-	11	2%
VLBT.6t	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	0%

Fonte: do Autor

O número de valas do tipo VLBT.1 representa 50% do total de valas de baixa tensão na usina fotovoltaica. Dessa forma, a vala do tipo VLBT.1 foi escolhida para prosseguir o estudo.

Com isso, prossegue-se com uma apresentação mais detalhada das características da vala VLBT.1. A Figura 3.7 exibe a seção transversal da vala, ilustrando o posicionamento dos eletrodutos, a posição da proteção mecânica e da fita de sinalização, o posicionamento do cabo de cobre, o material de reaterro e a camada vegetal que cobre a vala.

Figura 3.7 - Seção transversal da vala VLBT.1



Fonte: Adaptado de S. Engenharia (2018)

A vala exibida na Figura 3.7 conta com quatro cabos: dois cabos condutores de baixa tensão, um cabo de cobre e um cabo de comunicação. Os cabos condutores e o cabo de comunicação ficam dentro de eletrodutos. Além desses elementos, a vala conta com proteção mecânica adicional e com fita de sinalização. As camadas de reaterro são compactadas a cada 20 centímetros. A profundidade adotada para a vala é de 90 centímetros (apesar de a NBR 5410 (ABNT, 2008) indicar profundidade mínima de 70 centímetros para cabos subterrâneos em valas de baixa tensão). Segundo S. Engenharia (2018), tomando tal decisão foi possível manter um padrão de profundidade para todas as valas de baixa tensão da usina fotovoltaica analisada, facilitando a execução e aumentando a produtividade das frentes de trabalho.

### 3.5.2. Levantamento de dados quanto aos métodos executivos

Inicialmente, foi realizado estudo de literaturas para entendimento e contextualização do assunto em aspectos teóricos, relacionados com as práticas atuais para execução de obras lineares para lançamento de cabos elétricos em usinas fotovoltaicas. Além disso, nesta etapa foram analisadas as tecnologias alternativas ao método de construção convencional passíveis de serem adotadas.



### 3.5.3. Definição dos métodos alternativos a comparar

A partir da identificação de diversos métodos de execução, tanto métodos de escavação de valas quando métodos por abertura de valas, foram definidos dois métodos alternativos para prosseguir com a análise.

Conforme abordado na revisão de literatura, as alternativas construtivas do método não destrutivo são mais utilizadas em áreas urbanas, onde a execução do método convencional causaria demasiado distúrbio na superfície, como interrupção do tráfego e destruição de estruturas já existentes, como calçadas e pavimento. No entanto, como as áreas onde são instaladas usinas fotovoltaicas não são áreas urbanizadas, não existe a limitação quanto à perturbação à superfície. Além disso, a operacionalização do método não destrutivo seria prejudicada em usinas fotovoltaicas devido à quantidade de valas em diferentes direções nas usinas fotovoltaicas, o que obrigaria a movimentação dos equipamentos de instalação diversas vezes para a execução das escavações. Essa prática difere do que é feito usualmente, pois métodos de escavação sem valas são usados para cruzar áreas específicas poucas direções. Dessa forma, os métodos de escavação sem valas não foram considerados para prosseguimento do estudo.

Quanto aos métodos por abertura de valas, além do método convencional, foram identificados: método de lançamento direto, mini-vala e micro-vala. Dentre eles, analisou-se quais atenderiam as especificações de profundidade mínima para valas de baixa tensão, de acordo com o que indica a NBR 5410 (ABNT, 2008), referente a cabos subterrâneos. A partir disso, identificou-se que a técnica da micro-vala não seria adequada, haja vista a pequena dimensão das valas, e seu uso voltado à instalação de cabos de fibra-óptica, que não requerem escavações profundas, em regiões urbanas.

Dessa forma, definiu-se pelo prosseguimento do estudo com três métodos: método convencional, método de lançamento direto e método mini-vala.

## 3.6. Trabalho teórico com dados

### 3.6.1. Definição de critérios para a comparação de métodos alternativos de execução

A definição dos critérios de comparação baseou-se nas prioridades competitivas de Slack et al. (1997), dado que a construção também é um sistema de produção. Segundo Oviedo Haito (2015), o sistema de produção na construção é o conjunto de etapas físicas, gerenciais e

temporais relacionadas ao ciclo de vida da construção, para produzir uma construção ou parte dela. A partir das prioridades competitivas, foram identificadas características práticas relacionadas ao planejamento e a execução de obras civis em usinas fotovoltaicas para avaliação. Foram definidos critérios de comparação tanto para o processo de execução das valas quanto para o produto (as valas).

Segundo a Sociedade Americana para Qualidade (ASQ, s.d.), a análise de produto busca avaliar se o produto atende a certos requisitos, como especificações técnicas, padrões de performance e necessidades dos clientes. Segundo Foster (2018), a análise dos produtos pode ajudar na melhoria dos lucros, na satisfação dos clientes e em sua lealdade à marca.

Segundo Foster (2018), a análise de produto é parte essencial no controle da qualidade, porém ela, sozinha, não representa a qualidade do processo como um todo. Um efetivo processo de análise de produção, que busque garantir os maiores níveis de qualidade, requer análises tanto do processo de produção quanto do produto produzido (FOSTER, 2018).

Enquanto isso, as análises de processo focam em como os produtos são produzidos pela equipe. Para Foster (2018), essa análise gera uma visão mais compreensível da cadeia de valor, comparado ao que é feito na análise do produto, dado que busca enxergar o processo como um todo e não apenas o que é produzido.

Para comparação dos processos, sete critérios são utilizados: produtividade, uso de mão de obra, segurança dos operários, disponibilidade de equipamentos no mercado nacional, tamanho dos equipamentos, volume escavado e reaproveitamento do material escavado para reaterro. Para a comparação dos produtos, três critérios são utilizados: quantidade de elementos, fidelidade ao projeto e qualidade da vala escavada. O Quadro 3.2 ilustra a relação entre os critérios utilizados com as prioridades competitivas de Slack et al. (1997). No Quadro 3.2, os critérios para comparação dos produtos são escritos em negrito, a título de facilitar sua identificação.

Apesar da importância dos fatores analisados, outro fator importante, porém que não foi incluído nas análises do presente trabalho, é o custo. O custo seria um dos principais fatores de análise na comparação entre tecnologias. No entanto, a análise dos custos não foi abordada nesse trabalho por considerar a complexidade de tal análise, que envolveria custos diversos, como equipamentos (aquisição/locação), combustível, mão de obra na equipe de produção, materiais, impostos, taxas de importação, incentivos governamentais a obras de infraestrutura, entre outros.

Quadro 3.2 - Critérios de análise do processo e do produto de acordo com os princípios de Slack et al. (1997)

Prioridades competitivas	Definição	Critério de avaliação
Custo	Capacidade de produzir bens e serviços a custos mais baixos do que os concorrentes conseguem administrar	Volume de material escavado; Reaproveitamento do material escavado para reaterro;
Flexibilidade	Capacidade de atender a mudanças de produtos ou de serviços, com a rapidez suficiente	Tamanho dos equipamentos;
Qualidade	Fazer o que deve ser feito corretamente, entregar bens ou serviços conforme as especificações ou as necessidades dos clientes e fazer produtos que de boa qualidade	Uso de mão de obra; Segurança dos operários; <b>Fidelidade ao projeto;</b> <b>Qualidade da vala escavada;</b>
Velocidade	Capacidade da empresa fazer certa atividade mais rápido do que concorrência	Produtividade; <b>Quantidade de elementos;</b>
Confiabilidade	Capacidade de produzir e entregar bens e/ou serviços, em tempo hábil e nos prazos prometidos	Disponibilidade de equipamentos no mercado nacional;

Fonte: Adaptado de Slack et al. (1997)

### 3.6.1.1. Critérios de comparação do processo

#### 3.6.1.1.1. Produtividade

A definição da produtividade em metros de vala concluída por dia leva em conta a velocidade da execução do processo como um todo. Adotou-se essa unidade, em termos de metragem concluída por dia, pois engloba a execução de todas as etapas. Entende-se que o processo deve ser executado em sequência, etapa após etapa, sem grandes intervalos entre a execução de diferentes etapas. Por exemplo, ter uma escavação rápida, porém um processo lento de lançamento de cabos, torna baixa a utilidade da rápida escavação, pois a conclusão da vala só acontecerá depois de todas as etapas do processo serem concluídas.

Para o método convencional, a produtividade foi calculada a partir de informações fornecidas pela empresa construtora entrevistada. Foram informados o comprimento de valas de baixa tensão escavadas, bem como a duração das etapas de escavação das valas, construção de caixas de passagem, lançamento de eletrodutos, reaterro e compactação, lançamento de cabos e conexão. Para a etapa de lançamento de cabos e conexão, haja vista que o serviço de conexão não é abordado neste trabalho, a duração utilizada para cálculo da produtividade foi modificada. O tempo dispendido para execução do item “lançamento de cabos e conexão” foi, a partir de uma estimativa, dividido por dois, considerando que metade do tempo foi utilizado para lançar os cabos e metade do tempo para fazer a conexão com as *string boxes* e os

transformadores. A partir dessa consideração, tinha-se o tempo total, em dias trabalhados, para a escavação das valas. Em seguida, a extensão da vala, medida em metros, foi dividida pelo número de dias necessários para concluir o serviço, o que resultou na produtividade média de execução do serviço durante a obra.

Os dados referentes à produtividade para o método de lançamento direto foram extraídos de catálogos comerciais de empresas que produzem os equipamentos utilizados nos métodos citados. Para aprimoramento dos dados da informação sobre os dados de produtividade do método de lançamento direto, buscou-se contato com a empresa fornecedora, tanto por e-mail quanto pela plataforma linkedin, porém não houve resposta.

Da mesma forma, buscou-se dados de produtividade para o método mini-vala nos catálogos de empresas prestadoras do serviço. Além disso, buscou-se contato com a empresa Microzanjas tanto pelo formulário de contato em seu site quanto por e-mail, no entanto não houve resposta.

#### 3.6.1.1.2. Utilização de mão de obra

A definição da utilização de mão de obra é importante dado à sua relação com os custos associados à execução do método (apesar de o custo não ser utilizado como critério neste trabalho), mas também à segurança dos operários. Quanto maior o número de operários no canteiro de obras, trabalhando perto de grandes equipamentos, maior o risco de acidentes. Com isso, a definição do presente critério refere-se a questões de segurança associada ao procedimento.

Para a contabilização deste critério, foi elaborada uma tabela com todas as etapas para a conclusão das valas de baixa tensão, contendo as seguintes etapas: escavação, lançamento de eletrodutos, lançamento de cabo de aterramento, reaterro, compactação, lançamento de cabo de comunicação, colocação de proteção mecânica e colocação de fita de sinalização. Para cada uma dessas etapas, nos três métodos sob análise, identificou-se quais eram realizadas por equipamentos e quais eram realizadas manualmente. A partir da análise dos dados, foi possível inferir informações sobre a mão de obra utilizada em cada método.

Após levantar tais informações sobre os métodos, foi possível classificá-los em termos deste critério (utilização de mão de obra).

#### 3.6.1.1.3. Segurança

Em relação à segurança, adotou-se a premissa de que, quanto menos pessoas envolvidas no processo, menores são os riscos de acidente com os operários. A definição desse critério é função da importância dada à segurança dos operários por parte tanto das construtoras quanto dos contratantes. Além disso, é comum existir cláusulas relativas à segurança dos operários nos contratos de serviço, de forma que, caso haja problemas de segurança na obra, como acidentes com operários, a construtora seja penalizada, tanto com multas quanto com períodos de impossibilidade de contratação pelo contratante ao qual está prestando serviço.

A definição da nota de cada método deu-se em função da utilização de mão de obra. Quanto maior o número de pessoas envolvidas no processo, menor a nota. Dessa forma, buscou-se valorizar o método com menor número de pessoas envolvidas, seguindo-se a premissa de que, quanto menos pessoas diretamente envolvidas na execução do serviço, maior é a segurança.

#### 3.6.1.1.4. Disponibilidade de equipamentos no mercado nacional

O critério da disponibilidade dos equipamentos no mercado nacional diz respeito à facilidade no acesso às tecnologias utilizadas nos métodos alternativos. Considera-se que, quanto maior o número de fornecedores no mercado nacional, maior é a possibilidade de utilização da tecnologia, dado que, devido à concorrência, produtos a preços mais competitivos e com melhor qualidade são disponibilizados no mercado. Além disso, o fato de se ter fornecedores no Brasil exclui a necessidade de passar por procedimentos burocráticos relativos à importação de equipamentos.

Para a definição deste critério, foi realizada busca por fornecedores de cada tecnologia alternativa encontrada. Inicialmente, foram identificados fornecedores mediante de pesquisas por empresas especializadas na internet.

A partir do levantamento dessas informações, identificou-se, com auxílio de um Quadro, as empresas com atividades no Brasil. Em seguida, com base no número de empresas identificadas, foi atribuída a nota ao método. Quanto maior o número de fornecedores, maior a nota atribuída.

Neste critério, os equipamentos referentes ao método convencional não foram avaliados, tomando-se como premissa que, como o método é convencional, existe disponibilidade de equipamentos no mercado nacional, já que é um método comumente

conhecido e amplamente utilizado no país.

#### 3.6.1.1.5. Tamanho dos equipamentos utilizados

A análise quanto ao tamanho dos equipamentos utilizados em cada método avalia a adaptabilidade da nova tecnologia aos canteiros de obra no Brasil. A comparação considera o tamanho dos equipamentos utilizados no método convencional como sendo a situação regular e compara os demais métodos com o método convencional. Caso, nas tecnologias alternativas, use-se equipamento maior do que o equipamento utilizado no método convencional, pode-se ter dificuldade para adaptá-lo aos espaços disponíveis no canteiro. Além disso, considera-se a necessidade de o equipamento ser transportado até o canteiro de obras e, caso suas dimensões sejam muito superiores às dos equipamentos convencionais, pode-se ter dificuldades no transporte.

A partir da identificação dos equipamentos utilizados em cada método, foram caracterizados aqueles que diferiam entre os três métodos. A caracterização se deu em termos das dimensões: largura, comprimento e altura.

Para comparação, utilizou-se como base o tamanho do equipamento utilizado no método convencional. Para casos em que o tamanho do equipamento utilizado pelo método alternativo seja menor, maior será a nota. Dessa forma, valoriza-se equipamentos compactos, haja vista a frequente limitação de espaço nos canteiros de obra.

#### 3.6.1.1.6. Volume de material escavado

O critério do volume de material escavado é adotado pois é um indicativo da quantidade de trabalho realizado, haja vista os recursos envolvidos na escavação, como, por exemplo, equipamentos, combustível, mão de obra, materiais. Nesse sentido, quanto menor é a quantidade de material escavado, melhor é a performance do método nesse quesito.

Para computar tal critério, considerou-se a área da seção transversal das valas. Quanto maior a área, maior a quantidade de material escavado (a área da seção transversal das valas escavadas a partir dos métodos analisados pode ser diferente dadas as limitações dos equipamentos utilizados em cada método).

A atribuição das notas deu-se da seguinte maneira: quanto menor a área, maior a nota.

#### 3.6.1.1.7. Reaproveitamento do material escavado para reaterro

O critério de reaproveitamento do material escavado para reaterro busca avaliar se é possível aproveitar o material que foi removido do solo para fazer o reaterro, dado que solos com presença de grandes pedras ou sólidos que possam danificar os cabos instalados não podem ser reutilizados para tal fim. Com isso, seria necessário trazer material apropriado, o que envolve custos, tanto financeiros, relativos à compra do material apropriado, quanto logísticos, relativos à movimentação de caminhões para o transporte, removendo o material escavado e levando o material adequado até as valas.

Quanto maior a possibilidade de utilizar o material removido no reaterro, maior a nota atribuída.

#### 3.6.1.2. Critérios de comparação de produto

##### 3.6.1.2.1. Quantidade de elementos

O critério de quantidade de elementos refere-se à quantidade de elementos presentes na vala escavada. Para determinar a quantidade de elementos, foram identificadas as seções transversais das valas produzidas através dos três diferentes métodos de escavação e de lançamento de cabos analisado neste estudo. Inicialmente, identifica-se as diferenças de modo geral, utilizando-se um quadro comparativo com imagens das seções transversais das valas. Após a caracterização das diferenças entre as valas, a quantidade de elementos em cada uma das valas é contabilizada, em um novo quadro.

A contagem dos elementos considerou o número dos seguintes itens: camadas de reaterro compactado (camadas de 20 cm), cabo de cobre nú, eletroduto para condutor, cabo condutor (número de cabos), eletroduto para cabo de comunicação, proteção mecânica adicional e fita de sinalização.

Para a contagem do número de camadas de reaterro, dividiu-se a profundidade da vala, em centímetros, pela altura de cada camada de reaterro (20 centímetros), arredondando-se o resultado para número inteiro superior. Por exemplo, caso o resultado da divisão for 4,30 centímetros, o número de camadas considerado será igual a cinco.

A contagem dos demais itens foi realizada a partir do número de elementos existentes. Por exemplo, quanto ao número de cabos condutores, caso haja dois cabos condutores, o

número contabilizado é dois. Esse procedimento foi repetido para os demais componentes da vala.

#### 3.6.1.2.2. Fidelidade ao projeto

O critério de fidelidade ao projeto diz respeito à precisão da disposição dos elementos das valas, após executadas, em relação ao projeto. Conforme identificado na revisão de literatura, a distância entre cabos é uma medida a favor da durabilidade dos cabos, pois evita que aqueçam demasiadamente. Ao utilizar tecnologias que garantam a fidelidade do produto final em relação ao que foi projetado, espera-se maior durabilidade do sistema.

Para a atribuição das notas, levou-se em conta a forma de lançamento dos cabos e condutores na vala. Para a atribuição das notas, adotou-se a hipótese de que o trabalho executado de forma mecânica permite maior fidelidade ao projeto, em comparação com o trabalho realizado de forma manual (considerando que o equipamento utilizado está adequadamente regulado para a função). Tal hipótese foi adotada pois é reconhecido que atividades realizadas manualmente estão mais propensas ao erro, dado que sofrem mais influência do meio onde são executadas, como o grau de capacitação da mão de obra, o grau de conhecimento do projeto por parte dos operários e até mesmo o ânimo dos operários no dia da instalação.

Com isso, para processos de lançamento realizada de forma mecânica, maior foi a nota atribuída.

#### 3.6.1.2.3. Qualidade da vala escavada

O critério de qualidade da vala escavada engloba a qualidade do berço da vala onde os cabos condutores são lançados, bem como a regularidade da profundidade da vala. O berço não deve ter materiais irregulares em contato com os cabos (ou eletrodutos, quando forem utilizados), por isso, tecnologias que garantam um berço regular aumentam a qualidade do produto. Além disso, quanto à profundidade, deve-se obedecer ao que a NBR indica.

Para avaliação dos critérios, considerou-se o equipamento utilizado para escavação e sua especialidade na função. Para equipamentos cuja função específica é a escavação de valas, foi atribuída maior nota.



### 3.6.2. Metodologia para atribuição de notas

Para a avaliação dos critérios foi utilizada metodologia da valoração com base em escala qualitativa (BARFOD; LELEUR, 2014). A escala utilizada é do tipo local e varia de 1 a 3, de acordo com a performance do critério em relação ao mesmo critério do método convencional. Por exemplo, para dado critério, a nota 1 significaria que o método alternativo é pior que o convencional, a nota 2 significaria que é igual ao método convencional e a nota 3 significaria que é melhor que o método convencional. Para o método convencional, todos os critérios foram classificados com nota 2, dado que, por ser convencional, ele representa a situação e o desempenho padrões. Por exemplo, quanto ao tamanho dos equipamentos, caso o equipamento utilizado no método por lançamento direto seja maior do que o equipamento utilizado no método convencional, será atribuída nota 1 (entendendo-se que um equipamento maior pode ter restrições de uso no canteiro de obras, dado a limitações no espaço). Por outro lado, caso o equipamento tivesse menores dimensões do que o equipamento utilizado no método convencional, a nota atribuída seria 3, pois ele teria menos restrições quanto a espaços onde poderia acessar.

Após atribuir a nota para as alternativas em termos dos critérios adotados, foram determinados os graus de importância para os critérios utilizados. No presente estudo, considerou-se que todos os critérios utilizados na análise possuíam o mesmo grau de importância. Por conta disso, atribui-se o valor 1 como grau de importância para todos critérios.

Essa atribuição aconteceu a partir da compreensão de que o grau de importância dos critérios varia em função das características de cada obra. Por exemplo, para determinada obra, na qual há limitação de espaço no canteiro de obras, o critério “tamanho dos equipamentos” pode ter importância maior do que teria em uma obra onde há mais espaço disponível. Ainda, como outro exemplo, em canteiros de obras em que o solo natural não é apropriado para reaterro, o critério “reaproveitamento do material escavado para reaterro” pode ser mais importante do que em canteiros de obras onde o solo é, naturalmente, apropriado para a atividade.

O método WSM (*weighted sum model*) foi o método adotado para determinar a classificação das tecnologias alternativas analisadas. A nota final de cada tecnologia alternativa foi calculada através do somatório dos produtos entre a nota dos critérios e o peso de cada critério. Como o grau de importância para todos os critérios foi igual a 1, a nota final exibida na seção de resultados é ilustrada como a soma entre as notas dos critérios, dado que a

multiplicação de qualquer nota pelo número 1 (grau de importância atribuído aos critérios), não altera o valor da nota atribuída. Por exemplo, para o método de lançamento direto, quanto ao critério de produtividade, a nota atribuída foi 3. No uso do WSM, a nota 3 deve ser multiplicada pelo grau de importância do critério. Como o grau de importância é igual a 1, a nota final para o método de lançamento direto em relação ao critério de produtividade continua sendo 3.

Essa avaliação foi realizada tanto para comparação dos processos quanto para comparação dos produtos.

O maior somatório obtido através da aplicação do método WSM indica a melhor alternativa. Dessa forma, os somatórios obtidos para as diferentes alternativas indicam se as alternativas são melhores ou piores do que o método convencional, de acordo com os critérios utilizados.

## 4. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados das comparações entre os três métodos de escavação de vala e lançamento de cabos estudados (método convencional, método de lançamento direto e método mini-vala), com base nas notas atribuídas para cada um dos critérios selecionados, tanto para o processo quanto para o produto. O resultado entre as comparações mostra que, com base nos critérios considerados, os métodos alternativos são melhores do que o método convencional.

### 4.1. Comparação em termos do processo

A comparação entre os processos de escavação de valas e lançamento de cabos para os três métodos avaliados, mediante os critérios definidos, tem os resultados exibidos no Quadro 4.1. Na sequência, cada um dos sete critérios listados no Quadro 4.1 é descrito de forma individual.

Quadro 4.1 - Resultado da comparação para o processo de escavação de valas e lançamento de cabos

Critério	Método Convencional	Método de Lançamento Direto	Método Mini-vala
Produtividade	2	3	2
Menor uso de mão de obra	2	3	2
Segurança dos operários	2	3	2
Disponibilidade de equipamentos no mercado nacional	2	1	2
Tamanho dos equipamentos	2	1	3
Volume de material escavado	2	3	3
Reaproveitamento do material escavado para reaterro	2	3	3
Total	14	17	17

Fonte: do Autor

#### 4.1.1. Produtividade

Quanto à produtividade, o método convencional, a partir dos dados apresentados pela empresa S. Engenharia, para obra executada no Estado do Rio Grande do Norte, é de 78 metros de vala concluída por dia.

O solo na região era solo de granulação fina (mais do 50% do material é menor do que a abertura da malha da peneira #200). Não há presença de pedregulho nem de areia grossa, apenas de areia média e fina, bem como de siltes e argilas.

Quadro 4.2 - Produtividade do método convencional de escavação de valas e lançamento de cabos

Item	Unidade	Quantidade
<b>Extensão de vala de baixa tensão (90x90cm)</b>	m	10890
<b>Duração dos serviços de:</b>		
Escavação		
Construção de caixas de passagem	dias	140
Lançamento de eletrodutos		
Reaterro e compactação		
Lançamento de cabos		
<b>Produtividade (m/dia)</b>	Metro de vala concluída/dia	78

Fonte: do Autor. Adaptado de S. Engenharia (2018)

Para o método de lançamento direto, a produtividade varia de 300 a 2500 metros por dia, em função do solo, do tamanho das valas e do tipo de cabo a ser instalado (TESMEC & MARAIS, 2018).

Para o método mini-vala, a produtividade de escavação não foi encontrada nos catálogos dos fabricantes, nem mediante a tentativa de contatar a empresa Microzanjas (por e-mail e por formulário de contato no site da empresa), que é fornecedora desse tipo de tecnologia. Dessa forma, foi atribuída nota 2 ao método nesse critério, de forma a não penalizá-lo, nem beneficiá-lo, na comparação com o método convencional, dada a ausência de dados.

#### 4.1.2. Menor uso de mão de obra

Para avaliação em relação ao critério de utilização de mão de obra, definiu-se em quais etapas de execução dos métodos o serviço era mecanizado e em quais etapas era manual. O resultado é exibido no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 - Etapas manuais e mecanizadas dos diferentes métodos de escavação de valas e lançamento de cabos

Etapa	Método Convencional	Método de Lançamento Direto	Método Mini-vala
Escavação	Mecanizado	Mecanizado	Mecanizado
Lançamento de eletroduto	Manual	N/A	Manual
Lançamento de cabo de aterramento	Manual	Mecanizado	Manual
Reaterro	Mecanizado	Mecanizado	Mecanizado
Compactação	Mecanizado	Mecanizado	Mecanizado
Lançamento cabos (condutor e comunicação)	Manual	Mecanizado	Manual
Colocação de proteção mecânica	Manual	N/A	Manual
Lançamento de fita de sinalização	Manual	Mecanizado	Manual

Fonte: do Autor

Para o método convencional, nota-se que, entre as etapas, três são mecanizadas. Para o método de lançamento direto, todas as etapas são realizadas de forma mecanizada. Por outro lado, para o método mini-vala, a quantidade de etapas realizadas de forma mecanizada é similar ao método convencional. Dessa forma, a nota atribuída ao método mini-vala foi 2 e ao método de lançamento direto foi 3.

#### 4.1.3. Segurança dos operários

Com relação ao critério de segurança dos operários, a nota atribuída ao método de lançamento direto foi 3, haja vista sua execução mecanizada, o que sugere que menos operários estejam envolvidos no processo. Para o método mini-vala, no entanto, a nota atribuída foi 2, dado que as etapas realizadas manualmente são as mesmas do método convencional.

#### 4.1.4. Disponibilidade de equipamentos no mercado nacional

Quanto à disponibilidade do equipamento no mercado nacional, as informações identificadas são exibidas no Quadro 4.4.

Quadro 4.4 - Empresas no mercado brasileiro que oferecem equipamentos para o Método de Lançamento Direto e Método mini-vala

	Método de Lançamento Direto	Método Mini-vala
Empresas no mercado brasileiro	*	Ditch Witch Vermeer Volvo**

\*Ditch Witch e Vermeer oferecem equipamentos similares, porém não iguais ao que foi identificado na revisão de literatura para o método de lançamento direto (a diferença é em relação ao número de cabos que conseguem “lançar” em uma única passada, devido à quantidade de carretéis que cada equipamento consegue carregar).

\*\*Implemento para instalação em mini-carregadeiras.

Com base nas informações obtidas, a nota atribuída ao método de lançamento direto foi 1, haja vista a inexistência de fornecedor nacional para a tecnologia descrita. Foram identificadas empresas que executam serviços similares, porém que não são capazes de substituir o equipamento descrito na revisão de literatura.

Por outro lado, em relação ao método mini-vala foram encontrados fornecedores nacionais. Dessa forma, a nota atribuída ao método foi 2.

#### 4.1.5. Tamanho dos equipamentos

Identificou-se o tamanho dos equipamentos a partir da atribuição mostrada no Quadro 4.3. A partir dele, o Quadro 4.5 especifica os tipos de equipamentos utilizados (equipamentos 1 ao 6), os quais são caracterizados na Figura 4.1.

Quadro 4.5 - Quantidade de diferentes equipamentos utilizados no processo de escavação de valas e lançamento de cabos

Etapa	Método Convencional	Método de Lançamento Direto	Método Mini-vala
Escavação	Mecanizado (Eq. 1)	Mecanizado (Eq. 3)	Mecanizado (Eq. 5)
Lançamento de eletroduto	Manual*	N/A	Manual*
Lançamento de cabo de aterramento	Manual*	Mecanizado (Eq. 3 e 4)	Manual*
Reaterro	Mecanizado (Eq. 1)	Mecanizado (Eq. 1)	Mecanizado (Eq. 1)
Compactação	Mecanizado (Eq. 2)	Mecanizado (Eq. 2)	Mecanizado (Eq. 2)
Lançamento cabos (condutor e de comunicação)	Manual*	Mecanizado (Eq. 3 e 4)	Manual*
Colocação de proteção mecânica	Manual	N/A	Manual
Lançamento de fita de sinalização	Manual	Mecanizado (Eq. 3 e 4)	Manual

\*auxílio de Caminhão Munck com adaptador para bobinas (Eq. 6)

No Quadro 4.5 mostram-se seis equipamentos, que são identificados com a sigla “Eq.” seguida de um número (Eq. 1 – Retroescavadeira CAT 416E 4X4, Eq. 2 - Compactador tipo sapo, Eq. 3 - Valetadeira TECMEC ST 2, Eq. 4 - Carregador de bobinas TESMEC RC 320, Eq. 5 - Valetadeira VERMEER RTX 500 e Eq. 6 - Caminhão Munck FORD 2622 6X4). A Figura 4.1 contém a descrição gráfica de cada um desses equipamentos.

Figura 4.1 - Caracterização dos equipamentos utilizados nos métodos de escavação de valas e lançamento de cabos

<p>Eq. 1 Retroescavadeira CAT 416E 4X4 (escavação)</p>	<p>Eq. 4 Carregador de bobinas TESMEC RC 320 (lançamento de cabos)</p>
	
<p>Eq. 2 Compactador tipo sapo (compactação)</p>	<p>Eq. 5 Valetadeira VERMEER RTX 500 (escavação)</p>
	
<p>Eq. 3 Valetadeira TECMEC ST 2 (lançamento de cabos)</p>	<p>Eq. 6 Caminhão Munck FORD 2622 6X4 (lançamento de cabos/eletroduto)</p>
	
<p>Maiores informações sobre os equipamentos:</p> <p>1 <a href="https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/backhoe-loaders/center-pivot/13889452.html">https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/backhoe-loaders/center-pivot/13889452.html</a></p> <p>2 <a href="http://www.drimafer.com.br/compactadores-de-solo/compactador-de-solo-tipo-sapo.html">http://www.drimafer.com.br/compactadores-de-solo/compactador-de-solo-tipo-sapo.html</a></p> <p>3 <a href="https://www.samarais.com/en/products/st2-standard-.html">https://www.samarais.com/en/products/st2-standard-.html</a></p> <p>4 <a href="https://www.samarais.com/en/products/reel-carrier.html">https://www.samarais.com/en/products/reel-carrier.html</a></p> <p>5 <a href="https://www.vermeer.com/LA/pt/N/equipment/trenchers-plows-rockwheels/rtx550">https://www.vermeer.com/LA/pt/N/equipment/trenchers-plows-rockwheels/rtx550</a></p> <p>6 <a href="https://www.fordcaminhoes.com.br/content/ford-brazil-trucks/pt-br/cargo/c-2629/especificacoes-tecnicas.html">https://www.fordcaminhoes.com.br/content/ford-brazil-trucks/pt-br/cargo/c-2629/especificacoes-tecnicas.html</a></p>	

Os equipamentos do método convencional foram definidos de acordo com o que a empresa S. Engenharia utiliza. Para o método de lançamento direto, adotaram-se os equipamentos da empresa Tesmec, a qual foi a única empresa identificada, em buscas na internet, que realiza método de lançamento direto de acordo com o descrito na revisão bibliográfica. A definição do equipamento utilizado no método mini-vala deu-se em pesquisa no site de empresas no mercado brasileiro. A partir disso, adotou-se, para prosseguimento da análise, equipamento da empresa Vermeer. A opção pelo equipamento de empresa Vermeer deu-se em função da maior disponibilidade de informações, em comparação com as outras empresas do mercado brasileiro.

As dimensões (comprimento, largura e altura) dos equipamentos utilizados para escavação são apresentadas no Quadro 4.6.



Quadro 4.6 – Características dimensionais dos equipamentos utilizados para escavação

	Método Convencional	Método de Lançamento Direto	Método Mini-vala
	RETRO ESCAVADEIRA CAT 416E 4X4	VALETADEIRA TECMEC ST 2	VALETADEIRA VERMEER RTX 500
			
Comprimento (m)	7,1	11,0	3,2
Largura (m)	2,3	2,5	2,0
Altura (m)	3,5	3,3	2,5

Fonte: do Autor (adaptado com informações do catálogo dos fabricantes)

As medidas de comprimento, largura e altura dos equipamentos utilizados para lançamento de eletrodutos e cabos é apresentado no Quadro 4.7.

Quadro 4.7 - Características dimensionais dos equipamentos utilizados para lançamento de eletrodutos e cabos

	Método Convencional e Método Mini-vala	Método de Lançamento Direto
	CAMINHÃO MUNCK FORD 2622 6X4	CARREGADOR DE CARRETEL TESMEC RC 320
		
Comprimento (m)	7,1	13,0
Largura (m)	2,3	2,5
Altura (m)	3,5	3,3

Fonte: do Autor (adaptado com informações do catálogo dos fabricantes, conforme Figura 4.1)



Em termos dos equipamentos de escavação, o equipamento utilizado no método de lançamento direto (Eq. 3) tem largura e altura similares ao equipamento do método convencional (Eq. 1). No entanto, o comprimento do equipamento de lançamento direto (Eq. 3) é 3,9 metros maior. Comparando-se o equipamento utilizado no método mini-vala (Eq. 5) com o método convencional (Eq. 1), conclui-se que ele (Eq. 1) é mais compacto, com comprimento 3,9 metros menor, altura 1,0 metros menor, e largura 0,30 metros menor.

Quanto aos equipamentos utilizados para o lançamento de cabos, o equipamento utilizado no método de lançamento direto (Eq. 4) tem comprimento 5,9 metros maior do que o equipamento utilizado no método convencional (Eq. 6), enquanto a largura é 0,20 metros maior e a altura é 0,20 metros menor.

Dado que as dimensões dos equipamentos utilizados no método de lançamento direto são maiores do que as dos equipamentos do método convencional, atribui-se nota 1 ao método. Por outro lado, dado que o equipamento de escavação utilizado no método mini-vala é menor do que aquele utilizado no método convencional, a nota 3 foi atribuída a ele.

#### 4.1.6. Quantidade de material escavado

Quanto ao critério de volume de material escavado, dado que a seção transversal da vala no método convencional tem área de  $0,81 \text{ m}^2$  ( $0,90 \times 0,90 \text{ m}$ ), e que a seção transversal da vala nos dois outros métodos tem  $0,32 \text{ m}^2$  ( $0,35 \times 0,90 \text{ m}$ ), atribuiu-se nota 3, tanto para o método de lançamento direto quanto para o método mini-vala.

#### 4.1.7. Reaproveitamento do material escavado

Quanto ao critério do reaproveitamento do material escavado para reaterro, ao escavar com máquinas valetadeiras (considerando as limitações quanto aos solos nos quais podem ser utilizadas), estas escarificam o solo, tornando-o apropriado para reaterro (MICROZANJAS, 2018). Diferentemente, no método convencional, o material é apenas removido, mantendo-se nele as mesmas características, o que pode demandar serviços adicionais, como peneiramento do solo ou utilização de material apropriado (o qual precisará ser comprado ou produzido). Por conta disso, a nota atribuída ao método de lançamento direto e ao método mini-vala foi 3.

#### 4.1.8. Conclusão sobre os resultados da comparação em termos do processo

Em uma visão geral dos resultados (apresentados no Quadro 4.1), o método de lançamento direto mostra-se melhor do que o método convencional em cinco dos sete critérios avaliados (produtividade, menor uso de mão de obra, segurança dos operários, volume de material escavado e reaproveitamento do material escavado para reaterro), somando 17 pontos. Tais resultados refletem as vantagens relacionadas ao grau de automatização do processo. O método foi avaliado como pior em dois dos sete critérios (disponibilidade de equipamentos no mercado nacional e tamanho dos equipamentos). A avaliação negativa resulta da inexistência dos equipamentos específicos no mercado brasileiro, bem como à maior dimensão dos equipamentos, principalmente o comprimento, o que pode limitar seu uso nos espaços disponíveis no canteiro de obras.

Da mesma forma, o método mini-vala somou 17 pontos. O método mini-vala mostra-se melhor em três dos sete critérios (tamanho dos equipamentos, volume de material escavado e reaproveitamento do material escavado para reaterro). Tais resultados são relacionados ao uso de equipamento específico para escavação de valas, o qual tem dimensões menores do que aqueles do método convencional. O método foi avaliado como igual em quatro dos sete critérios (produtividade, menor uso de mão de obra, segurança dos operários e disponibilidade de equipamentos no mercado nacional). Essa avaliação se dá, principalmente, devido à utilização de trabalhos manuais no processo, igualmente ao que é feito no método convencional. Na avaliação dos critérios, nenhum foi considerado pior do que o método convencional.

## 4.2. Comparação em termos do produto

A comparação entre os produtos, mediante aos critérios definidos, tem os resultados exibidos no Quadro 4.8. Na sequência, cada um dos três critérios listados no Quadro 4.8 é descrito de forma individual.

Quadro 4.8 - Resultado da comparação para as valas produzidas por cada método

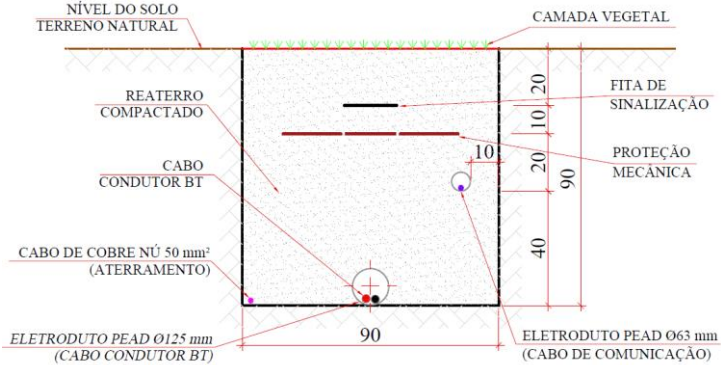
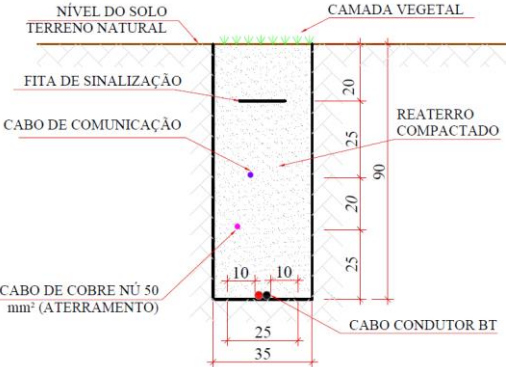
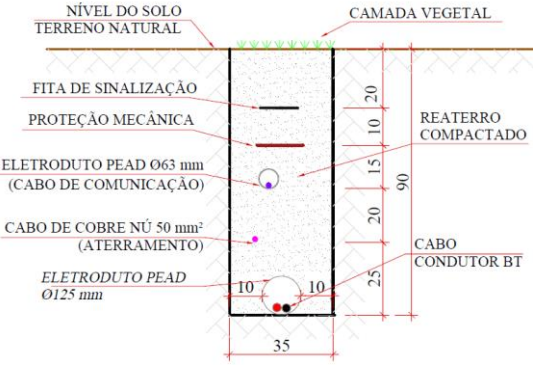
Critério	Método Convencional	Método de Lançamento Direto	Método Mini-vala
Quantidade de elementos	2	3	2
Fidelidade ao projeto	2	3	2
Qualidade da vala escavada	2	3	3

Fonte: do Autor

#### 4.2.1. Quantidade de elementos

A partir da análise das características de cada método considerado, foi possível definir o produto de cada um deles. O produto é apresentado no Quadro 4.9.

Quadro 4.9 – Tipos de vala produzidos por cada método de escavação de valas e lançamento de cabos analisado

Método	Características da vala
Convencional	<p data-bbox="432 465 587 533">Seção Transversal</p>  <p data-bbox="411 763 608 831">Características da vala</p> <ul data-bbox="635 712 1254 891" style="list-style-type: none"> <li>• Vala com seção de 90 x 90cm;</li> <li>• Camadas de 20cm de reaterro compactado;</li> <li>• Existência de proteção mecânica adicional;</li> <li>• Utilização de eletrodutos;</li> <li>• Cabos condutores com proteção convencional.</li> </ul>
Lançamento direto	<p data-bbox="432 1059 587 1126">Seção Transversal</p>  <p data-bbox="411 1339 608 1406">Características da vala*</p> <ul data-bbox="635 1305 1246 1442" style="list-style-type: none"> <li>• Vala com seção de 35 x 90 cm;</li> <li>• Não utilização de eletrodutos;</li> <li>• Cabos condutores armados (dado que inexistente proteção mecânica adicional).</li> </ul>
Mini-vala	<p data-bbox="432 1619 587 1686">Seção Transversal</p>  <p data-bbox="411 1861 608 1928">Características da vala*</p> <ul data-bbox="635 1877 1054 1910" style="list-style-type: none"> <li>• Vala com seção de 35 x 90 cm.</li> </ul>

\*Diferenças em relação à vala obtida pelo método convencional

Fonte: do Autor (com base em S. Engenharia (2018), Tesmec & Marais (2018) e Minizanjias (2018))

As informações exibidas no Quadro 4.9 mostram que as diferenças entre a vala executada no método de lançamento direto e a vala executada no método convencional são: as dimensões da seção transversal, a não utilização de eletrodutos e a utilização de cabos armados. Enquanto isso, a diferença entre a vala executada no método mini-vala e a vala executada no método convencional é a dimensão da seção transversal.

A partir da identificação e da análise das valas produzidas através de cada método de escavação e lançamento de cabos considerado neste estudo, foi possível identificar a quantidade de elementos existentes em cada uma das valas produzidas por cada um dos métodos. O resultado é exibido no Quadro 4.10.

Quadro 4.10 - Número de elementos nas valas escavadas utilizando os métodos de escavação de lançamento de cabos analisados

Elemento	Método convencional	Método de lançamento direto	Método mini-vala
Camadas de reaterro compactado (camadas de 20 cm)	5	5	5
Cabo de cobre nu	1	1	1
Eletroduto para condutor	1	0	1
Cabo condutor (nº cabos)	2	2	2
Eletroduto para cabo comunicação	1	0	1
Cabo comunicação	1	1	1
Proteção mecânica adicional	1	0	1
Fita de sinalização	1	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>13</b>	<b>10</b>	<b>13</b>

Fonte: do Autor (com base em S. Engenharia (2018), Tesmec & Marais (2018) e Minizanjias (2018))

A partir da análise do Quadro 4.10, percebe-se que a vala produzida a partir do método de lançamento direto é aquela com a menor quantidade de elementos. Isso acontece devido ao fato de não utilizar eletrodutos nem proteção mecânica adicional, já que utiliza cabos armados. A partir da utilização de menor número de elementos, a quantidade de trabalho dispendida para executar a vala é menor. Com isso, a partir da necessidade de menor quantidade de trabalho para concluir o produto, considera-se que a vala fica pronta em menor tempo (admitindo-se a hipótese de que se mantenham iguais os demais fatores envolvidos, como número de operários, número de equipamentos e tipo de solo). Por conta disso, a nota atribuída ao método de lançamento direto foi 3.

Para o método minivala, o número de elementos é igual ao número de elementos do método convencional. Com base nisso, a nota atribuída ao método mini-vala foi a mesma nota atribuída ao método convencional, ou seja, nota 2.

#### 4.2.2. Fidelidade ao projeto

Com relação à fidelidade ao projeto para o método convencional encontra-se que, como o trabalho de lançamento (de condutores, de cabos, da proteção mecânica e da fita de sinalização) é realizado manualmente, a fidelidade ao projeto é vulnerável.

Conforme determina a NBR 5410 (ABNT, 2008), a manutenção da distância adequada entre condutores baseia-se em critérios de controle de temperatura, dado que, quanto mais próximos ficam os condutores, menor é a corrente que o condutor poderá suportar (corrente nominal corrigida). Por conta disso, a manutenção da distância adequada entre condutores é importante para assegurar que a corrente nos condutores está dentro dos limites do condutor, o que garante menores riscos de danos por sobreaquecimento, conferindo maior durabilidade ao condutor.

Para o método de lançamento direto, como o lançamento dos cabos e o posicionamento da fita de sinalização é feito de forma mecanizada, mediante do uso da caixa de lançamento, garante-se que os elementos são instalados na posição projetada. Por conta disso, atribuiu-se, nesse critério, nota 3 ao método.

Para o método mini-vala, devido ao fato de o lançamento dos cabos ser realizado de forma manual, igualmente ao que é realizado no método convencional, a nota 2 atribuída.

#### 4.2.3. Qualidade da vala escavada

Em relação à qualidade da vala escavada, o método convencional apresenta limitações, dado que, com o equipamento utilizado para escavação, é difícil manter a regularidade do fundo da vala, bem como a regularidade das dimensões laterais. Para que se tenha o fundo da vala regular, é necessária habilidade do operador do equipamento de escavação. Além disso, em situações em que o solo tenha fragmentos de rocha, a remoção desses materiais pela retroescavadeira torna a superfície irregular.

Por outro lado, tanto para o método de lançamento direto quanto para o método mini-vala, o uso de máquinas específicas para escavação de valas garante a regularidade, tanto do

fundo da vala quanto das laterais. Dessa forma, a nota 3 foi atribuída a ambos os métodos.

#### 4.2.4. Conclusão sobre os resultados da comparação em termos do produto

Analisando-se de forma geral, o método de lançamento direto foi avaliado como melhor nos três critérios analisados, somando 9 pontos. Por outro lado, o método mini-vala foi avaliado como melhor em apenas um critério, somando 7 pontos. Quanto ao critério de quantidade de elementos, o método de lançamento direto foi avaliado como melhor devido ao menor número de elementos na vala, indicando que a vala poderia ser executada em menor tempo. Por outro lado, o método mini-vala foi avaliado como igual, haja vista a quantidade de elementos na vala ser igual à quantidade do método convencional. Quanto ao critério da fidelidade ao projeto, o método mini-vala foi analisado como igual pois as etapas de lançamento de cabos e condutos são feitas manualmente, igualmente ao que é feito no método convencional, enquanto o método de lançamento direto foi avaliado como melhor, dado à mecanização do processo de lançamento. O critério em que ambos foram avaliados como melhor foi o critério da qualidade da vala escavada, dado que os equipamentos de instalação utilizados são equipamentos especializados na escavação de valas.

Com isso, o resultado apresentado indica que o método de lançamento direto apresenta vantagens comparando-se ao método convencional, principalmente devido à mecanização do processo de posicionamento dos componentes da vala.

A nota do produto do método mini-vala supera a do método convencional, porém em apenas 1 ponto. A vantagem do método mini-vala é devida à utilização de equipamento especializado na escavação de valas, o que aumenta a qualidade da vala escavada. No entanto, como a quantidade de elementos na vala é similar ao método convencional, e como o processo de disposição dos elementos da vala é altamente manual, ela é considerada similar ao método convencional nos demais critérios.

### **4.3. Considerações sobre o resultado das comparações**

Os resultados indicam que as duas tecnologias alternativas apresentam vantagens em relação ao método convencional em termos de prioridades competitivas. Assim, as duas tecnologias alternativas são opções que as empresas poderiam adotar na busca de vantagens competitivas.

Apesar disso, deve-se considerar que o estudo foi direcionado a apenas uma dentre as diversas configurações de valas existentes e que o critério custo não foi incluído na análise.

## **5. CONCLUSÕES**

Sete critérios foram determinados para a avaliação dos métodos quanto ao processo (Produtividade (a); Menor uso de mão de obra (b); Segurança dos operários (c); Disponibilidade de equipamentos no mercado nacional (d); Tamanho dos equipamentos (e); Volume de material escavado (f); Reaproveitamento do material escavado para reaterro (g)) e três para a avaliação quanto ao produto (Quantidade de elementos (h); Fidelidade ao projeto (i); Qualidade da vala escavada (j)).

O método de lançamento direto e o método mini-vala se mostraram mais vantajosos do que o método convencional, de acordo com os critérios de comparação adotados. Para a comparação em termos do produto, o método de lançamento direto foi considerado como melhor em cinco dos sete critérios avaliados (a, b, c, f, g) e como pior em dois (d, e), enquanto o método mini-vala foi considerado melhor em três critérios (e, f, g) e como igual em quatro (a, b, c, d). Para a comparação em termos do processo, o método de lançamento direto foi avaliado como melhor nos três critérios analisados (h, i, j) enquanto o método mini-vala foi avaliado como melhor em um critério (j) e como igual em dois (h, i).

Os resultados mostram que os métodos alternativos têm vantagens em relação ao método convencional em termos de prioridades competitivas, como qualidade, velocidade e flexibilidade. Portanto, os métodos alternativos são opções que as empresas poderiam adotar em busca das mencionadas vantagens; principalmente o método mini-vala, o qual se encontra disponível no Brasil.

O presente estudo contribui para a compreensão dos métodos existentes para o serviço de escavação de valas e lançamento de cabos em usinas fotovoltaicas. Com base em tal conhecimento, ferramentas para facilitar a escolha de tecnologias, de forma mais estruturada, poderão ser desenvolvidas, facilitando a tomada de decisão quanto ao método.

### **5.1. Limitações do estudo**

Deve-se lembrar que as análises foram feitas sobre apenas um tipo de vala dentre as várias configurações de vala existentes. Sabe-se que, na escolha entre métodos executivos, deve-se considerar a capacidade do método de realizar o serviço por completo, não apenas parte dele. No entanto, a título de ser específico quanto ao escopo do presente estudo, adotou-se a premissa de avaliar apenas um tipo de vala. Dessa forma, a afirmação generalizada de que o método melhor avaliado neste estudo é melhor do que os demais não pode ser feita.



Além disso, o tipo de vala escolhido para análise tomou como base dados de apenas uma empresa projetista de usinas fotovoltaicas. Caso mais empresas tivessem sido analisadas, diferentes tipos de vala poderiam ter sido encontrados.

Outro fato que deve ser considerado é a alta frequência de curvas nos traçados das valas de baixa tensão. Isso pode prejudicar a adoção de equipamento maiores, como os utilizados no método de lançamento direto.

Como alternativa a isso, pode-se indicar às construtoras que trabalhem em conjunto com as empresas projetistas, de forma a ter, nos projetos, valas que sejam executáveis por determinado tipo de equipamento. Além disso, cabe estudo da aplicação dos métodos estudados em valas de média tensão, que têm menos interferências no traçado e, por conta disso, poderiam ter melhor resultado na aplicação dos métodos alternativos encontrados.

Apesar de os resultados demonstrarem avaliação quanto a requisitos de produtividade, conforme critérios definidos por Slack et al. (1993), a ausência da avaliação dos custos deve ser mantida em mente, dado que é um fator importante na escolha.

## **5.2. Sugestões para trabalhos futuros**

No decorrer deste trabalho, surgiram algumas questões que podem ser contempladas em futuros trabalhos sobre o assunto:

- Analisar os custos relacionados às alternativas encontradas;
- Analisar se, em usinas fotovoltaicas, outras formas de disposição dos cabos, que não por baixo da terra, seriam melhores;
- Comparar a aplicabilidade dos métodos encontrados entre o uso para valas de baixa tensão e o uso para valas de média tensão.
- Avaliar formas de otimização do posicionamento das subestações unitárias e *string-boxes* para diminuir a extensão das valas.

## REFERÊNCIAS

- ABB GROUP. Photovoltaic plants. **Technical Application Papers No.10**. [s. l.], v. 10, n. 10, p. 107, 2010.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Banco de Informações de Geração**. 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/FontesEnergia.asp>>. Acesso em: 10 de outubro de 2018.
- ALLOUCHE, E. N.; ARIARATNAM, S. T. State-of-the-art-review of no-dig technologies for new installations. **Pipelines 2002 - Beneath Our Feet: Challengers and Solutions - Pipeline Division Specialty Conference**, [s. l.], p. 55, 2002.
- AMERICAN SOCIETY FOR QUALITY (AST). **What Is Auditing?** [s.d] Disponível em: <<http://asq.org/learn-about-quality/auditing/>>. Acesso em: 29 de outubro de 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA (ABRADEE). **Visão Geral do Setor**. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/visao-geral-do-setor>>. Acesso em: 18 de outubro de 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. 2ª edição. Rio de Janeiro, 2005. Versão corrigida em 2008. 209 p. Disponível em: <<https://www.abntcolecao.com.br/normavw.aspx?ID=10146>>. Acesso em: 13 de junho de 2018. Acesso exclusivo para assinantes da coleção eletrônica.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9511**: Cabos elétricos - Raios mínimos de curvatura para instalação e diâmetros mínimos de núcleos de carretéis para acondicionamento. Rio de Janeiro, 1997. 4 p. Disponível em: <<https://www.abntcolecao.com.br/normavw.aspx?ID=5300>>. Acesso em: 17 de junho de 2018. Acesso exclusivo para assinantes da coleção eletrônica.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14039**: Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV. 1ª edição. Rio de Janeiro, 2005. 87 p. Disponível em: <<https://www.abntcolecao.com.br/normavw.aspx?ID=1099>>. Acesso em: 13 de junho de 2018. Acesso exclusivo para assinantes da coleção eletrônica.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15465**: Sistemas de eletrodutos plásticos para instalações elétricas de baixa tensão - Requisitos de desempenho. 2ª edição. Rio de Janeiro, 2008. 37 p. Disponível em: <<https://www.abntcolecao.com.br/normavw.aspx?ID=185>>. Acesso em: 03 de novembro

de 2018. Acesso exclusivo para assinantes da coleção eletrônica.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TECNOLOGIA NÃO DESTRUTIVA (ABRATT).

Disponível em: < <https://goo.gl/iFvbgY> >. Acesso em: 28 de setembro de 2018.

BARROS NETO, J. P.; FENSTERSEIFER, J. E.; FORMOSO, C. T. Os Critérios Competitivos da Produção : um Estudo Exploratório na Construção de Edificações. **RAC - Revista de Administração Contemporânea**, v. 7, n. 1, p. 67–85, 2003.

BARFOD, M. B.; LELEUR, S. (Editores). **Multi-criteria decision analysis for use in transport decision making**. DTU Lyngby: Technical University of Denmark, Transport. 2<sup>nd</sup> ed. 2014.

BASCOM, E. C.; ANTONIELLO, V. D. Underground Power Cable Considerations: Alternatives to Overhead. **47th Minnesota Power Systems Conference (MIPSYCON)**, [s. l.], p. 1–3, 2011.

BASCOM, E. C. R.; WILLIAMS, J.; KWILINSKI, M. Technical considerations for applying trenchless technology methods to underground power cables. **Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference**, [s. l.], 2016.

BERNSTEIN, P.L. Have we replaced old-world superstitions with a dangerous reliance on numbers? **Harvard Business Review**. March/April 1996. Disponível em: < <https://hbr.org/1996/03/the-new-religion-of-risk-management> >. Acesso em: 15 de novembro de 2018.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). **Ambiente Livre e Ambiente Regulado**. Disponível em: < [https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/como-participar/ambiente-livre-ambiente-regulado](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/como-participar/ambiente-livre-ambiente-regulado) >. Acesso em: 5 de outubro de 2018.

DAVIS, M. **Fundamentos da administração da produção**. Porto Alegre: Bookman, 2001.

DEPARTMENT FOR CULTURE, MEDIA AND SPORT (DCMS). **Microtrenching and Street Works: An Advice Note for Local Authorities and Communications Providers**. Disponível em: < [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/77427/Microtrenching\\_guidance\\_NOV2011.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/77427/Microtrenching_guidance_NOV2011.pdf) > . Acesso em: 10 de outubro de 2018.

DEZOTTI, M. C. **Análise da utilização de métodos não-destrutivos como alternativa para redução dos custos sociais gerados pela instalação, manutenção de substituição de**

- infra-estruturas urbanas subterrâneas.** 2008. 231 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Transportes, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008.
- DIMENSIONAMENTO de circuitos elétricos. Disponível em: <[http://www.dt.fee.unicamp.br/~akebo/et017/Instalacoes\\_Eletricas\\_2.pdf](http://www.dt.fee.unicamp.br/~akebo/et017/Instalacoes_Eletricas_2.pdf)>. Acesso em: 02 de outubro de 2018.
- DONG, C. et al. What is the probability of achieving the carbon dioxide emission targets of the Paris Agreement? Evidence from the top ten emitters. **Science of the Total Environment**, v. 622–623, p. 1294–1303, 2015.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026.** 2017. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Decenal-de-Expansao-de-Energia-2026>>. Acesso em: 12 de junho de 2018.
- ENEL. **Quem somos.** Disponível em: <<https://www.enel.com.br/pr/quemsomos.html>>. Acesso em: 05 de novembro de 2018.
- FOSTER, P. **Manufacturing Quality Control: The Difference Between Product and Process Audits.** 2018. Disponível em: <<https://www.beaconquality.com/blog/manufacturing-quality-control-the-difference-between-product-and-process-audits>>. Acesso em: 22 de outubro de 2018.
- GIELEN, D. et al. **Global Energy Transformation: A roadmap to 2050.** Disponível em: <[http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA\\_Report\\_GET\\_2018.pdf?la=en&hash=9B1AF0354A2105A64CFD3C4C0E38ECCEE32AAB0C](http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Report_GET_2018.pdf?la=en&hash=9B1AF0354A2105A64CFD3C4C0E38ECCEE32AAB0C)>. Acesso em: 26 de outubro de 2018.
- GRANDISKI, P. **Cancelamento da norma de segurança de escavação a céu aberto.** 2014. Disponível em: <<http://blogs.pini.com.br/posts/normas-tecnicas-pericias/cancelamento-da-norma-de-seguranca-de-escavacao-a-ceu-aberto-304449-1.aspx>>. Acesso em: 17 de novembro de 2018.
- HASANUZZAMAN, M. **An Investigation on Micro-Trenching Technology for FTTH Deployment.** University of Alberta. 2016.
- IEA PVPS. Snapshot of Global Photovoltaic Markets. **Photovoltaic Power Systems Programme**, v. 5, p. 15, 2018.

- MARAIS. **Mechanical Laying.** Disponível em: <<https://www.samarais.com/en/solutions/mechanical-laying.html#invention-history>>. Acesso em: 03 de novembro de 2018.
- MCDONNELL, N. The Inside Scoop on Micro-Trenching. **Broadband Magazine: Game-Changing FTTH Technology**, p. 54–56, 2009.
- MICROZANJAS. **Nuestras máquinas zanjadoras.** Disponível em: <<https://microzanjas.com/zanjas-minizanjass-microzanjas/maquinas-zanjadoras-disco/>>. Acesso em: 18 de agosto de 2018.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Acordo de Paris.** 2016. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>>. Acesso em: 12 de setembro de 2018.
- MORETTINI, R. Tecnologias construtivas para a reabilitação de edifícios: tomada de decisão para um reabilitação sustentável. 2012. 130 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.
- NAJAFI, M. Tecnologia Não Destrutiva: Planejamento, Equipamentos e Métodos. São Paulo: ABES, 2017.
- OCDE & IEA. **Market Report Series: Renewables 2017, analysis and forecats to 2022. Executive Summary.** Disponível em: <<https://www.iea.org/Textbase/npsum/renew2017MRSsum.pdf>>. Acesso em: 17 de agosto de 2018.
- PEREIRA, F. A. de S.; OLIVEIRA, M. A. S.; **Curso Técnico Instalador de Energia Solar Fotovoltaica.** 2ª ed. Publindústria, Portugal. 2015. ISBN 978-989-723-082-0
- PESSOA, F. H. C.; Análises dos solos de Urucu para fins de uso rodoviário. 2004. 151 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, 2004.
- PETROBRÁS - COMISSÃO DE NORMALIZAÇÃO TÉCNICA (CONTEC). **Norma Técnica Petrobrás N-1996: Projeto e Infraestrutura de Redes Elétricas Subterrâneas.** Rev. C. 19 p. Acesso em: 27 de setembro de 2018.
- PICCHI, F. A. **Sistemas de qualidade:** uso em empresas de construção. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Poli-técnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.

- PIANA, J.; ERDMANN, R. H. Fatores geradores de competitividade na manufatura: uma relação entre práticas e resultados. **Revista de Administração da UFSM**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 73–90, 2011.
- PÖYHÖNEN, M. **On Attribute Weighting in Value Trees**. Dissertation (Doctor of technology) – Helsinki University Technology. Espoo, Finland, 1998.
- RAFLE, K. **Trenchless technologies - 5 methods for nondisruptive utility instalation.pdf**. 2017. Disponível em: <<https://ideas.stantec.com/blog/trenchless-technologies-five-methods-for-non-disruptive-utility-installation>>. Acesso em: 14 de setembro de 2018.
- RAMOS, A.; GONDIM, C. E. **Os desafios do setor elétrico brasileiro & Avanços esperados frente à transformação global**. São Paulo.
- SABESP. **Segurança em escavação de vala**. (s.d.) Disponível em: [http://sabesp-info18.sabesp.com.br/licita/Publica.nsf/3.1.V/1CDBE9D51559760C832576080067919E/\\$File/Anexo%2009%20-%20Seguran%C3%A7a%20em%20escava%C3%A7%C3%A3o%20de%20vala.pdf](http://sabesp-info18.sabesp.com.br/licita/Publica.nsf/3.1.V/1CDBE9D51559760C832576080067919E/$File/Anexo%2009%20-%20Seguran%C3%A7a%20em%20escava%C3%A7%C3%A3o%20de%20vala.pdf). Acesso em: 5 de outubro de 2018.
- SANZ, M. A. Compartivo de custos diretos entre perfuração direcional horizontal e abertura de Vala para Instalação de Dutos. **Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte**. 2017.
- S. ENGENHARIA. **Construtora especializada em obras de energia**. Florianópolis. Entrevista concedida. 10 de agosto de 2018.
- SLACK, N. et. al. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1997.
- SLACK, N. et. al. **Vantagem competitiva em manufatura**. São Paulo: Atlas, 1993.
- SOLARVOLT. **String Box: o que é e como funciona**. Disponível em: <<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/string-box-o-que-e-e-como-funciona/>>. Acesso em: 22 de outubro de 2018.
- SOLATIO; ANJO AZUL. **Plano de Controle Ambiental da Usina Solar Pirapora**. Fev. 2016. Disponível em: <[https://www.iic.org/sites/default/files/disclosures/pirapora\\_1\\_pca.pdf](https://www.iic.org/sites/default/files/disclosures/pirapora_1_pca.pdf)>. Acesso em: 12 de junho de 2018.
- SOUZA, J.C.S. **Metodologia de análise e seleção de inovações tecnológicas na construção de edifícios: aplicação para vedação vertical de gesso acartonado**. 2003. 205 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

- TOLMASQUIM, M. T. **Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica.** Rio de Janeiro: EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2016.
- TESMEC & MARAIS. **Cable Laying Solutions for Solar and Wind Farms.** Technical Description. 2018.
- TRIANAPHYLLOU, E. Multi-Criteria Decision Making Methods. **Multi-criteria Decision Making Methods: A Comparative Study.** Applied Optimization, vol 44. Springer, Boston, MA. 2000. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3157-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3157-6_2)
- VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos,** São Paulo: McGraw Hill do Brasil Ltda., 509 p., 1977.
- WOLFE, P. **Solar Photovoltaic Projects in the mainstream power Market.** Routledge, 2012.