

PAMELLA MIDORI SHIMABUKURO ARAKAKI

**ESTUDO DE PROJETO DE TRAÇADO VIÁRIO PARA
IMPLEMENTAÇÃO DE PARQUE EÓLICO NO BRASIL**

Trabalho de Formatura do Curso de
Engenharia Civil apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo

São Paulo

2019

PAMELLA MIDORI SHIMABUKURO ARAKAKI

**ESTUDO DE PROJETO DE TRAÇADO VIÁRIO PARA
IMPLEMENTAÇÃO DE PARQUE EÓLICO NO BRASIL**

Trabalho de Formatura do Curso de Engenharia Civil
apresentado à Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo

Orientadora: Profa. Dra. Rosângela dos Santos Motta

São Paulo

2019

Catalogação-na-publicação

Acessar:

<http://www.poli.usp.br/pt/bibliotecas/servicos/catalogacao-na-publicacao.html>

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos àqueles que contribuíram de forma direta e indireta no desenvolvimento deste trabalho:

À professora-orientadora Rosângela por todo o carinho, paciência e generosidade para que pudesse ter o melhor suporte possível.

À minha família, meus pais Reginaldo e Cláudia, irmãos Jacqueline e Matheus, avós Diogo, Irene e Michiko, primos e tios, em especial, Rosana, Tero, Amilton e Yukari que me proporcionaram apoio e conversa para esta etapa da minha vida.

Às minhas primas-amigas Rie, Lenira, Jéssica, Nathália, Karen e Kelly e aos meus amigos mais queridos Talita, Thaís, Aline, Sônia, Renata, Matheus e Roberto por toda a parceria, lealdade e apoio.

Aos meus gestores Lucas, Gustavo e Fernanda por toda a oportunidade oferecida e apoio ao meu desenvolvimento.

Ao professor Edvaldo por todo apoio, assim como outros professores que verdadeiramente inspiram alunos a serem pessoas melhores.

RESUMO

No mundo todo tem havido cada vez mais um comprometimento com relação à energia advinda de fontes renováveis, como a eólica. No Brasil as obras de parques eólicos têm crescido, sendo importantes os projetos de vias de acesso mais eficientes e seguros para o transporte de equipamentos. Para esta finalidade, o presente trabalho analisa um estudo de traçado geométrico de acesso a um parque eólico no Brasil. O estudo realizado ao longo deste trabalho teve como objetivo identificar possíveis traçados geométricos para o acesso ao referido parque eólico e analisá-lo de acordo com critérios de engenharia estabelecidos, tendo em vista conformação técnica, viabilidade econômica e impacto ambiental.

A metodologia usada para transcrever o projeto de acesso a este parque eólico inclui: coleta de informações e dados sobre requisitos de projeto e valores de parâmetros, estabelecimento de critérios e análise comparativa das alternativas selecionadas. Deve-se levar em consideração que o campo de estudo inclui apenas o desenho geométrico e a concepção geotécnica preliminar (terraplaenagem), não incluindo outros campos de engenharia, como estudos de pavimentação, hidrologia e sinalização de trânsito. Conclusões importantes deste trabalho remetem ao fato de que as recomendações convencionais do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte) não podem ser utilizadas neste caso, sendo muitas vezes necessário adaptar as recomendações.

Palavras-chave: Acesso a parques eólicos; Engenharia Civil; Engenharia de transporte.

ABSTRACT

A renewed commitment in Worldwide and Brazil to electricity from renewable resources, such as wind, along with the recent growing of wind farm constructions in Brazil makes obtaining the most efficient and safe designs of the access to equipment transportation ever more important. Towards this goal, the present term paper explores a study of geometric design of a wind farm access in Brazil. The study conducted throughout this term paper aimed to identify possibles geometric designs to wind farm access and analyse it according to established engineering criteria as technical conformation, economic feasibility and environmental impact.

The methodology used to transcribe the design of this wind farm access includes: collecting information and datas on design requirements and parameter values, establishment of criterias and comparative analysis of the selected alternatives. It is interesting takes into account that the field of study includes only the geometric design and the preliminary geotechnical conception. This term paper does not include other engineering fields as pavement, hidrology and traffic signal studies. Important conclusions from this work include that the conventional DNIT's (National Department of Transportation Infrastructure) recommendations can not be used in this case and, many times, it was necessary to adapt the recommendations.

Keywords: Wind Farms access, Civil Engineering, Transportation Engineering.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Capacidade mundial acumulada (2001-2017)..... | 10 |
| Figura 2. Países com maior número de instalações em 2017 | 11 |
| Figura 3. Líderes mundiais em capacidade acumulada. | 11 |
| Figura 4. Matriz elétrica brasileira.. | 12 |
| Figura 5. Velocidade média anual do vento a 50 m de altura. | 14 |
| Figura 6. Variação da velocidade do vento com a altura..... | 15 |
| Figura 7. Transporte de pá de um aerogerador | 17 |
| Figura 8. Especificações de caminhão da Volvo FH16. | 18 |
| Figura 9. Exemplos de comprimento e largura do semirreboque de transporte de pá. | 19 |
| Figura 10. Caminhão da Volvo FH16 750 para transporte de gerador..... | 20 |
| Figura 11. Transporte de pá em curva acompanhado de batedor. | 21 |
| Figura 12. Manobra em curva fechada | 23 |
| Figura 13. Modelo físico para análise de desempenho de caminhão em rampas ascendentes. | 26 |
| Figura 14. Declividades mínimas para curvas verticais - critérios de drenagem. | 28 |
| Figura 15. Flecha ou ordenada máxima em curvas verticais..... | 28 |
| Figura 16. Distribuição das elevações do terreno a serem trabalhadas no projeto..... | 30 |
| Figura 17. Mapa geológico da região estudada. | 31 |
| Figura 18. Veículo de projeto utilizado no alinhamento horizontal..... | 33 |
| Figura 19. Dimensões (em metros) da carreta extensiva utilizada em projeto para definição de sobrelarguras..... | 33 |
| Figura 20. Dimensões (em metros) do cavalo 6x2 que auxiliará no transporte da carreta..... | 33 |
| Figura 21. Simulação de transporte de pás eólicas. | 34 |
| Figura 22. Dimensões do guindaste de içamento (mm).... | 35 |
| Figura 23. Carreta típica de transporte da <i>nacelle</i> | 36 |
| Figura 24. Modelo matemático de estudo de corda..... | 37 |
| Figura 25. Seção transversal do acesso (corte e aterro)..... | 38 |
| Figura 26. Alinhamento do traçado 01..... | 40 |
| Figura 27. Greide do traçado 01. | 41 |
| Figura 28. Alinhamento do traçado 02. | 42 |
| Figura 29. Greide do traçado 02. | 43 |
| Figura 30. Curvas significativas no alinhamento 01. | 44 |
| Figura 31. Sobrelargura simulada da Curva 1 do alinhamento 01 (distâncias em metros).... | 45 |
| Figura 32. Sobrelargura simulada da Curva 2 do alinhamento 01. | 45 |
| Figura 33. Sobrelargura simulada da Curva 3 do alinhamento 01. | 46 |
| Figura 34. Sobrelargura simulada da Curva 4 do alinhamento 01. | 47 |
| Figura 35. Gráfico comparativo dos Diagramas de Bruckner dos dois alinhamentos. | 48 |
| Figura 36. Linhas de compensação do alinhamento 01. | 49 |
| Figura 37. Linhas de compensação do alinhamento 02..... | 50 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Estimativas do potencial eólico mundial..... | 8 |
| Tabela 2. Distribuição da área de cada continente segundo a velocidade média do vento. | 13 |
| Tabela 3. Raio mínimo de curvatura horizontal para velocidades de projetos estabelecidos, valores maximos de superelevacao e fator de atrito..... | 22 |
| Tabela 4. Tabela com definição dos parâmetros relevantes para o modelo físico de desempenho do caminhão..... | 26 |
| Tabela 5. Fatores condicionantes de projeto. | 31 |
| Tabela 6. Dimensões relevantes para caminhão transportador das pás..... | 34 |
| Tabela 7. DMT do alinhamento 01..... | 49 |
| Tabela 8. DMT do alinhamento 02..... | 51 |
| Tabela 9. Parâmetros utilizados para o custo de terraplanagem..... | 51 |
| Tabela 10. Orçamento de terraplanagem do alinhamento 01..... | 52 |
| Tabela 11. Orçamento de terraplanagem do alinhamento 02..... | 52 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------|--|
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| CV | Cavalo-vapor |
| d | Distância |
| DNIT | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes |
| F | Força |
| h | Hora |
| K | Parâmetro de concavidade de curvas verticais |
| Kg | Quilograma |
| km | Quilômetro |
| m | Metro |
| min | Minuto |
| PCV | Ponto de curva vertical |
| PIV | Ponto de inflexão vertical |
| PTV | Ponto de tangente vertical |
| R | Resultante |
| Rmin | Raio mínimo |
| s | Segundo |
| t | Tempo |
| tf | Tonelada-força |
| ton | Tonelada |
| V | Velocidade |

SUMÁRIO

| | | |
|-----------|--|----|
| 1 | Introdução..... | 8 |
| 2 | Objetivos..... | 9 |
| 3 | Justificativa..... | 9 |
| 4 | Revisão bibliográfica | 10 |
| 4.1 | Contexto da energia eólica..... | 10 |
| 4.2 | Projeto de parque eólico | 12 |
| 4.2.1 | Considerações iniciais | 12 |
| 4.2.2 | Potencial eólico e aproveitamento de energia | 13 |
| 4.3 | Vias de acesso | 15 |
| 4.3.1 | Alinhamento horizontal | 20 |
| 4.3.1.1 | Raio mínimo | 21 |
| 4.3.1.2 | Superlargura..... | 23 |
| 4.3.1.3 | Superelevação | 24 |
| 4.3.2 | Alinhamento vertical | 24 |
| 4.3.2.1 | Critério da distância de visibilidade necessária | 25 |
| 4.3.2.1.1 | Rampas máximas..... | 25 |
| 4.3.2.1.2 | Concordância vertical e o coeficiente K..... | 27 |
| 5 | Método..... | 28 |
| 6 | Desenvolvimento do tema | 29 |
| 6.1 | Coleta e compilação de dados..... | 29 |
| 6.1.1 | Topografia | 29 |
| 6.1.2 | Dados geológicos e/ou geotécnicos preexistentes | 30 |
| 6.2 | Identificação das possíveis diretrizes..... | 31 |
| 6.2.1 | Número de pistas e velocidade diretriz..... | 32 |
| 6.2.2 | Veículos de projeto..... | 32 |
| 6.2.2.1 | Caminhão transportador da pá | 32 |
| 6.2.2.1.1 | Guindastes | 34 |
| 6.2.2.1.2 | Caminhão transportador da <i>nacelle</i> | 35 |
| 6.2.3 | Alinhamento horizontal | 36 |
| 6.2.4 | Alinhamento vertical | 36 |
| 6.2.5 | Seção transversal | 38 |
| 6.3 | Estabelecimento de critérios | 38 |
| 6.4 | Identificação das alternativas de traçado | 39 |
| 6.5 | Seleção da alternativa de traçado | 52 |
| 7 | Conclusões..... | 54 |
| 8 | Referências bibliográficas | 55 |

1 INTRODUÇÃO

A demanda energética é uma realidade incontestável no contexto contemporâneo. A crescente necessidade de suprimento de energia, que pode ser obtida a partir da transformação dos mais variados e diversos recursos, pode ter uma multiplicidade de origens. Hoje, grande parte da energia consumida no mundo tem como proveniência fontes não renováveis, uma vez que possuem elevado rendimento energético, preços atrativos, alta geração de empregos e detém infraestrutura já consolidada para geração e distribuição. O maior exemplo de fonte não renovável de energia é o petróleo, sendo grande responsável pela emissão de gases poluentes e de efeito estufa na atmosfera. Com este panorama, o chamado por fontes alternativas seria inevitável, alinhado com um contexto de busca por soluções que causem menos impactos negativos ao meio ambiente, mais sustentáveis e que, ainda, atendam às necessidades da crescente população mundial e progresso da tecnologia.

Deste ponto, surge como possibilidade a energia eólica. Um tipo de energia abundante, renovável, considerada fonte de energia limpa e que pode ser obtida em locais diversificados do globo terrestre, contanto que atenda às condições necessárias. Trata-se do processo pelo qual o vento é transformado em energia cinética e a partir desta, em eletricidade através do uso de aerogeradores. Neles, o esforço do vento atua nas pás, que conectadas a uma turbina, aciona um gerador elétrico.

A energia eólica já existe há mais de 3 milênios, sendo utilizada através de moinhos com a finalidade de moer grãos, bombear ou drenar água e auxiliar em outras atividades de demanda mecânica.

Atualmente, a nível mundial, a estimativa é que a energia eólica tenha um potencial bruto de utilização de quase 500.000 TWh/ano, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Estimativas do potencial eólico mundial.

| Região | Porcentagem de terra ocupada* | Potencial bruto (TWh/ano) | Densidade demográfica (hab/km ²) | Potencial líquido (TWh/ano) |
|----------------------------|-------------------------------|---------------------------|--|-----------------------------|
| África | 24 | 106.000 | 20 | 10.600 |
| Austrália | 17 | 30.000 | 2 | 3.000 |
| América do Norte | 35 | 139.000 | 15 | 14.000 |
| América Latina | 18 | 54.000 | 15 | 5.400 |
| Europa Ocidental | 42 | 31.400 | 102 | 4.800 |
| Europa Ocidental & ex-URSS | 29 | 106.000 | 13 | 10.600 |
| Ásia (excluindo ex-URSS) | 9 | 32.000 | 100 | 4.900 |
| Mundo | 23 | 498.400 | - | 53.000 |

Fonte: GRUBB & Meyer (1993).

Além disso, a matriz de energia eólica aponta um enorme crescimento mundial, sendo que o segmento já é responsável por 8,4% da energia produzida no Brasil.

2 OBJETIVOS

A proposta deste trabalho de formatura é fazer um estudo de traçado para um projeto de via de acesso para implantação de um parque eólico no Brasil. O estudo de traçado terá como finalidade primordial identificar as alternativas de traçado, identificar critérios a serem considerados na realização dos estudos e, assim, avaliar comparativamente as alternativas levantadas.

No âmbito da engenharia quesitos como dados climáticos, fluviométricos e coordenação com projetos de pavimentação, sinalização, entre outros assuntos pertinentes, também seriam necessários, entretanto, neste trabalho estes aspectos não serão abordados. Quando estritamente necessários para fins geométricos, os assuntos mencionados serão retratados arbitrariamente, onde os limites do trabalho tratarão quesitos de traçado viário como geometria, topografia, movimentação de equipamentos e, superficialmente, estudo de solos.

Dadas suas especificidades e veículos de projetos, os traçados não irão corresponder amplamente àqueles recomendados por bibliografias de referência como, por exemplo, o Manual do DNIT, sendo necessárias adequações conforme o trabalho a seguir. Com isso, busca-se a abordagem do estudo a ser estruturado visando aspectos de melhor adequação para o desafio proposto.

3 JUSTIFICATIVA

Diante do cenário mundial de constantes mudanças climáticas, catástrofes naturais, degradação ambiental, poluição do ar atmosférico e cada vez mais intervenções humanas no meio ambiente causadas pela utilização de combustíveis fósseis, surge-se a busca por fontes alternativas de geração de energia. Juntamente com a crescente preocupação em sustentabilidade, essa busca demanda, também, a não emissão de gases poluentes e minimização de impactos ambientais negativos.

A matriz energética brasileira é baseada no uso de hidrelétricas, fato explicado pela enorme bacia hidrográfica que o Brasil apresenta. No entanto, mesmo sendo considerada energia limpa, tendo em vista que não participa na emissão de gases de efeito estufa e poluentes, implementações de hidrelétricas apresentam-se como fatores geradores de diversos problemas ambientais, sociais e econômicos, tais como alagamentos, deslocamento populacional e destruição de ecossistemas. Assim, a necessidade de busca de formas

alternativas que viabilizem melhores condições e mitigações no âmbito de impactos ambientais negativos dita essa nova demanda, como o uso de energia eólica.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Contexto da energia eólica

A Figura 1 apresenta a capacidade mundial acumulada em energia eólica entre 2001 e 2017, onde nota-se uma elevação significativa em pouco mais de 15 anos.

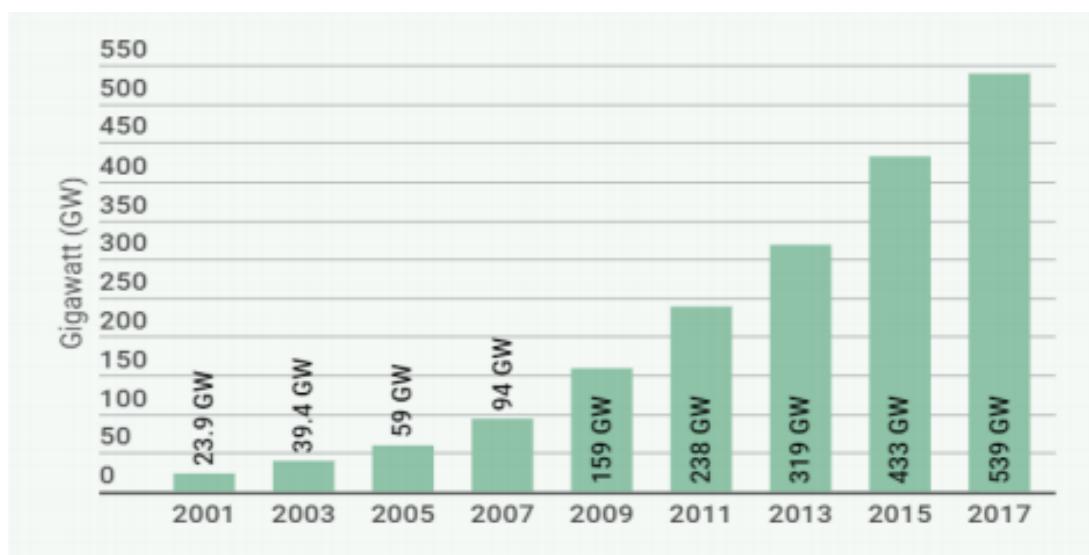


Figura 1. Capacidade mundial acumulada (2001-2017). Fonte: Barbosa (2018).

De acordo com relatórios anuais globais de energia eólica divulgados pelo *Global Wind Energy Council* (GWEC), em 2017, totalizou-se cerca de 539,58 GW em instalações deste tipo globalmente. A China é a líder mundial em instalações eólicas (Figura 2), tendo acrescido em 2017 quase 20 GW em projetos destes à sua matriz energética. O segundo lugar fica com os Estados Unidos (Figura 3), que instalaram 7,1 GW a mais naquele ano, e que apresenta boas perspectivas para os próximos anos, sendo favorecidas pela compra corporativa de energia renovável por gigantes como Microsoft, Google, Apple, Nike, Walmart e Facebook. Em 2017 também houve o primeiro leilão sem subsídio de energia eólica na Alemanha, com propostas para mais de 1 GW de nova capacidade.

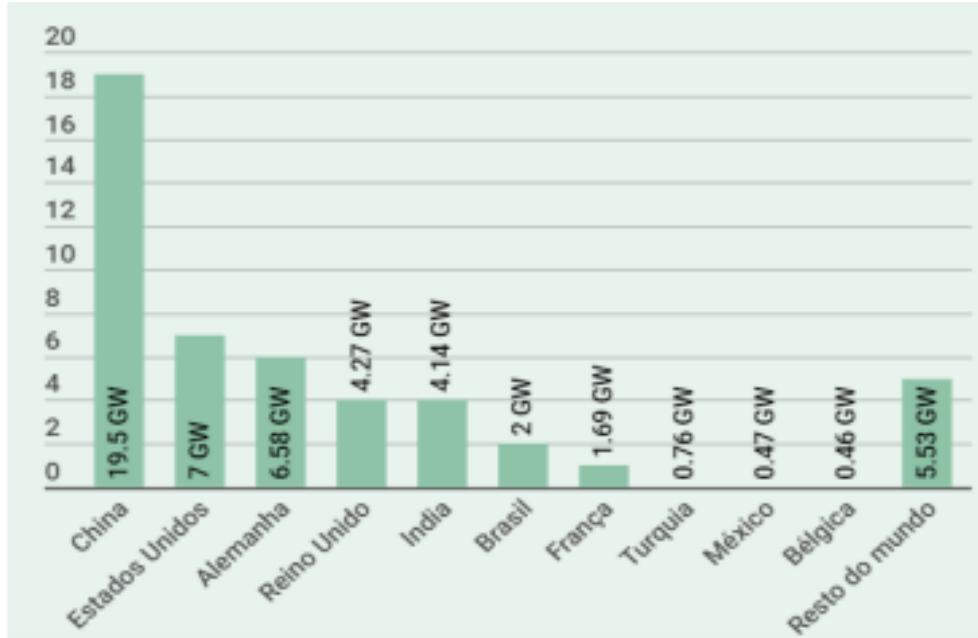


Figura 2. Países com maior número de instalações em 2017. Fonte: Barbosa (2018).

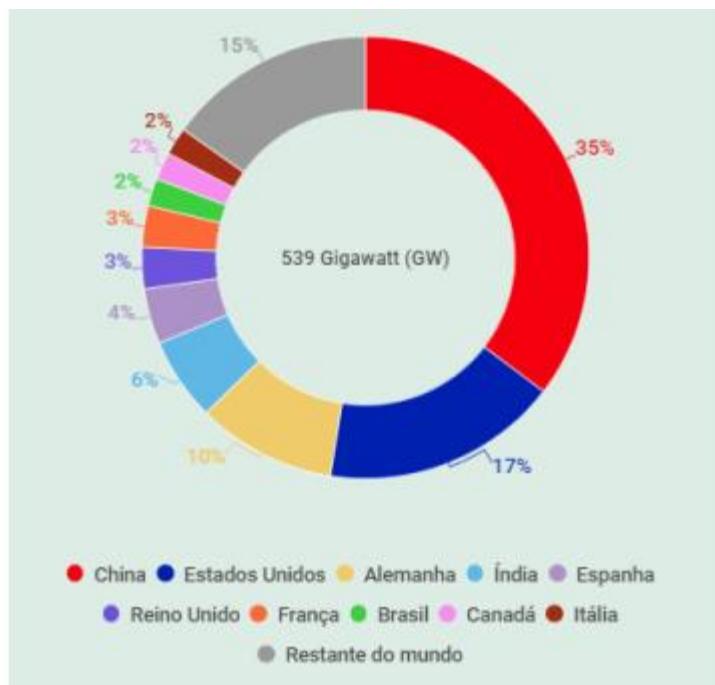


Figura 3. Líderes mundiais em capacidade acumulada. Fonte: Barbosa (2018).

No Brasil, o primeiro local de instalação de turbina de energia eólica foi em Fernando de Noronha, em 1992. Em fevereiro de 2017, o Brasil possuía 10,8 GW de energia eólica em operação, representando assim 7,1% da matriz elétrica brasileira e o 9º lugar na geração eólica no mundo. Atualmente, o Brasil conta com mais de 15 GW de capacidade instalada de energia

eólica em mais de cerca de 601 parques eólicos com 7000 aerogeradores espalhados em 12 estados (Figura 4).

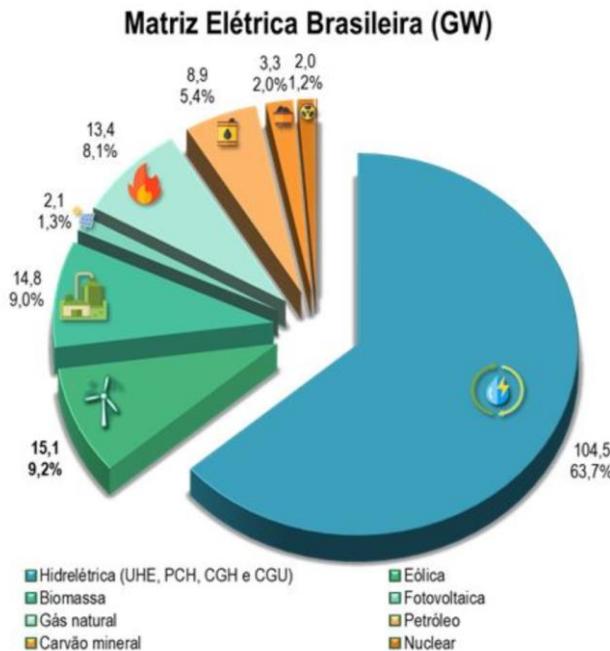


Figura 4. Matriz elétrica brasileira. Fonte: CANAL ENERGIA (2019).

Os números tendem a demonstrar um mercado muito promissor para o país: há uma estimativa de que até o final de 2023 o país chegue com capacidade instalada de aproximadamente 19,7 GW. Além disso, nos próximos 4 anos serão R\$60 bilhões em investimentos já garantidos por contratos e 150 mil novos empregos diretos e indiretos gerados por conta destes novos projetos. Apesar de ter tido crescimento significativo, ainda há muito potencial a ser explorado. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o Brasil tem potencial de 300 GW de energia eólica, que corresponde a 2,2 vezes a matriz elétrica brasileira.

4.2 PROJETO DE PARQUE EÓLICO

4.2.1 Considerações iniciais

A construção de um parque eólico trata de multidisciplinaridade no âmbito da engenharia, pois envolve diversas abordagens e temas a serem considerados. Um dos fatores chave na construção é a locação deste, além de seus acessos, que devem ser feitos através de vias suficientemente largas e seguras para o transporte de peças e equipamentos para a implantação, operação e manutenção das usinas.

4.2.2 Potencial eólico e aproveitamento de energia

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2018), estima-se que o “potencial eólico bruto mundial seja da ordem de 500.000 TWh por ano”. Segundo GRUBB e MEYER (1993) para que a energia eólica seja considerada tecnicamente aproveitável, é necessário que sua densidade seja ao menos de 500 W/m², considerando uma altura de 50 m da base a altura do centro da turbina, com uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s. Segundo a Organização Mundial de Meteorologia (OMS, 2017), em apenas 13% da superfície terrestre o vento apresenta velocidade média igual ou superior a 7 m/s, a uma altura de 50 m. Esse percentual varia muito entre regiões e continentes, chegando a 10% na América, como indicado na Tabela 2.

Tabela 2. Distribuição da área de cada continente segundo a velocidade média do vento.

| Região/Continente | Velocidade do Vento (m/s) a 50 m de Altura | | | | | |
|----------------------------|---|-----|---|----|--|----|
| | 6,4 a 7,0 (10 ³ km ²) | | 7,0 a 7,5 (10 ³ km ²) | | 7,5 a 11,9 (10 ³ km ²) | |
| | (10 ³ km ²) | % | (10 ³ km ²) | % | (10 ³ km ²) | % |
| África | 3750 | 12 | 3350 | 11 | 200 | 1 |
| Austrália | 850 | 8 | 400 | 4 | 550 | 5 |
| América do Norte | 2550 | 12 | 1750 | 8 | 3350 | 15 |
| América Latina | 1400 | 8 | 850 | 5 | 950 | 5 |
| Europa Ocidental | 345 | 8,6 | 416 | 10 | 371 | 22 |
| Europa Ocidental & ex-URSS | 3377 | 15 | 2260 | 10 | 1146 | 5 |
| Ásia (excluindo ex-URSS) | 1550 | 6 | 450 | 2 | 200 | 5 |
| Mundo | 13650 | 10 | 9550 | 7 | 8350 | 6 |

Fonte: Grubb & Meyer (1993).

Ainda sobre apontamentos da ANEEL, a Agência indica outro estudo importante, em âmbito nacional, publicado pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica – CRESESB/CEPEL. Trata-se do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, que descreve a distribuição do potencial de vento devido a distribuição de velocidade média. Existem também outros estudos específicos por unidades da Federação, desenvolvidos por iniciativas locais (Figura 5).

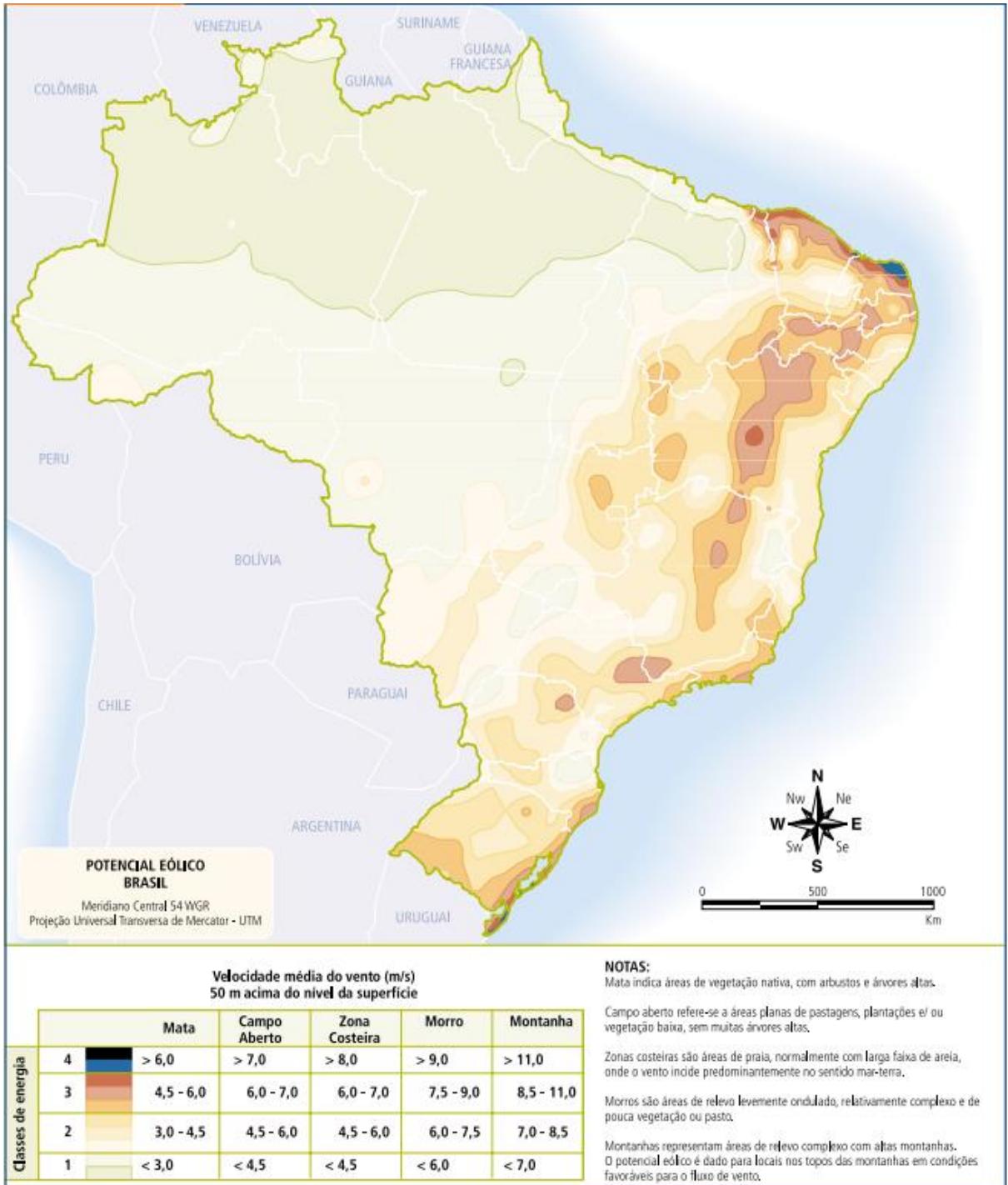


Figura 5. Velocidade média anual do vento a 50 m de altura.

Fonte: FEITOSA *et al.* (2003).

A decisão da alocação e montagem definitiva de um parque eólico está condicionada a uma série de estudos, medições e análises, uma vez que utiliza diversos critérios como: proximidade a centros de consumo e subestações de distribuição; topografia do terreno; estudos de ventos; questões fundiárias e restrições sócio-ambientais. Pode-se dizer que a localização de construção é um fator chave ao projeto de parque eólico, já que o relevo

influencia na distribuição, frequência e velocidade dos ventos em um determinado local e na eficiência da energia eólica.

Em uma primeira etapa, é essencial conhecer o terreno e seu entorno, onde se pretende construir o parque. Tal identificação envolve um reconhecimento de uma área útil para o parque eólico, conhecimento da disposição do regime de ventos e avaliação da capacidade resistente e de suporte do solo. Para avaliar o potencial eólico de uma região, requerem-se trabalhos sistemáticos de coleta e análise de dados sobre a velocidade e o regime de ventos.

Sobre esta abordagem, Gouveia (2013) retrata que quanto mais acentuada for a rugosidade do terreno, maior será o abrandamento do vento. Na Figura 6 observa-se que em zona urbana é possível se obter uma velocidade de vento de 45 m/s para uma altura do solo de aproximadamente 475 m, enquanto que em zona rústica com menor número de obstáculos essa velocidade é atingida para uma altura de 375 m e na zona costeira, livre de obstáculos, a mesma velocidade de vento é atingida em altura menor (300 m).

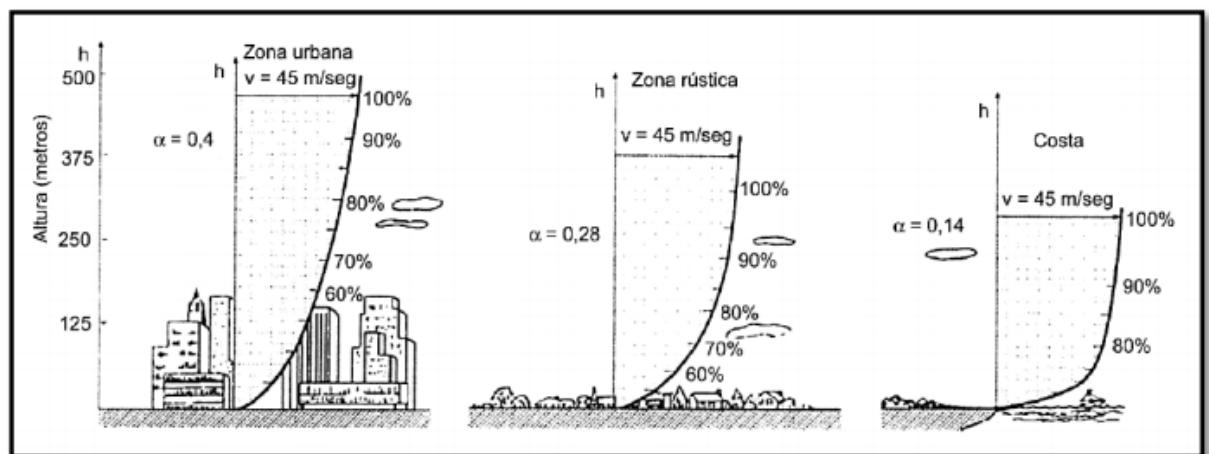


Figura 6. Variação da velocidade do vento com a altura.

Fonte: Gouveia (2013).

Assim sendo, é fundamental considerar os obstáculos existentes a menos de 1 quilômetro em qualquer uma das direções mais importantes do vento que fará com que a turbina eólica gire ao se calcular a produção de energia de um aerogerador.

4.3 VIAS DE ACESSO

Segundo o Departamento de Infraestrutura de Transportes (DNIT), através de seu Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (1999), para um projeto de infraestrutura de vias, a largura do veículo influencia na largura da pista de rolamento, a distância entre

eixos influí no cálculo da superlargura das pistas principais e na determinação da largura e dos raios mínimos internos das pistas e a relação peso bruto total/ potência relaciona-se com o valor da rampa máxima admissível.

Com isso, para fins de projeto, conforme recomenda o DNIT (1999), é necessário examinar todos os tipos de veículos e estabelecer a representatividade dos tamanhos dos veículos dentro de cada finalidade. O DNIT retrata que a grande variedade de veículos conduz à escolha, para fins práticos, de tipos representativos, que em dimensões e limitações de manobra, excedam a maioria dos de sua classe. A estes veículos é dada a designação de veículos de projeto, os quais são definidos como os veículos selecionados cujo peso, dimensões e características de operação servirão de base para estabelecer os controles do projeto.

Projetos de parques eólicos constituem-se em projetos diferenciados devido aos componentes de transporte específicos. Trata-se de estudo de veículos pesados (caminhões) com cavalos mecânicos, carretas articuladas, que podem ou não ter eixos-guiados e que transportam elementos de grandes em quesitos dimensionais (pá do aerogerador) e de carga (nacelle).

Assim, como configura o DNIT (1999), para o projeto de estudo é de suma importância a análise das características físicas dos veículos e a proporção entre os veículos viários de vários tipos para a definição dos parâmetros que condicionam os diversos aspectos do dimensionamento geométrico e estrutural de uma via.

Com isso, no estudo de projetos eólicos faz-se necessário examinar os tipos de caminhões atrelados aos tipos de componentes de aerogerador a se transportar, selecionando-os conforme o tipo de alinhamento a se determinar. A necessidade de caracterização para estes veículos-tipos atrela-se a limitações de dimensões e de manobra nas quais a via deve ser compatibilizada.

Para o alinhamento horizontal configura-se como veículo de projeto crítico aquele que possui maior comprimento. Neste contexto, trata-se do caminhão que transporta as pás do aerogerador (Figura 7). Existem diversos tamanhos de pás, dependendo do modelo e fornecedor de aerogerador. Hoje em dia, por exemplo, existem pás com mais de 60 m de comprimento e, com isso, requerem caminhões que possam transportar este tipo de carga.

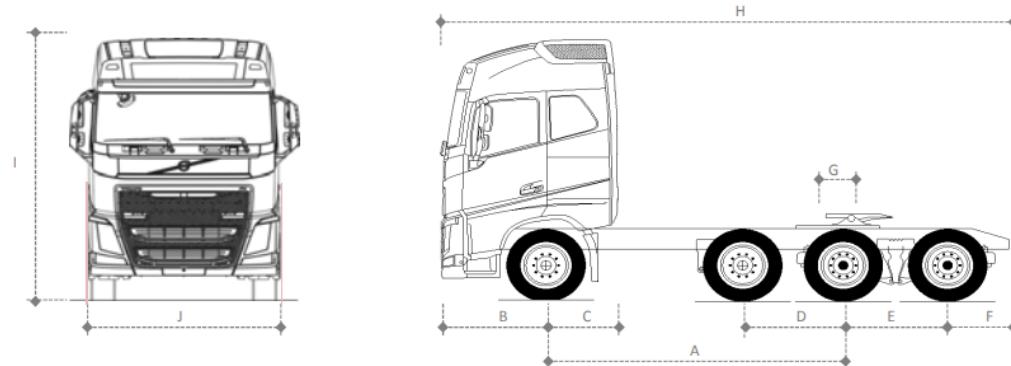


Figura 7. Transporte de pá de um aerogerador

Fonte: <http://www.pastre.com.br/pastrinho/2014/05/semirreboques-pastre-transportam-paseolicas-de-60-metros/>

Em site de marcas dos caminhões, é possível encontrar especificações sobre o produto e ficha técnica. Na Figura 8 tem-se as informações retiradas no site marca Volvo (2018) de caminhão tipo de 750 CV com 8 rodas, sendo 4 delas com tração e na Figura 9 uma ilustração-exemplo de comprimento e largura do semirreboque de transporte de pá.

FH 8x4T



Dimensões (mm)

| | | |
|--|------|------|
| A Entre eixos | 3900 | 4300 |
| B Balanço dianteiro | 1365 | 1365 |
| C Distância eixo dianteiro/implemento | 975 | 975 |
| D Distância entre 2º direcional e 1º trativo | 1320 | 1320 |
| E Distância entre os eixos traseiros | 1370 | 1370 |
| F Balanço traseiro | 805 | 805 |
| G Posição da 5ª roda | 100 | 100 |
| H Comprimento total | 8760 | 9160 |
| I Altura da cabine leito | 3424 | 3424 |
| J Largura da cabine | 2494 | 2494 |
| Raio de giro | 8687 | 9300 |

Altura externa máxima, sem carga, sem defletor, suspensão traseira pneumática, pneus 295/80 R22.5

Para cabines CAB-HSLP somar 370mm e para CAB-XHSL somar 506mm à altura.

Todas as medidas são referência e podem variar de acordo com opcionais.

Pesos (kgf)

| | | |
|-----------------------|-------|-------|
| Tara eixo dianteiro | 5471 | 5489 |
| Tara no eixo traseiro | 4633 | 4647 |
| Tara total do chassis | 10104 | 10136 |
| Tanque de combustível | 90* | 90* |

Peso para veículos standard, em ordem de marcha, com estepe e sem motorista. Tolerância de 3%. (REF NBR/ISO 1776).

A inclusão de opcionais pode modificar os pesos acima.

*Tanque de 90l de transporte.

Figura 8. Especificações de caminhão da Volvo FH16. Fonte: Volvo (2018).

Para análise de desempenho de caminhões em rampas, é necessário o estabelecimento de peso/potência do equipamento. Conforme a tabela fornecida no site, tem-se que o peso da tara total referente ao caminhão em questão é de 10136 kgf ou 10,1 tf. Além dessa informação, a fabricante reporta o valor de CMT (Capacidade Máxima de Tração), que é a indicação do máximo de carga, que está relacionada à capacidade máxima de tração e o peso máximo que um veículo pode tracionar. Este valor é definido de acordo com limitações do veículo para geração e multiplicação de força, resistência e manipulação do caminhão. É uma

medida de segurança, para garantir que o veículo não seja carregado acima do que é capaz. Para o caminhão em estudo, o CMT é de 200 tf (VOLVO, 2018).



Figura 9. Exemplos de comprimento e largura do semirreboque de transporte de pá.

Fonte: <http://www.pastre.com.br/pastrinho/2014/05/semirreboques-pastre-transportam-pas-eolicas-de-60-metros/>

Para o alinhamento vertical, deve-se utilizar o caminhão que transporta o componente mais pesado, pois ele deverá ser capaz de vencer as rampas máximas especificadas para o projeto. Trata-se do caminhão de transporte da *nacelle*. Porém, deve-se notar que o caminhão com a maior distância entre o pivô de apoio do semirreboque e o primeiro eixo traseiro é o com maior risco de ficar “preso” se a parte mais baixa tocar no solo durante uma curva vertical. Por esse motivo, o caminhão mais comprido, o que transporta as pás, deve ser levado em consideração também no alinhamento vertical.

O caminhão da Figura 10, carregado com um gerador WEG de 53 toneladas, é um Volvo FH 16 750, assinalado como um dos caminhões com maior capacidade de carga existente.



Figura 10. Caminhão da Volvo FH16 750 para transporte de gerador
 Fonte:<http://www.cargonews.com.br/caminhao-mais-potente-mundo-faz-primeiro-transporte-especial/>

Um ponto de análise é o semirreboque atrelado ao caminhão. Nota-se que este possui um eixo mais rebaixado, sendo que sua altura pode ser crítica em termos de alinhamento vertical e ponto de curvatura de rampa, como assinalado anteriormente.

4.3.1 Alinhamento horizontal

A utilização das rodovias internas do parque eólico pode ser dividida em dois momentos: implantação do parque e operação.

As peculiaridades dos veículos e equipamentos envolvidos nas diferentes fases fazem com que muitos critérios empregados na elaboração de alinhamentos verticais e horizontais de rodovias convencionais não sejam adequados para este projeto e, por isso, não possam ser utilizados.

A exemplificar, o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais do DNIT (1999) aborda o fato que os traçados devem ser considerados como entidades tridimensionais contínuas, de fluentes e gradativas mudanças de direção. Assim, “*para essas suaves mudanças de direção e a perfeita inserção da estrada na topografia, o método tradicional de serem fixadas tangentes longas como unidades básicas de projeto, concordadas com arcos de circunferência de raio pequeno é inadequado.*” Ele afirma que com desenvolvimento tão longo quanto possível e ligação com pequenas tangentes concordadas com espirais de transição seria adequado. De prontidão observa-se que tais recomendações podem não se adequar para projetos eólicos.

Segundo o GeoConsult (2015), “*o traçado horizontal das vias internas é elaborado visando a interligação das plataformas em função do posicionamento dos aerogeradores,*

anteriormente definidos pelo estudo de micro localização (micrositing) e nas condições mais favoráveis em relação à movimentação de terra no local de implantação”.

4.3.1.1 Raio mínimo

Segundo DNIT (1999), as curvas devem ser projetadas de forma a permitir que os veículos consigam trafegar com velocidade razoável por elas, exceto em trechos onde a topografia, com declividades muito acentuadas, obrigue a via a seguir em “zigue-zague”, com curvas fechadas de raio pequeno. Nesses casos, a velocidade é muito reduzida e a largura da pista passa a ser um fator limitante.

Na Figura 11 é possível verificar um caminhão transportador de pá e a manobra referente a curva em que está vinculado.



Figura 11. Transporte de pá em curva acompanhado de batedor.

Fonte: <http://noctula.pt/acompanhamento-ambiental-e-arqueologico-de-obra/transporte-pa-aerogerador/>

No contexto de projetos eólicos as estradas internas do parque eólico interferem na ampliação adicional. Segundo Miceli (2012), um dos problemas freqüentemente encontrados no projeto e na construção dos parques é que as curvas das estradas com raio reduzido geralmente precisam de um alargamento adicional para permitir a passagem dos caminhões com os componentes dos aerogeradores e, em geral, os maiores problemas surgem com as lâminas. Ainda segundo o autor, existem muitas variáveis para simplificar o problema e fornecer um único valor "tamanho único" como:

- Ângulo entre tangente de entrada e saída da dobra: quanto menor o ângulo, maior o alargamento;
- Raio de curvatura: raios menores significam maior alargamento;
- Tipo de veículo (número de rodas, centro do círculo de viragem, dimensões);
- Diferentes trajetórias possíveis escolhidas pelo motorista;
- Uso de controle independente de rodas reais.

Segundo AASHTO (2011), os valores de raios mínimos de curvatura horizontal podem ser considerados conforme velocidades de projetos estabelecidos, valores máximos de superelevação e fator de atrito, conforme Tabela 3.

Tabela 3. Raio mínimo de curvatura horizontal para velocidades de projetos estabelecidos, valores máximos de superelevação e fator de atrito.

| Velocidade de projeto (km/h) | Superelevação máxima e % | Fator de atrito máximo f | Total (e/100 + f) | Raio mínimo calculado (m) | Raio mínimo adotado (m) |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------------|
| 15 | | 0,40 | 0,46 | 3,9 | 4 |
| 20 | | 0,35 | 0,41 | 7,7 | 8 |
| 30 | | 0,28 | 0,34 | 20,8 | 21 |
| 40 | | 0,23 | 0,29 | 43,4 | 43 |
| 50 | | 0,19 | 0,25 | 78,7 | 79 |
| 60 | | 0,17 | 0,23 | 123,2 | 123 |
| 70 | 6,0 | 0,15 | 0,21 | 183,7 | 184 |
| 80 | | 0,14 | 0,20 | 252,0 | 252 |
| 90 | | 0,13 | 0,18 | 335,0 | 336 |
| 100 | | 0,12 | 0,18 | 437,4 | 437 |
| 110 | | 0,11 | 0,17 | 560,4 | 560 |
| 120 | | 0,09 | 0,15 | 755,9 | 756 |
| 130 | | 0,08 | 0,14 | 950,5 | 951 |

Fonte: AASHTO (2011).

4.3.1.2 Superlargura

Segundo o DNIT (1999), a largura de uma pista de rodovia é determinada em função das larguras máximas dos veículos que a utilizam e das suas velocidades. Em uma curva, essa largura precisa aumentar para manter a distância mínima lateral entre veículos e objetos ao longo da via, pois os veículos são rígidos, não acompanhando a curvatura. Segundo o DNIT (2005), superlargura trata do acréscimo total de largura proporcionado às pistas em curvas, de forma a considerar as exigências operacionais então decorrentes, crescentes com a curvatura, e assegurar um padrão adequado de segurança e conforto de dirigir.

Para veículos articulados como os caminhões com semirreboques, as diferentes partes do veículo seguem trajetórias distintas, necessitando de espaços adicionais tanto no lado interno da curva como no externo, ao entrar e ao sair dela. No caso das pás da hélice, o espaço ocupado é ainda maior, pois elas normalmente excedem o comprimento do reboque, ficando alguns metros em balanço atrás do caminhão (Figura 12).



Figura 12. Manobra em curva fechada
Fonte: <http://www.collett.co.uk/index.php/sectors/renewables>

A estimativa do alargamento real pode ser feita por meio de tabelas fornecidas pelos fabricantes dos aerogeradores, mas elas não fornecem a precisão e flexibilidade normalmente obtida com um software como o AutoTURN ou Vehicle Tracking, pois existem muitas variáveis que tornam difícil simplificar o problema.

4.3.1.3 Superelevação

Segundo o DNIT (1999) a superelevação retrata a inclinação transversal adotadas nas curvas para reduzir em parte a ação da força centrífuga e permitir que o veículo tenha estabilidade durante o percurso.

Ela permite aumentar a velocidade, segurança e conforto ao diminuir a dependência do atrito transversal em curvas. Apesar de muito importante no projeto geométrico de rodovias, a superelevação não será considerada, pois o aumento de custo para projetar e construir se mostra vantajoso onde manter uma velocidade alta e o conforto são fatores cruciais, o que não é o caso do parque eólico. A velocidades baixas, a superelevação é pequena e pode ser mais vantajoso fazer uma curva um pouco mais aberta e reduzir um pouco a velocidade do veículo no trecho.

Além disso, os caminhões que transportam as pás e outros componentes como os segmentos da torre possuem o centro de gravidade muito alto por causa da altura da carga, havendo risco de tombamento em trechos com inclinação lateral.

4.3.2 Alinhamento vertical

Segundo o DNIT (1999), visando a manutenção da atenção do motorista, para o projeto de greide é interessante evitar frequentes alterações de menor vulto nos valores das rampas. Ele aborda que “*estas deverão ser tão contínuas quanto possível e deverão ser evitados sempre que possíveis curvas verticais no mesmo sentido separadas por pequenas extensões de rampa.*”

Ainda no referido manual tem-se que “*em trechos longos de rampa, é conveniente dispor as rampas mais íngremes na parte inferior e as rampas mais suaves no topo, para tirar proveito do impulso acumulado no segundo plano ou descendente anterior à subida.*” Há abordagem também ser considerada a conveniência de intercalar, no caso de rampas íngremes, trechos com rampas mais suaves, em vez de dispor uma única rampa contínua. Greides excessivamente colados, muitas vezes associados a traçados sensivelmente retos, são indesejáveis por motivos estéticos e por proporcionarem situações perigosas em terrenos levemente ondulados, a sucessão de pequenas lombadas e depressões oculta veículos nos pontos baixos, dando uma falsa impressão de oportunidade de ultrapassagem.

4.3.2.1 Critério da distância de visibilidade necessária

Segundo o DNIT (1999), seriam duas as principais distâncias de visibilidade a serem consideradas – de parada e de ultrapassagem. Para o trabalho aqui proposto, a distância de visibilidade de passagem não será considerada uma vez que os acessos a serem trabalhados são acessos simples bidirecionais.

4.3.2.1.1 Rampas máximas

As rampas desempenham um papel de extrema importância, tratando-se do âmbito de alinhamento vertical. O manual DNIT (1999) aborda que a “*principal limitação ao emprego de rampas suaves é constituída pelo fator econômico, traduzido pelo aumento do custo de construção em regiões topograficamente desfavoráveis.*” Conforme esta referência, o estabelecimento de rampas máximas visa conferir um equilíbrio entre esse fator e os desempenhos operacionais dos veículos, principalmente, no consumo e desgaste, e também quanto ao aumento do tempo de viagem, procurando-se ainda homogeneizar as características e o padrão das rodovias. É interessante assinalar que os valores das rampas devem também ser condizentes com as demais características técnicas e operacionais da via.

É de se esperar que em projetos viários sejam empregadas rampas suaves, entretanto, esse critério tem como principal limitação o aspecto econômico, uma vez que implica em aumento do custo de construção em regiões topograficamente desfavoráveis.

Rampas máximas devem balancear o fator econômico e o desempenho operacional dos veículos e serem coerentes com as características técnicas e operacionais. Demarchi (2001) estudou o desempenho de veículos pesados de massa, modelo e potência conhecidas a partir de curvas empíricas de desempenho em rampas ascendentes com metodologia na qual fazia medições a cada 100 m ao longo da rampa, obtendo curvas de desaceleração empíricas comparadas com curvas obtidas através de modelo analítico que considera a segunda lei de Newton onde a massa bruta total do caminhão, a potência do motor, a área frontal, composição da carroceria, além de outros parâmetros conforme ilustra a Figura 13 e a Tabela 4.

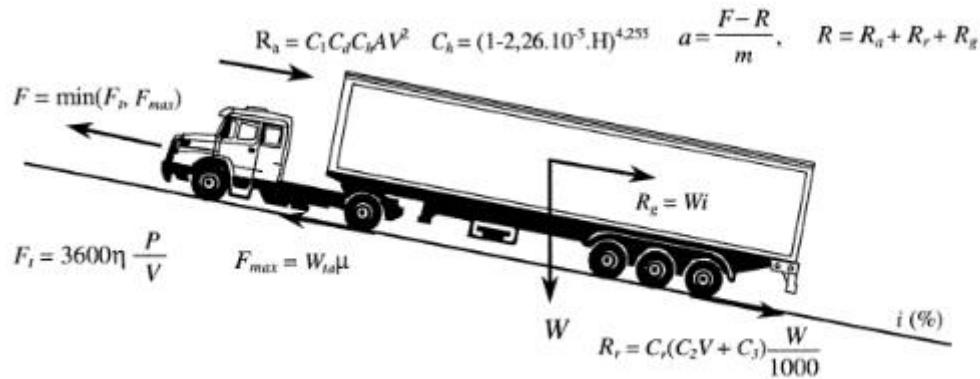


Figura 13. Modelo físico para análise de desempenho de caminhão em rampas ascendentes. Fonte: DEMARCHI (2001)

Tabela 4. Tabela com definição dos parâmetros relevantes para o modelo físico de desempenho do caminhão.

| Parâmetro | Definição | Parâmetro | Definição |
|-----------|---|-----------|-------------------------------------|
| V | Velocidade (km/h) | R | Resistência total (N) |
| a | Aceleração (m/s^2) | R_a | Resistência aerodinâmica (N) |
| F | Força motriz (N) | R_r | Resistência de rolamento (N) |
| F_t | Força de tração (N) | R_g | Resistência de rampa (N) |
| F_{max} | Força de tração máxima (N) | C_1 | Constante = 0,047285 |
| P | Potência do motor (kW) | C_d | Coeficiente de arrasto aerodinâmico |
| η | Coeficiente de eficiência da transmissão | C_h | Coeficiente de correção de altitude |
| W | Peso do veículo (N) | H | Altitude (m) |
| m | Massa do veículo (kg) | A | Área frontal (m^2) |
| W_{tn} | Peso do veículo atuante do eixo motriz (N) | C_2 | Constante para tipo de pneu |
| μ | Coeficiente de atrito estático pneu-pavimento | C_3 | Constante para tipo de pneu |
| i | Inclinação da rampa (%) | C_r | Coeficiente de rolamento |

Fonte: DEMARCHI (2001).

Segundo o estudo, a sensibilidade devido à variação dos coeficientes aerodinâmicos afetam de forma pouco significativa os resultados, enquanto que os coeficientes sujeitos aos parâmetros para quesito de rolamento (por exemplo, tipo de pneu) afetariam muito mais significativamente na sensibilidade de variação.

Em suma, é de se constatar que a limitação ao emprego de rampas suaves é estabelecida pelo alto custo de terraplanagem em regiões topograficamente desfavoráveis. Com isso, a procura por determinação de rampa máxima objetiva uma melhor concordância entre quesitos econômicos e desempenho operacional dos caminhões.

Além disso, segundo DNER para estudo de rampas máximas, a extensão de rampas acima de 8% seria desejavelmente limitada a 300 m contínuos.

4.3.2.1.2 Concordância vertical e o coeficiente K

Segundo DNER (2005), a função das curvas é concordar as tangentes verticais dos greides. Normalmente são adotadas parábolas do 2º grau. Essas parábolas são definidas pelo seu parâmetro de curvatura K, que traduz a taxa de variação da declividade longitudinal na unidade do comprimento, estabelecida para cada velocidade. Ele define que o parâmetro K é um valor que caracteriza numericamente a curva vertical que em modelo de projeto é aproximado para um modelo de parábola. Esta equação estuda a taxa de variação associada à constante da parábola. O conhecimento deste coeficiente permite ao projetista uma noção imediata da suavidade da curva.

O DNIT (1999) aponta que o valor de K representa o comprimento da curva no plano horizontal em metros para cada 1% de variação na declividade longitudinal. Poderão ser empregadas curvas circulares de raio grande, obedecida a relação $R_{min} = 100 \cdot K$. Os comprimentos L das curvas de concordância vertical são obtidos multiplicando os valores do parâmetro K pela diferença algébrica A, em percentagem, das rampas concordadas, ou seja, $L = K \cdot A$.

Os valores de K são estabelecidos levando simultaneamente em conta a máxima aceleração centrífuga admissível, a menor distância de visibilidade requerida e um valor mínimo absoluto que considera aspectos de visibilidade e aparência. No cálculo para concordância vertical, deve-se definir as características da curva a ser utilizada tais como característica de comprimento da curva, determinação das ordenadas e verificação dos raios de curvatura.

Para o greide de vias de acessos, existem critérios técnicos que estabelecem limitações quanto aos comprimentos máximos e mínimos das curvas verticais e estes a serem adotados em acessos a parques eólicos referem-se, principalmente, a critérios de mínimo valor absoluto e critérios de drenagem.

Considerando critérios referentes a drenagem, é recomendável declividades longitudinais iguais ou superiores 1% para as sarjetas e, consequentemente para as curvas verticais. Caso, não exista a possibilidade de manter declividade superior a 1%, recomenda-se o uso de valor mínimo absoluto de 0,350% (Figura 14) (UFES, 2005).

Em estudo de projetos de vias, sinaliza-se que em cristas ou curvas convexas com declividade de diferentes sentidos, podem ocorrer casos de declividade até igual a zero.

Segundo o regulamento do DNIT (1999), existe a possibilidade de manter-se o greide no valor mínimo de 0,350% em valor absoluto desde que a extensão não ultrapasse 30,0 m.

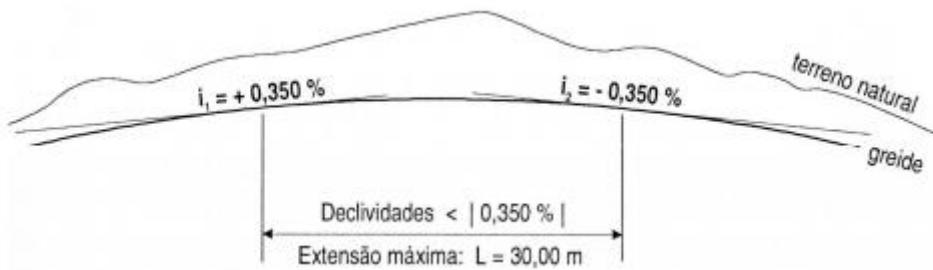


Figura 14. Declividades mínimas para curvas verticais - critérios de drenagem.
Fonte: UFES (2010).

Além disso, por critério de arredondamento adota-se curvas com comprimento em múltiplos de 20,0 m compatibilizado com o padrão de estakeamento utilizado no Brasil.

Para o projeto de construção de acessos para parques eólicos, o cálculo de flecha ou ordenada máxima é de extrema relevância, uma vez que os caminhões utilizados apresentam dimensões extremamente particulares. Segundo Miceli (2012), para projetos de parques eólicos, os valores de K_v devem ser maiores que 400 - 500.

A Figura 15 representa, os desafios que os caminhões de grandes dimensões que transportam as pás podem encontrar durante seu trajeto em curvas verticais.

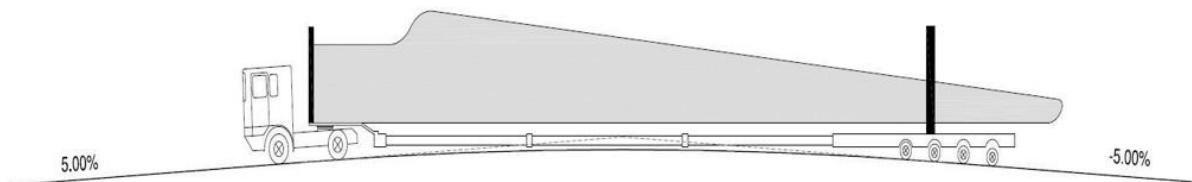


Figura 15. Flecha ou ordenada máxima em curvas verticais. Fonte: Miceli (2012).

5 MÉTODO

A partir de um caso real de parque eólico no Brasil, neste presente trabalho serão identificadas as possíveis alternativas de traçado viário naquele local, sendo utilizada uma adequação da metodologia de Instrução de Serviço IS-207 do DNIT, a qual discorre sobre estudos preliminares de engenharia para rodovias (estudos de traçado). Por se tratar de um

caso particular de traçado viário, dadas as dimensões de veículos que trafegam neste tipo de localidade, serão analisados os itens nos quais os critérios convencionais não se adequam.

O método consiste em coleta e compilação de dados pertinentes ao estudo, identificação de possíveis diretrizes a serem consideradas, estabelecimento de critérios a serem utilizados, identificação das alternativas, estudo e avaliação comparativas de traçado para a melhor definição deste.

Com isto, serão utilizados levantamentos, informações e outros dados disponíveis a respeito da região considerada, tais como: mapas, cartas geográficas, imagens georreferenciadas, análise de capacidade de suporte de solo básica de fontes públicas. Adicionalmente, fez-se a utilização de *softwares* técnicos como AutoCAD, Civil 3D para representações gráficas, compilação e tratamento de dados e seu elemento de simulação *Vehicle Tracking* para estudo de superlargura.

6 DESENVOLVIMENTO DO TEMA

Para o desenvolvimento do estudo de traçado serão definidos e especificados os serviços dos estudos preliminares de engenharia na análise de viabilidade. O tema abordará um parque eólico localizado no estado da Bahia.

6.1 Coleta e compilação de dados

Nesta fase do trabalho serão levantados os elementos e dados relativos à área em estudo, necessários para o adequado desenvolvimento das fases posteriores. No âmbito da engenharia quesitos como dados climáticos, fluviométricos, hidrológicos, também seriam necessários, entretanto, neste trabalho estes aspectos não serão abordados, tal como projetos de pavimentação ou sinalização, mas quando estritamente necessários para fins geométricos, serão retratados arbitrariamente.

6.1.1 Topografia

Visando a abordagem do tema, traz-se à tona o estudo de um parque eólico no estado da Bahia, localizado a aproximadamente 380 km - noroeste da capital Salvador, na zona oriental da Chapada Diamantina, tríplice fronteira dos Municípios de Morro do Chapéu, Ourolândia e Várzea Nova, localizado entre as BA-052 e a BA-368. Trata-se de região com orografia apresentando altitudes variando entre 550 a 925 m, aproximadamente, caracterizada

por chapadas e platôs em sua maioria. Na Figura 16 pode-se observar a distribuição de elevações do projeto em questão.

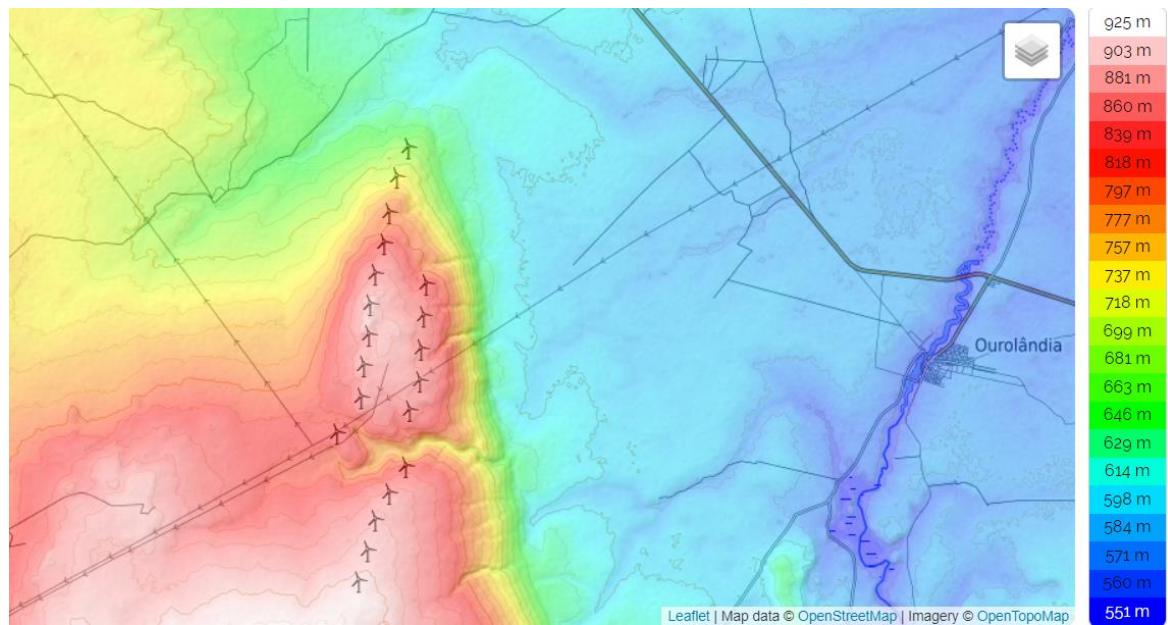


Figura 16. Distribuição das elevações do terreno a serem trabalhadas no projeto. Fonte: Open Street Map (2019).

Para o estudo, utilizou-se um mapa topográfico da região e a superfície modelada em Civil 3D que retrata o tipo de relevo a ser trabalhado.

6.1.2 Dados geológicos e/ou geotécnicos preexistentes

Nesta seção é interessante ressaltar que a abordagem geológica e geotécnica será amplamente simplificada, tendo em vista que o foco discorrerá de aspectos relacionados aos assuntos geométricos. Tratando-se de uma obra localizada na região de Ourolândia, a fim de garantir que o projeto seja compatível com o solo a ser trabalhado, deve-se fazer um prévio estudo da distribuição da formação desta região.

Ao analisar o mapa da formação geológica do estado da Bahia, exposto na Figura 17, pode-se observar predominância das unidades geoambientais M3N1mc3, M3N1mc5 e NQdI. Tais unidades correspondem a relevos com domínio de morros e serras baixas, montanhosos, escarpas serranas, chapadas e platôs, degraus estruturais e rebordos erosivos.

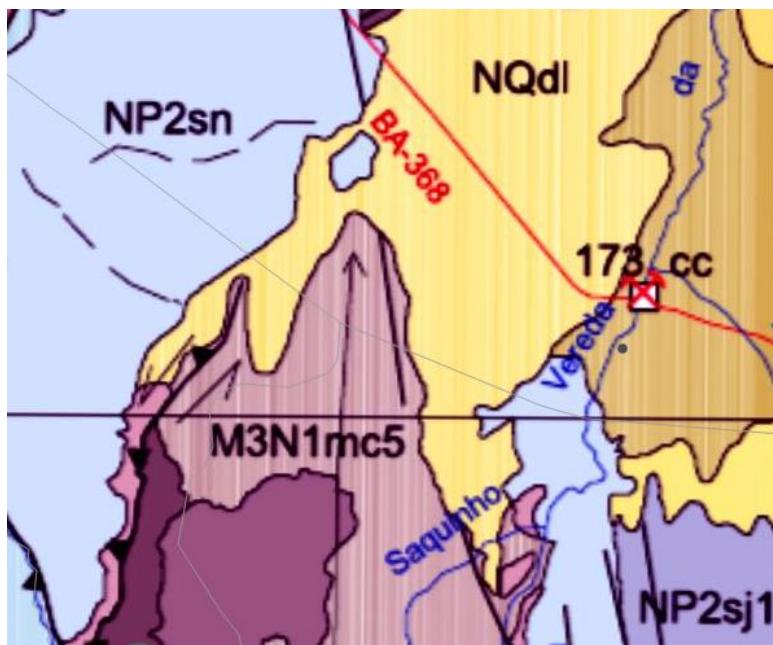


Figura 17. Mapa geológico da região estudada. Fonte: EMBRAPA

A região em questão tem predominância de rochas em afloramentos carbonáticos e rochas siliciclásticas. Assim, como mencionado anteriormente sobre a abordagem simplificada deste tema, presume-se solo de média qualidade, remetendo a argilas médias a rijas, podendo ser utilizadas para fins de aterro e aproveitamento de solo, informação esta a ser utilizada na análise de terraplanagem mais adiante neste trabalho, considerando talude 2:1 (análise conservativa).

6.2 Identificação das possíveis diretrizes

Os principais fatores condicionantes de projeto relativos ao uso do solo a redes de serviços públicos que devem ser consideradas no contexto de projetos eólicos estão indicadas na Tabela 5.

Tabela 5. Fatores condicionantes de projeto.

| | |
|----------|---------------------------------------|
| | Topografia |
| Técnicos | Condicionantes geológicos-geotécnicos |
| | Drenagem |
| Sociais | Uso e ocupação do solo |
| | Comunidades locais |

| | |
|------------|--|
| Ambientais | Reservas Legais Arqueologia |
| Fundiário | Áreas arrendadas |
| Legais | Legislação rodoviária Rede de serviços públicos |

Fonte: Elaborado pela autora.

O desenvolvimento deste trabalho, em específico, explora essencialmente as condicionantes técnicas, econômicas e ambientais. Tendo em vista a diretriz do projeto técnico ainda serão considerados os itens 6.2.1 a 6.2.5 abordados a seguir.

6.2.1 Número de pistas e velocidade diretriz

Tratando-se a cadeia de produção de parques eólicos (implementação das fundações e içamento das torres) e a baixa velocidade com que os caminhões estão condicionados para o transporte seguro dos equipamentos, define-se os acessos como pistas simples-bidirecionais e com velocidade diretriz de 40 km/h.

6.2.2 Veículos de projeto

Neste ponto retratam-se os principais veículos a serem utilizados na fase de implementação de parques eólicos. Apesar de os acessos não estarem restritos a estes, uma vez que alem da fase de implementação, haverá a fase de operação dos parques, o trabalho considera apenas estes veículos de projeto por se tratarem dos veículos críticos e o projeto objetivar a fase de implementação. Cada um deles terá influência em diferentes aspectos da via/acessos como será observado a seguir.

6.2.2.1 Caminhão transportador da pá

Para o desenvolvimento do projeto se fará utilização do modelo de veículo para transporte de pás eólicas. Trata-se de um cavalo 6x2 (modelo facilmente encontrado no mercado) e carreta extensiva com dois eixos não direcionais (Figura 18). A distância entre eixos influi no cálculo da superlargura das pistas principais e na determinação da largura e dos raios mínimos internos das pistas dos ramos. Nas figuras abaixo (Figura 19 e Figura 20) é possível visualizar as dimensões relevantes que definirão parâmetros para os alinhamentos de projeto (Tabela 6).



Figura 18. Veículo de projeto utilizado no alinhamento horizontal. Fonte: AUTODESK (2019).

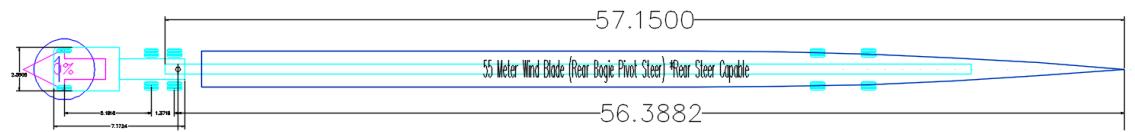


Figura 19. Dimensões (em metros) da carreta extensiva utilizada em projeto para definição de sobrelarguras. Fonte: AUTODESK (2019).

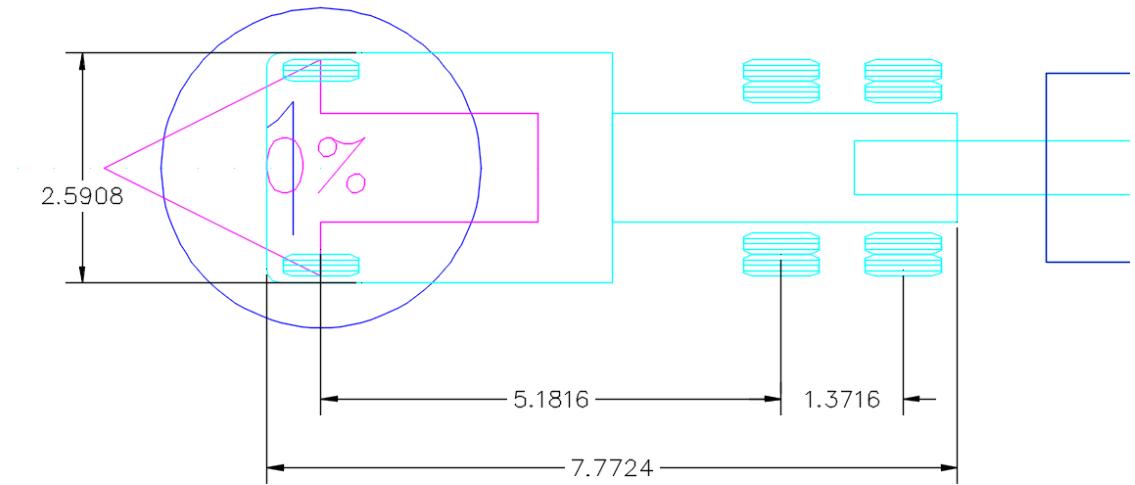


Figura 20. Dimensões (em metros) do cavalo 6x2 que auxiliará no transporte da carreta. Fonte: AUTODESK (2019).

Tabela 6. Dimensões relevantes para caminhão transportador das pás.

| | |
|--------------------------------------|--------|
| Comprimento (m) | 63,764 |
| Largura (m) | 2,591 |
| Altura (m) | 3,627 |
| Mínimo de visibilidade (m) | 0,407 |
| Max. ângulo dos pneus ($^{\circ}$) | 40 |

Fonte: AUTODESK (2019).

É interessante ressaltar que hoje em dia encontram-se modelos de carretas (mm) extensivas de 3 eixos-guiados. Isto fará com que as sobreLAGURAS necessárias possam ser muito reduzidas. Entretanto, este fator interfere na velocidade homogênea de tráfego do veículo, uma vez que para o auxílio da manobra dos eixos guiados, ocorre uma grande redução de velocidade, ou seja, o caminhão praticamente pára sua operação para se adequar a curva (o que em algumas curvas será estritamente necessário). Na Figura 21 tem-se um retrato de como tais curvas podem impactar e abrange ÁREAS no terreno a ser utilizado.

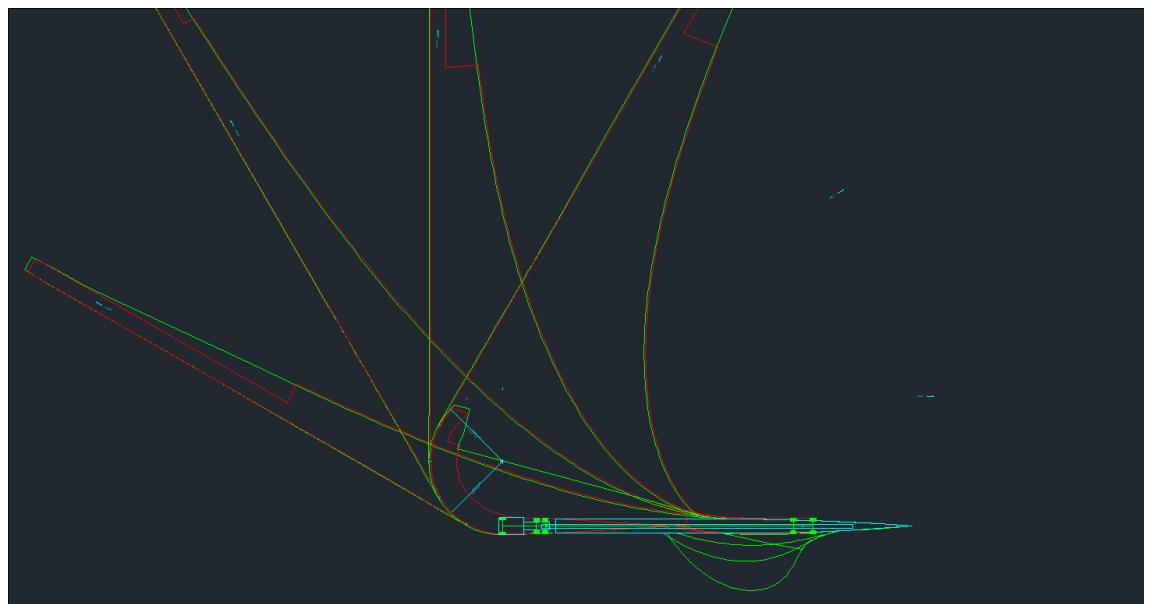
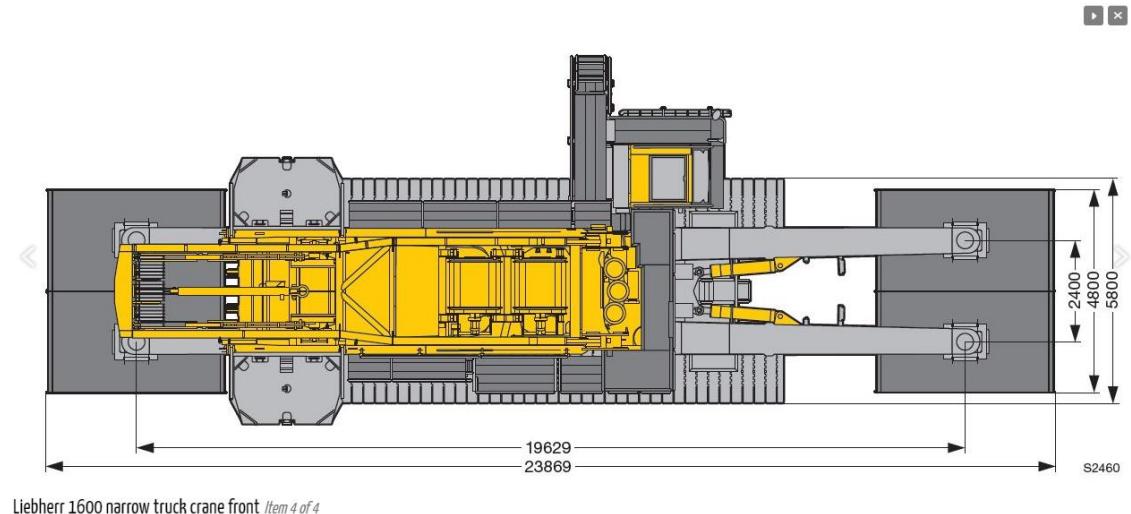


Figura 21. Simulação de transporte de pás eólicas. Fonte: Elaborado pela autora.

6.2.2.1.1 Guindastes

Para a construção de parques eólicos, além dos veículos de transportes dos equipamentos, são necessários também o uso de guindastes, responsáveis pelo içamento das torres. Uma vez que a largura do veículo influencia a largura da pista de rolamento, deve-se

considerar que os guindastes de esteira padrão (que já necessitaram cerca de 10 metros de largura dependendo do modelo) hoje requerem aproximadamente 7 metros (Figura 22).



Liebherr 1600 narrow truck crane front Item 4 of 4

Figura 22. Dimensões do guindaste de içamento (mm). Fonte: MICELI (2012).

6.2.2.1.2 Caminhão transportador da *nacelle*

O caminhão transportador e reboque da *nacelle* é também um dos veículos especiais usados para transportar componentes dos aerogeradores da fábrica para o parque eólico. Tem como peculiaridade o fato de ser uma carreta muito rebaixada, apenas alguns centímetros acima do nível da estrada. Adicionalmente, dadas sua grandes dimensões, deve-se considerar ainda que transita em vias públicas, onde são comuns pontes com gabarito livre de 5 metros ou menos. A principal questão levantada por este transporte aborda o quesito da alta carga vinculada: a *nacelle* corresponde a um dos componentes de maior carga e sabe-se que a relação peso bruto total/ potência confere o valor da rampa máxima admissível. Com isso, este veículo limita as questões de rampas máximas a serem estabelecidas em torno de 10%, caso não haja nenhum tratamento diferenciado da via ou uso de equipamento de auxílio para declividades superiores a esta como por exemplo revestimento asfáltico (Figura 23).

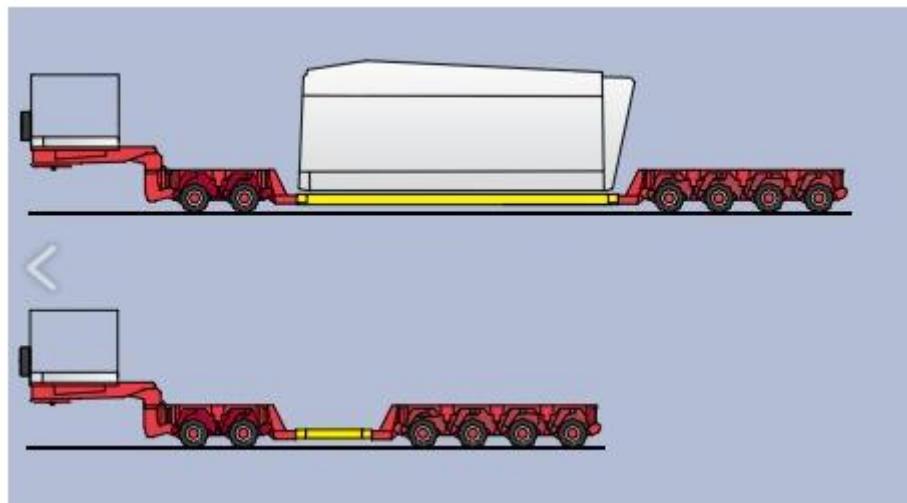


Figura 23. Carreta típica de transporte da *nacelle*. Fonte: MICELI (2012).

Identificadas as diretrizes nesta etapa, definiu-se as alternativas de traçado viáveis, dos esquemas operacionais possíveis, assim, foram projetados dois possíveis traçados: Alinhamento 01 e Alinhamento 02.

6.2.3 Alinhamento horizontal

O alinhamento horizontal a ser trabalhado, visará principalmente o atendimento de raios mínimos de curvas e velocidade de projeto dos veículos relevantes. Neste ponto, chama a atenção o caminhão que transporta a pá, tendo em vista que remete ao transporte de cargas especiais e de grandes dimensões. Para o projeto foi adotado a recomendação da AASHTO (2011) para velocidade de projeto de 40 km/h, ou seja, 43 m de raio de curva horizontal.

Neste ponto, assinala-se que foi utilizado a ferramenta *Vehicle Tracking* do Civil 3D para estimar a ampliação adicional de estradas necessárias. A assinalar, em projeto será necessário limpar uma área apropriada para o trânsito da ponta da lâmina (em balanço), ou seja, verificação de taludes em corte.

6.2.4 Alinhamento vertical

Como mencionado anteriormente, a definição de rampa máxima está condicionada ao transporte da *nacelle*. A inclinação máxima padrão imposta por vários fabricantes (por exemplo, *Repower*) para o transporte seguro em acessos não asfaltados é de cerca de 6% a 7%. Acima disto, pode ser necessária outra solução técnica, dependendo do caminhão usado para auxiliar o reboque. Com uma superfície de acesso de qualidade média, como o que será

trabalhado neste projeto, é possível se utilizar rampas de aproximadamente até 9% a 10% de declives. Além deste quesito, deve-se considerar também o parâmetro que define a análise da concavidade da curva e distância de visibilidade de parada (K_v). Em termos de projetos viários, utiliza-se a aproximação parabólica para curvas verticais, que também será adotada para este projeto. Devido ao fato dos reboques de transporte das *nacelles* serem muito baixos, buscará utilizar curvas de transição longas no alinhamento vertical, com um parâmetro da parábola (K_v) condizente com aquele utilizado em projeto eólicos. Logo, conforme já mencionado segundo Micelli (2012) que fala sobre intervalos aceitáveis de K_v , para este projeto toma-se valor em torno de 400. Assinala-se que, em questão da ordem de grandeza utilizada no Brasil, este valor refere-se a um $K_v = 4$, validado através de estudo de corda em um modelo de circunferência, conforme ilustra a Figura 24.

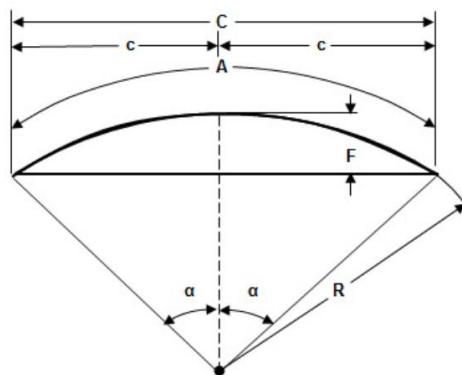


Figura 24. Modelo matemático de estudo de corda. Fonte:
https://www.caldnazza.com/2012/02/arco-corda-flecha-e-angulo-de-um-arco.html#.XiD6k0f_w2w

Sendo:

R = raio;

C = corda;

c = semicordada;

A = arco;

F = flecha;

α = semi-ângulo

O cálculo de R segue a Equação 1:

$$R = \frac{c^2 + F^2}{2F} \quad \text{Equação 1}$$

O modelo de caminhão utilizado estabelece uma distância entre eixos em cerca de 38,00 m. Aplicando na equação anterior um $R = 400$ m, pois $R = 100.K_v$, tem-se que uma flecha mínima a ser atendida em cerca de 0,45 m, ou seja, 45 cm, o que obedece uma altura de reboque de modelos encontrados no mercado. Desta maneira, para o projeto, o valor de K_v adotado foi de 4.

6.2.5 Seção transversal

Para a definição da seção transversal, a largura a ser tomada será aquela referente à largura necessária estabelecida pelo guindaste, ou seja, 7 metros. Além disto, também há de se considerar o talude. Tendo em vista a abordagem do solo de qualidade média do local a ser trabalhado, irá se adotar um talude 2:1, tanto para corte quanto para aterro. A seção transversal ficará restrita a abordagem destes dois parâmetros, considerando o nível de detalhamento proposto para este projeto (Figura 25).

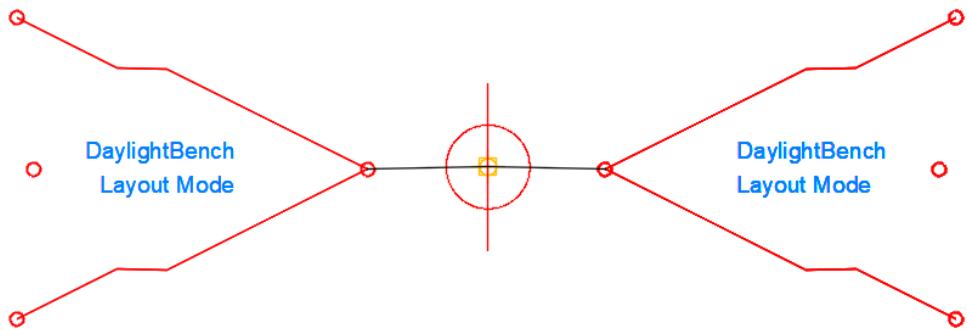


Figura 25. Seção transversal do acesso (corte e aterro). Fonte: Elaborado pela autora.

6.3 Estabelecimento de critérios

A partir dos subitens anteriores, neste item irá se definir o estabelecimento de critérios em função dos estudos de quadro de características técnicas e operacionais, o padrão e as principais características básicas de projeto das vias de acesso.

A finalidade do estabelecimento de critérios visa a estruturação de um conjunto de estudos desenvolvidos para avaliação dos benefícios sociais e econômicos decorrentes dos

investimentos em implantação de acesso, de forma que a avaliação irá apurar se os benefícios estimados superam os custos com os projetos e execução das obras previstas.

Tendo em vista que procura-se demonstrar se a alternativa escolhida, sob o enfoque de traçado e características técnicas e operacionais, oferece maior benefício que outras, em termos de custo total de transporte, será imprescindível a realização de estudos relativos ao impacto das vias de acesso sobre o meio ambiente e a fixação de cronograma expedito para a execução das obras, de acordo com a disponibilidade dos recursos financeiros.

Em termos de estudos ambientais, deve-se caracterizar a situação ambiental da área de influência dos acessos nos aspectos físicos, bióticos, antrópicos, objetivando um conhecimento

da região antes da implantação do empreendimento, servindo de referência para avaliação dos impactos ambientais advindos das obras, da operação dos caminhões, e dos passivos ambientais.

Apesar do presente trabalho não interferir em áreas privilegiadas por lei (Reservas Legais e Indígenas, Unidades de Conservação, etc.), em projetos em geral estas áreas são geralmente afetadas.

Além disto, é notável que a abordagem de custos é de extrema importância, devendo ser considerados custos de construção, conservação, manutenção, operação de veículos, entre outros secundários. Neste ponto, vale relembrar que o escopo que este trabalho se apresenta se restringe principalmente a aspectos geométricos e de terraplanagem, sabendo-se que na prática deveriam ser considerados aspectos como drenagem, obras-de-arte correntes, pavimentação, serviços públicos locais, iluminação, sinalização, entre outros.

Partindo de toda a abordagem, a concepção deste trabalho considera como o critério de impacto ambiental o mais relevante, entretanto, ao se ponderar comparativamente com os outros quesitos, acaba não sendo o decisivo pelo fato dos critérios técnicos e econômicos (em conjunto) serem preponderantes a este.

6.4 Identificação das alternativas de traçado

Tendo em vista os quesitos levantados nos itens anteriores, foram propostas duas alternativas de traçado, uma primeira que melhor prioriza operação e manobra dos caminhões que transportam o equipamento e uma segunda que melhor considera a declividade do terreno.

O primeiro traçado foi desenhado a fim de se realizar trechos em tangente o máximo possível, como observa-se na Figura 26.

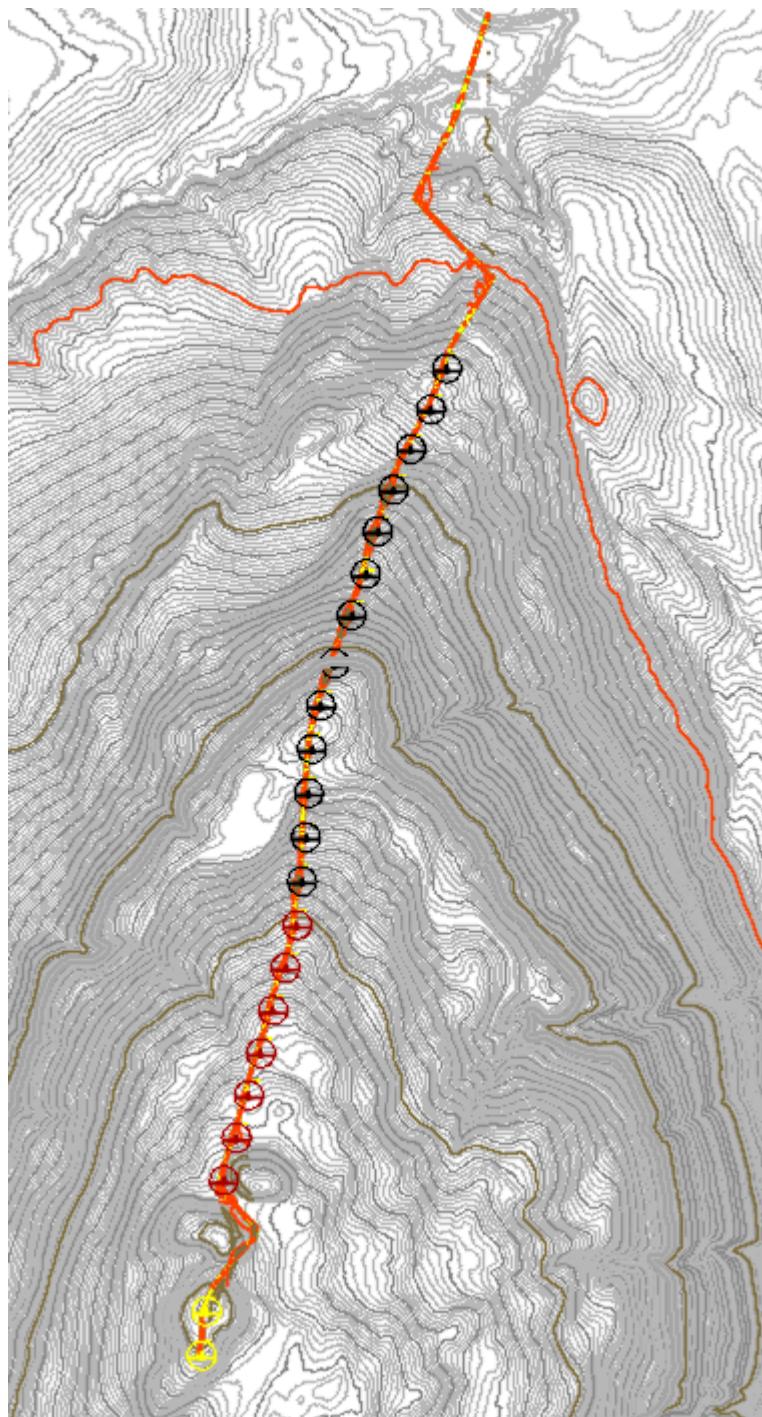


Figura 26. Alinhamento do traçado 01. Fonte: Elaborado pela autora.

Tal premissa justifica-se pela busca de melhor desempenho e operação no movimento dos caminhões e transporte de equipamentos, além de atendimento de raio mínimo de curva. Menos curvas sugerem menor necessidade de manobra, facilitando o transporte.

A respeito do greide, conforme valores estipulados ao longo da abordagem do tema, devido ao alinhamento estipulado que não priorizou o aproveitamento das curvas de nível, mas sim a operação e fácil manobra dos caminhões, houveram trechos em que as rampas máximas não foram satisfeitas e são assinalados na Figura 27.

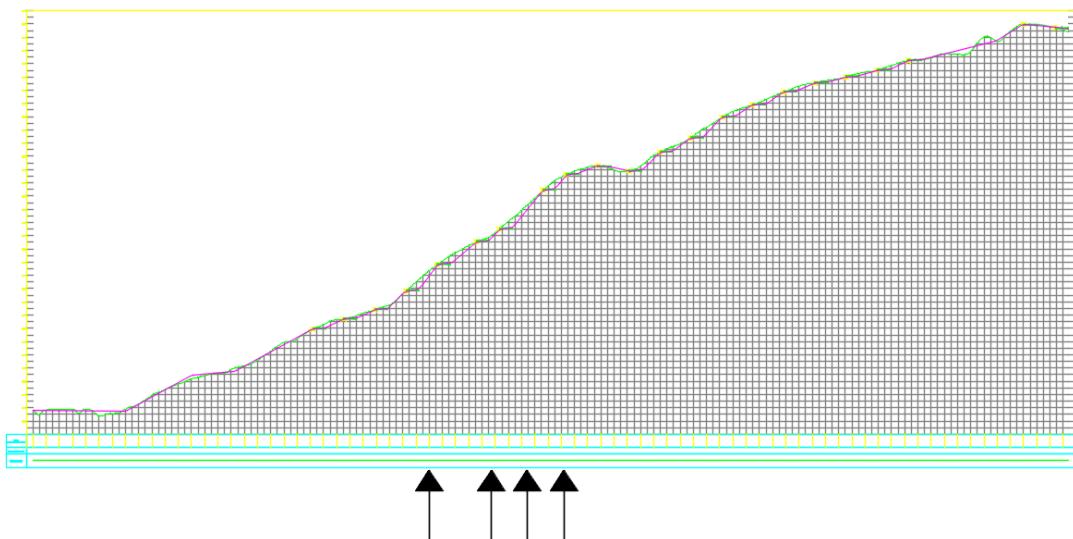


Figura 27. Greide do traçado 01. Fonte: Elaborado pela autora.

Já o segundo traçado foi projetado partindo da premissa de melhor aproveitamento possível da concepção do terreno natural, isto é, melhor adequação possível às curvas nível.

Conforme a revisão bibliográfica, tentou-se realizar curvas projetadas de forma a permitir que os veículos conseguissem trafegar com velocidade de projeto, porém, nesta concepção, devido à topografia com declividades muito acentuadas, a via necessitou seguir em “zigue-zague”, com curvas fechadas de raio mínimo de 12 m. Isto fez com que o alinhamento fosse caracterizado por várias curvas ao longo de todo o seu traçado, como é possível se observar na Figura 28.

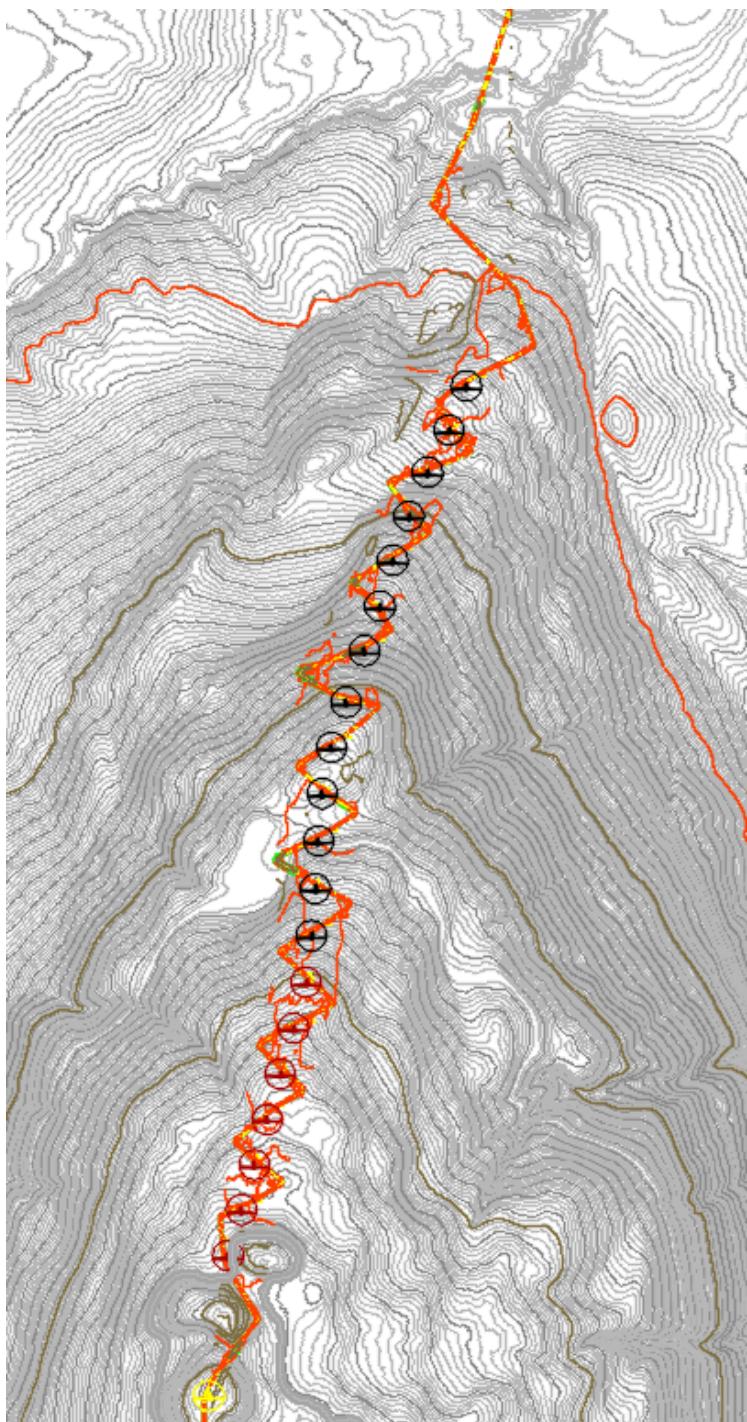


Figura 28. Alinhamento do traçado 02. Fonte: Elaborado pela autora.

O greide neste alinhamento, assim como o anterior, foi estabelecido conforme valores estipulados ao longo da abordagem do tema e, para este caso, as rampas máximas foram atendidas em sua totalidade, diferentemente do primeiro caso. O greide do traçado 02 pode ser observado na Figura 29.

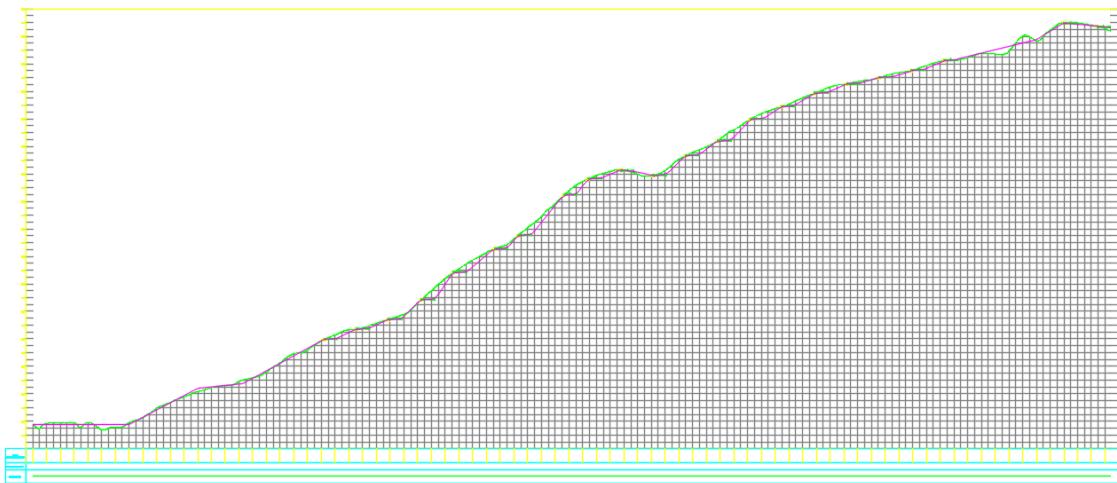


Figura 29. Greide do traçado 02. Fonte: Elaborado pela autora.

As alternativas de traçado, inicialmente estabelecidas, foram comparadas entre si, abrangendo aspectos básicos técnicos (traçado, topografia), econômicos (análise sucinta preliminar/sem detalhamento de alternativas entre si e a situação existente, comparando custos de implantação com benefícios sob forma de redução nos custos operacionais e em tempos de percurso) e ambientais.

Conforme recomendação do Manual do DNIT (1999), que afirma que o desenvolvimento de traçado deva ser tão longo quanto possível, que tenha ligação com pequenas tangentes e concordadas com espirais de transição seria, objetivou-se projetar o alinhamento 01. De prontidão observa-se que tais recomendações não puderam se adequar totalmente ao projeto. No alinhamento 01, a extensão total da via se estipulou em 8.96 km.

Em essência, partiu-se da premissa de estabelecimento de trechos em tangente ao longo deste alinhamento, fato que configurou 4 curvas como pode se observar na Figura 30.

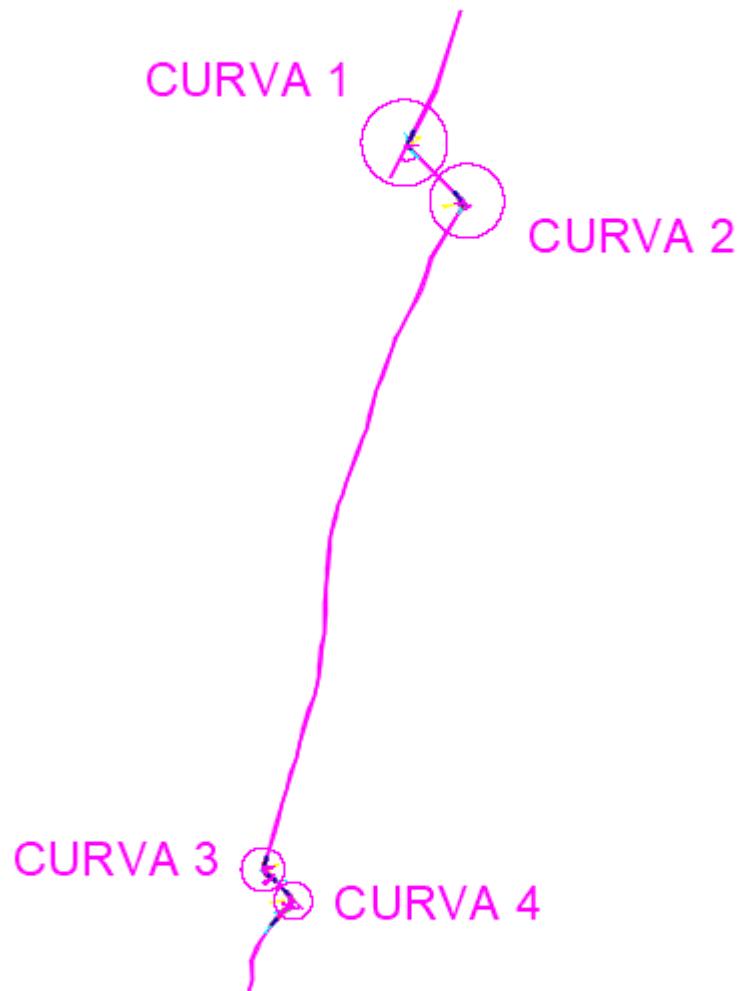


Figura 30. Curvas significativas no alinhamento 01. Fonte: Elaborado pela autora.

Tendo em vista as grandes dimensões tratadas para a carreta extensiva que transporta as pás, estas curvas foram analisadas mais apuradamente com o auxílio da extensão do Civil 3D, o *Vehicle Tracking* (Figura 31, Figura 32, Figura 33 e Figura 34).

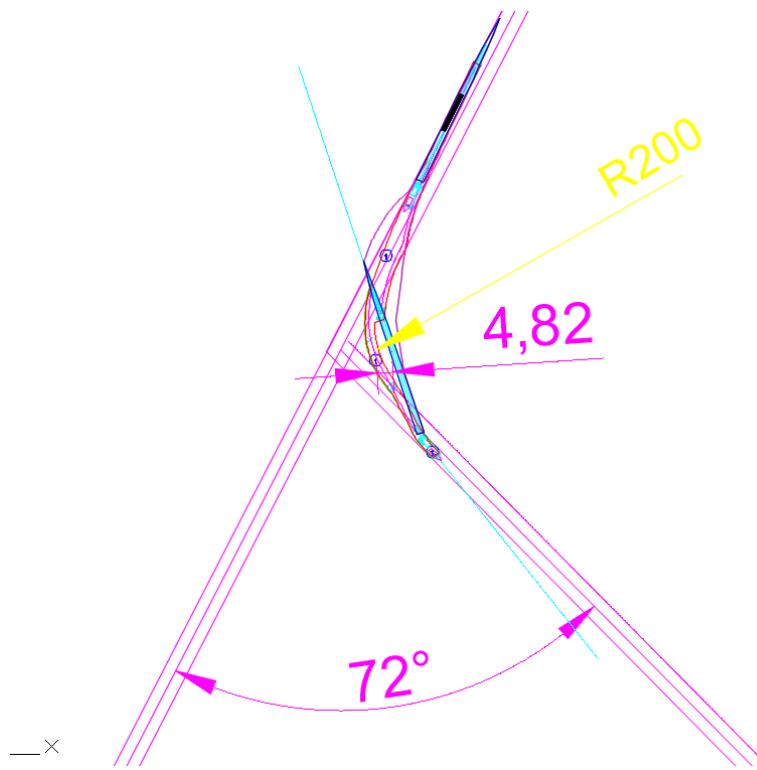


Figura 31. Sobre largura simulada da Curva 1 do alinhamento 01 (distâncias em metros).
Fonte: Elaborado pela autora

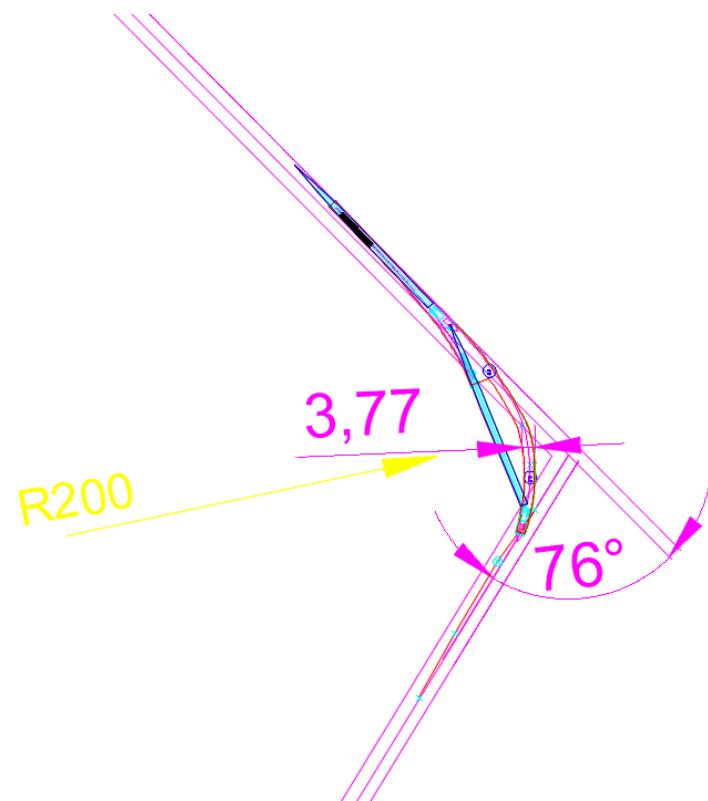


Figura 32. Sobre largura simulada da Curva 2 do alinhamento 01. Fonte: Elaborado pela autora.

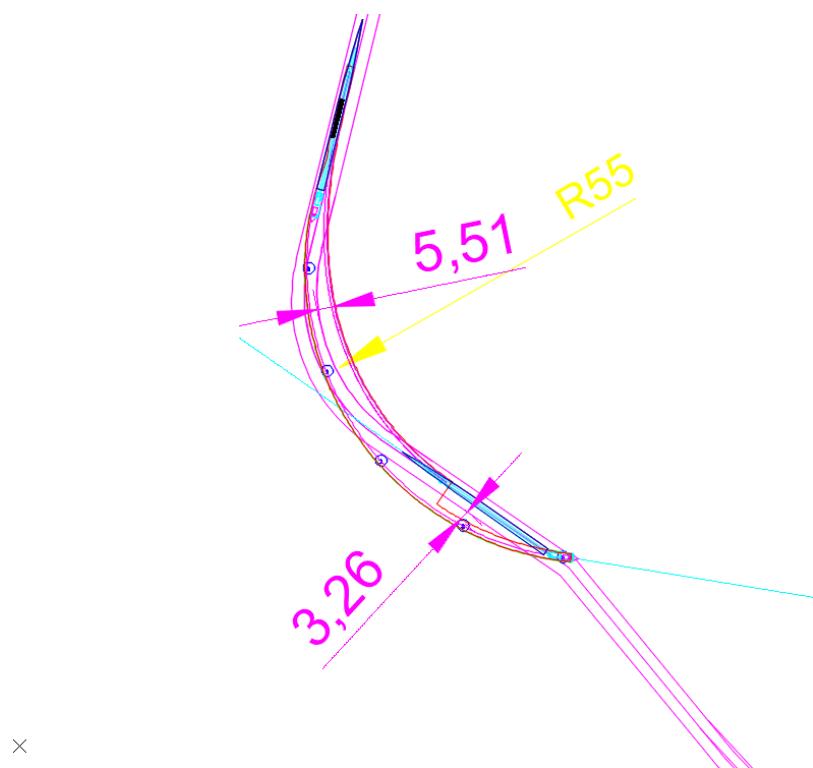


Figura 33. Sobrelargura simulada da Curva 3 do alinhamento 01. Fonte: Elaborado pela autora.

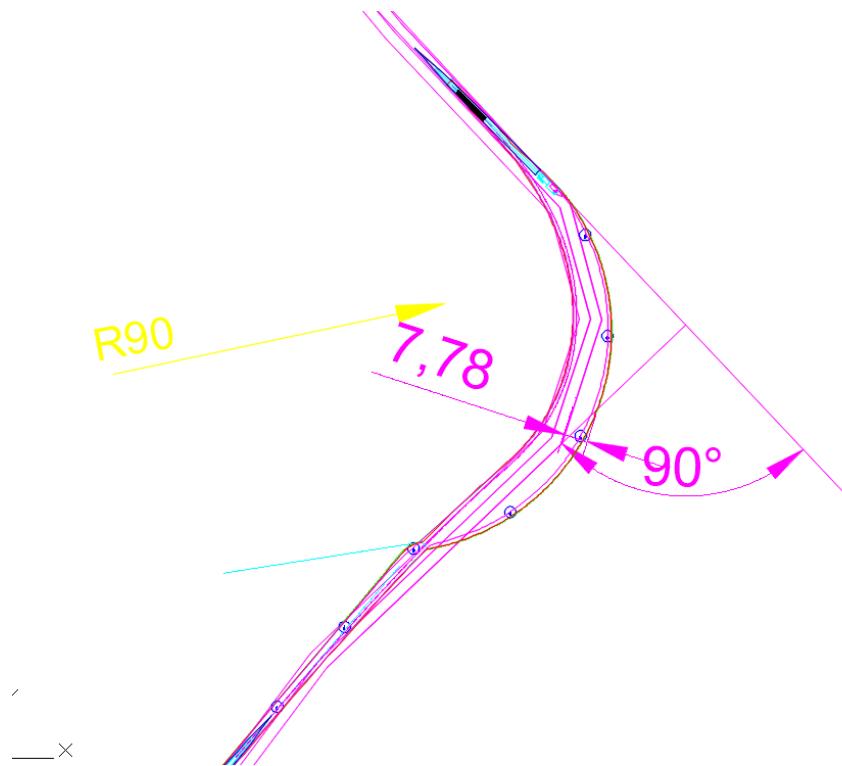


Figura 34. Sobrelargura simulada da Curva 4 do alinhamento 01. Fonte: Elaborado pela autora.

Com as simulações, pode-se observar que a sobrelargura, a depender do ângulo de aproximação e raios envolvidos, pode chegar a quase 8 m, o que corresponde a um valor significativo em relação à própria largura adotada de 7 m da via.

Neste ponto, é importante assinalar que em projetos reais, deve-se considerar o efeito conjugado do alinhamento horizontal, alinhamento vertical e seção, ou seja, a análise 3D seria imprescindível. Para este projeto, o quesito restritivo considerado foi a declividade do terreno, ou seja a condicionante de vegetação existente não foi considerada, tendo em vista que esta poderia caracterizar obstrução lateral. Além do mais, em nenhuma das 4 curvas significativas, houve ocorrência de talude de corte, fato que seria comprometedor para a projeção de equipamento na manobra de curva, caracterizando a grande relevância da simulação em 3D.

Já o traçado do alinhamento 02 apresentou uma extensão total de 13,1 km, aproximadamente, 4km superior ao alinhamento 01. Com esta conformação as rampas máximas foram atendidas em sua totalidade, o que significa que apesar da maior extensão, para esta alternativa, define-se a ausência de tecnologias complementares para atendimento de rampa ou uso de equipamento para auxílio de transporte. Isto significa que recursos adicionais não seriam necessários para esta segunda proposta em termos de alinhamento vertical.

Para maior detalhamento, seria interessante determinar zonas de solos compressíveis e trechos alternativos de melhores características, zonas de solos com maior instabilidade quanto a cortes, e as soluções técnicas necessárias por quesitos de segurança, com base nos dados coletados na fase anterior. Porém, conforme mencionado no início deste trabalho, os estudos geotécnicos e geológicos foram tratados superficialmente e o solo considerado, ao longo de todo este trabalho, como de média qualidade e com uso satisfatório, sem grande obstáculos ao seu uso e ocupação.

Dando continuidade ao estudo, quesitos de terraplanagem são, também, de suma importância. Com os dados gerados no Civil 3D, se compilou os dados referentes ao diagrama de massas e, com o auxílio da ferramenta Excel, traçou-se o Diagrama de Bruckner para cada traçado, agrupados na Figura 35.

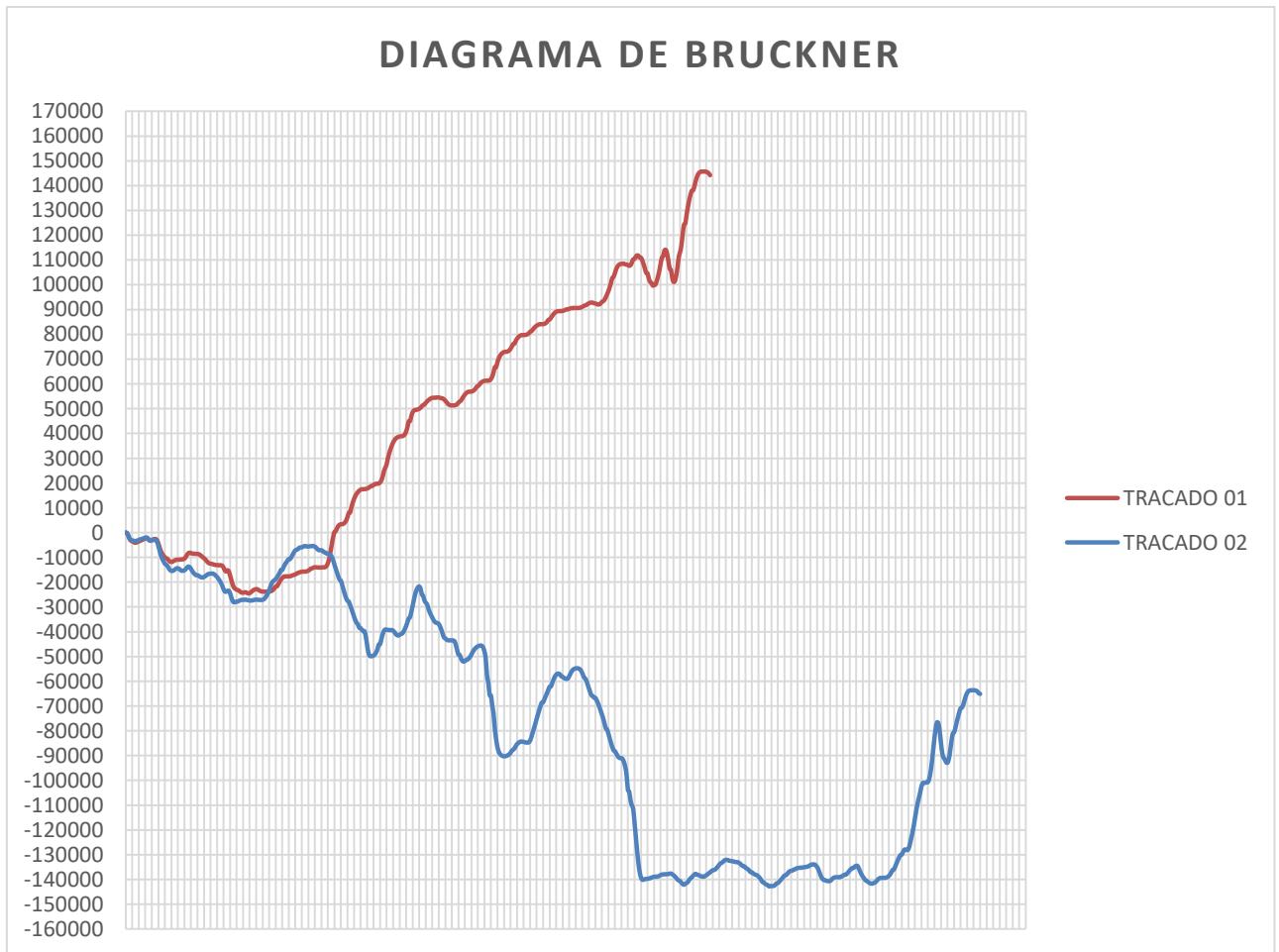


Figura 35. Gráfico comparativo dos Diagramas de Bruckner dos dois alinhamentos. Fonte: Elaborado pela autora.

Logo de partida, observa-se que os diagramas obtidos para os dois traçados propostos não são interessantes para um projeto de rodovia convencional. Observa-se que ambos trazem

volumes exagerados acumulados, seja de bota-fora para o alinhamento 01 ou empréstimo para o alinhamento 02.

As linhas de compensação do Diagrama de Bruckner do alinhamento 01 são mostradas a seguir na Figura 36.

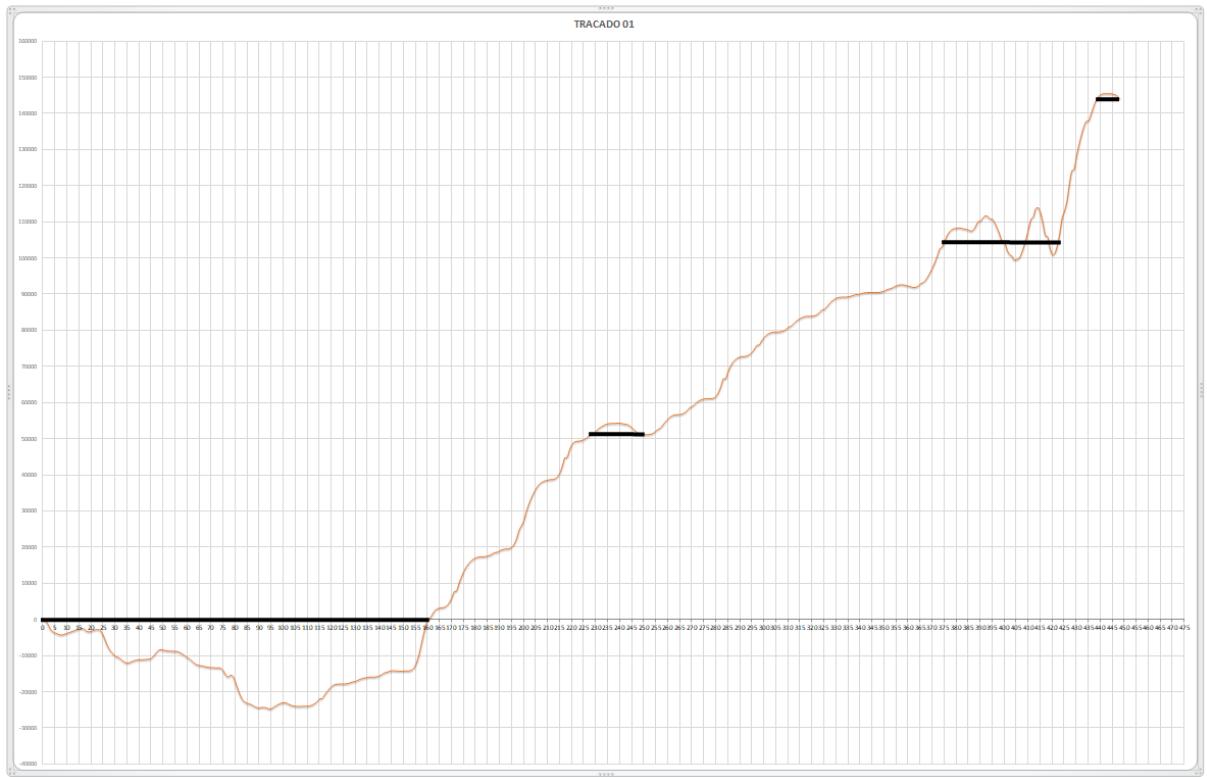


Figura 36. Linhas de compensação do alinhamento 01. Fonte: Elaborado pela autora.

Observam-se 7 trechos compensados e a necessidade de bota-fora, configurando a distância média de transporte (DMT) a seguir (Tabela 7):

Tabela 7. DMT do alinhamento 01.

| Trechos | dm (km) | V _{pico} (m ³) | M (m ³ *km) |
|---------|----------|-------------------------------------|------------------------|
| 1 | 1,765939 | 24570,05 | 43389,22 |
| 2 | 0,486811 | 54523,56 | 26542,66 |
| 3 | 0,485559 | 111863,00 | 54316,08 |
| 4 | 0,162237 | 99694,29 | 16174,11 |
| 5 | 0,210632 | 114097,6 | 24032,59 |
| 6 | 0,103765 | 101140,1 | 10494,83 |
| 7 | 0,179589 | 145687,4 | 26163,86 |

| | | |
|--------------------------|------------|--------------------|
| M_{TOTAL} | 201,113.36 | m ³ *km |
| dm_{méd} | 0.309 | Km |

Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação ao alinhamento 02, as linhas de compensação podem ser vistas na Figura 37.

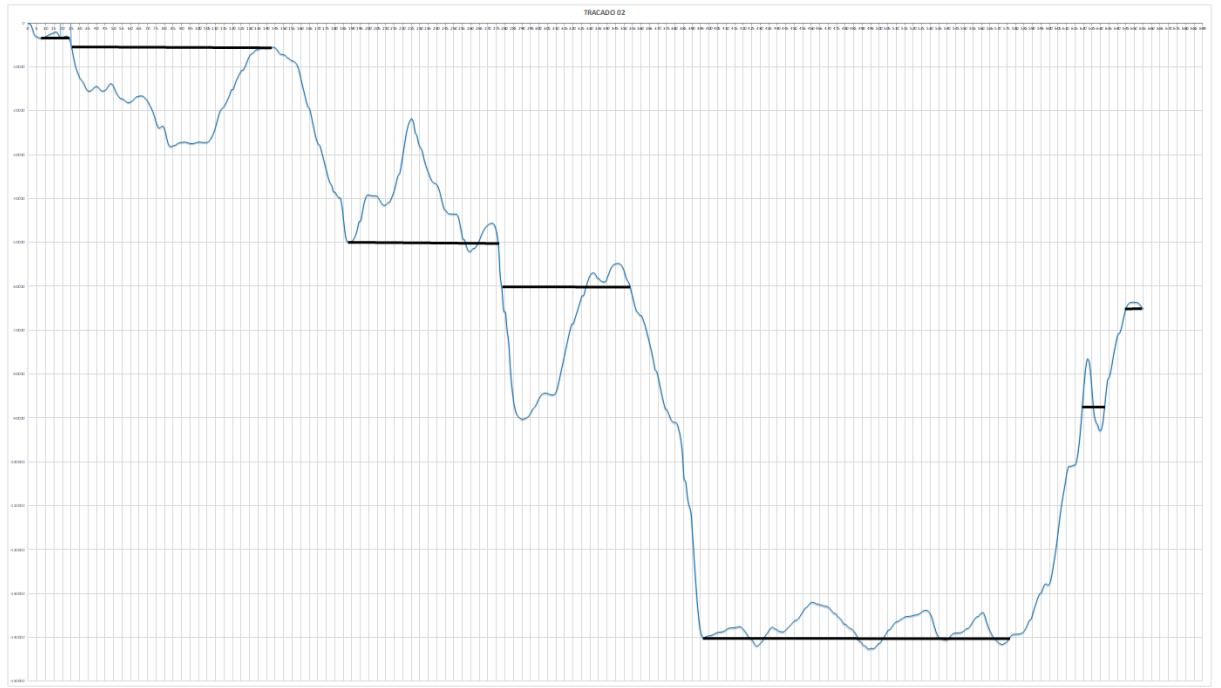


Figura 37. Linhas de compensação do alinhamento 02. Fonte: Elaborado pela autora.

A se ressaltar, algumas adequações foram realizadas: no segundo e terceiro trecho compensados, por exemplo, observa-se que as concavidades não são concavidades regulares de trechos de compensação. Com isso, procedeu a adoção de uma altura média relativa a área das concavidades irregulares. Desta maneira, observam-se 19 trechos compensados e a necessidade de bota-fora e empréstimos em certos trechos, configurando a DMT exposta na Tabela 8.

Tabela 8. DMT do alinhamento 02.

| Trechos | dm (km) | V _{pico} (m ³) | M (m ³ *km) |
|-----------|---------|-------------------------------------|------------------------|
| 1 | 0.04 | - | 3,314.48 |
| 2 | 0.13 | - | 2,898.73 |
| 3 | 1.48 | - | 28,145.74 |
| 4 | 2.47 | - | 21,741.85 |
| 5 | 0.18 | - | 52,071.39 |
| 6 | 0.27 | - | 45,583.16 |
| 7 | 0.86 | - | 90,291.14 |
| 8 | 0.59 | - | 54,768.37 |
| 9 | 0.54 | - | 137,632.24 |
| 10 | 0.20 | - | 142,086.94 |
| 11 | 0.30 | - | 132,084.11 |
| 12 | 0.32 | - | 142,732.77 |
| 13 | 0.71 | - | 133,925.22 |
| 14 | 0.12 | - | 140,670.91 |
| 15 | 0.55 | - | 134,475.58 |
| 16 | 0.53 | - | 140,273.23 |
| 17 | 0.15 | - | 76,572.48 |
| 18 | 0.14 | - | 92,844.40 |
| 19 | 0.22 | - | 63,626.49 |

| | | |
|--------------------------|------------|--------------------|
| M_{TOTAL} | 715,163.26 | m ³ *km |
| dm_{méd} | 0.44 | km |

Fonte: Elaborado pela autora.

Com base nos estudos abordados neste trabalho, estabeleceu-se uma estimativa sucinta e cálculo simplificado de custos para a implantação dos acessos. As estimativas das quantidades refletem restrito grau de detalhe e precisão, tendo em vista os propósitos deste trabalho, que abordou apenas alguns dos muitos custos envolvidos em um cálculo completo de serviço de terraplanagem. Foram considerados os seguintes parâmetros (Tabela 9):

Tabela 9. Parâmetros utilizados para o custo de terraplanagem.

| | Alinhamento 1 | Alinhamento 2 |
|--|----------------------|----------------------|
| Extensão (km) | 8.96 | 13.1 |
| Material Escavado (m³) | 225,261.56 | 327,287.88 |
| Momento de Transporte (m³ x km) | 201,113.36 | 715,163.26 |
| Volume Geométrico de aterro (m³) | 64,838.84 | 313,906.40 |

Fonte: Elaborado pela autora.

Para o alinhamento 01, estabeleceu-se o orçamento representado na Tabela 10.

Tabela 10. Orçamento de terraplanagem do alinhamento 01.

| ALINHAMENTO 01 | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------|----------------|--|-----------------|-------------------------|
| Extensao Total = 8.96 km | | Quantidade | Unidade | Precos Unitarios (FSub-Totais (R\$) | | Total item (R\$) |
| Item | Discriminacao dos servicos | | | | | |
| 1 | Terraplanagem | | | | | \$ 5,576,048.69 |
| 1.1 | Escavacao e Carga de Material | | | | | |
| 1.1.1 | de 1a Categoria | 202,735.40 | m3 | \$ 6.96 | \$ 1,411,038.41 | |
| 1.1.2 | de 2a Categoria | 22,526.16 | m3 | \$ 6.96 | \$ 156,782.05 | |
| 1.2 | Transporte de material escavado | 201,113.36 | m3xkm | \$ 2.10 | \$ 422,338.06 | |
| 1.3 | Compactacao de Aterros (95% PN) | 64,838.84 | m3 | \$ 3.92 | \$ 254,168.25 | |
| 1.4 | DME | | | | | |
| 1.4.1 | Transporte | 1,398,120.83 | m3xkm | \$ 2.10 | \$ 2,936,053.73 | |
| 1.4.2 | Espalhamento | 139,812.08 | m3 | \$ 2.83 | \$ 395,668.19 | |
| TOTAL GERAL | | | | | | \$ 5,576,048.69 |

Fonte: Elaborado pela autora.

O custo total para a primeira alternativa foi de R\$ 5.576.048,69

Já o alinhamento 02 apresentou o seguinte orçamento apresentado na Tabela 11.

Tabela 11. Orçamento de terraplanagem do alinhamento 02.

| ALINHAMENTO 02 | | | | | | | |
|---------------------------------|--|------------|-------------------|----------------|--|------------------------|-------------------------|
| Extensao Total = 13.1 km | | km | Quantidade | Unidade | Precos Unitarios (FSub-Totais (R\$) | | Total item (R\$) |
| Item | Discriminacao dos servicos | | | | | | |
| 1 | Terraplanagem | | | | | | \$ 5,414,540.28 |
| 1.1 | Escavacao e Carga de Material | | | | | | |
| 1.1.1 | de 1a Categoria | 294,559.09 | m3 | \$ 6.96 | \$ 2,050,131.28 | | |
| 1.1.2 | de 2a Categoria | 32,728.79 | m3 | \$ 6.96 | \$ 227,792.36 | | |
| 1.2 | Transporte de material escavado | 715,163.26 | m3xkm | \$ 2.10 | \$ 1,501,842.84 | | |
| 1.3 | Compactacao de Aterros (95% PN) | 313,906.40 | m3 | \$ 3.92 | \$ 1,230,513.09 | | |
| 1.4 | Jazida adicional - Emprestimo | | | | | | |
| 1.4.1 | Escavacao e Carga de Material 1/2 Cate | 8,961.66 | m3 | \$ 24.11 | \$ 216,065.74 | | |
| 1.4.2 | Transporte de material escavado | 89,616.65 | m3xkm | \$ 2.10 | \$ 188,194.96 | | |
| TOTAL GERAL | | | | | | \$ 5,414,540.28 | |

O custo total para a segunda alterantiva foi de R\$ 5.414.540,28.

6.5 Seleção da alternativa de traçado

As características físicas dos dois alinhamentos remetem ao processo de grande movimentação de terra para a execução da obra. Devido ao grande número de curvas de trajeto visando o melhor aproveitamento da disposição das curvas de nível do terreno, o traçado 02 apresentou cerca de 4 km de via a mais que a anterior.

Ao se ponderar as alternativas que se apresentam quanto à movimentação dos volumes de terraplenagem, há um direcionamento para as necessidades de empréstimos e bota-foras, assim como a disponibilidade de áreas para tal.

Através da análise do ponto de vista de engenharia, da compatibilidade técnica das alternativas com os objetivos do projeto, da avaliação de suas implicações econômicas e seus impactos ambientais, a seleção da alternativa de traçado que se mostra mais adequada seria referente ao alinhamento 02.

Analisando em termos técnicos, o primeiro alinhamento apresentou-se como projeto mais fluente, fazendo-se uso de apenas 4 curvas significativas, atendendo quesitos de raio de curva e velocidade de projeto satisfatoriamente. Porém, em termos de alinhamento vertical, ao longo do alinhamento 01, não houve atendimento de critério de rampa máxima estabelecido em toda sua extensão. Tal fato, implica na utilização de soluções adicionais de engenharia, como, por exemplo, o uso de revestimento asfáltico para aumentar desempenho do atrito entre o pneu do caminhão e a via, ou uso de algum equipamento auxiliar para vencer a declividade da rampa.

Ainda no contexto técnico, o fato do acesso do alinhamento 01 tratar de traçado mais em tangente, com menos curvas em seu percurso em relação ao traçado 02 que possui cerca de 20 curvas, o primeiro se mostra mais vantajoso no quesito de necessidade de manobra do caminhão, podendo reduzir, assim, eventuais riscos.

Em quesitos econômicos, no cálculo simplificado de custo quanto à terraplenagem, os orçamentos estabelecidos demonstram uma diferença de ordem de grandeza em 3%, sendo o alinhamento 02 mais vantajoso financeiramente.

O último quesito aborda a questão do impacto ambiental. Discorrendo sobre o processo de grande movimentação de terra necessário em ambos os alinhamentos, o primeiro retrata alternativa que demanda grande alocação de bota-foras, enquanto o segundo propõe alto volume de empréstimo. Neste ponto, o traçado 02 apresenta-se como ambientalmente mais favorável devido ao impacto ambiental atrelado ao primeiro processo.

7 CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido abrange a compreensão do tema Projeto Geométrico de Infraestrutura de Transporte, visando atender as fases de implantação e manutenção de uma via de acesso de um parque eólico.

Tendo em vista a especificidade de projetos eólicos tal como o uso de caminhões para transporte de cargas especiais e de grandes dimensões, apurou-se que as recomendações de projetos viários convencionais, como o manual do DNIT, não contemplam em sua totalidade os requisitos necessários. Através da elaboração do Diagrama de Bruckner, observa-se que os dois traçados propostos não são adequados para um projeto de rodovia tradicional e ambos definem volumes exagerados acumulados, demonstrando a particularidade do tema em relação aos projetos de vias convencionais.

Para a concepção deste trabalho, tomou-se como premissa os veículos utilizados na fase de implementação, por se tratarem dos veículos críticos e se observa que além dos quesitos técnicos, foi primordial a abordagem econômica e ambiental, temas inerentes aos projetos de engenharia. É interessante ressaltar também que, em diversas fases deste estudo, houve a necessidade de se adotar premissas relativas a diferentes áreas que o tema trabalhado se insere, demonstrando a multidisciplinaridade inerente ao trabalho em questão. A seleção do alinhamento 02 remete a balanço de critérios técnicos e econômicos mas, principalmente, reflete o peso da questão ambiental.

Durante a execução deste presente trabalho, diversas habilidades e conhecimentos dentro de todo o contexto da engenharia civil foram utilizados. As diversas análises necessárias para o projeto englobaram análise e modelagem de dados, uso de georreferenciamento, utilização dos conceitos de topografia, base em mecânica dos solos, além de propriamente o contexto de projetos geométricos de infraestrutura de transportes e domínio de softwares técnicos como AutoCAD e Civil 3D.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA TRANSPORTA BRASIL. Disponível em:
<http://www.transportabrasil.com.br/2015/01/caminhao-mais-potente-do-mundo-realiza-transporte-especial-de-equipamento-de-energia-eolica/>. Acesso em: 15/07/18.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: apresentação de citações em documentos: procedimento. Rio de Janeiro, 1988.

BARBOSA, Vanessa - *Os números do mercado de energia eólica no mundo; Brasil avança – 2018.* Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/economia/os-numeros-do-mercado-de-energia-eolica-no-mundo-brasil-avanca/>>. Acesso em 14/07/18.

BARCELOS, M.F.P. **Ensaio Tecnológico, bioquímico e sensorial de soja.** 1998, 160 f. Tese (Doutorado em Nutrição) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CASA DOS VENTOS. **Energia eólica.** Disponível em:
<http://casadosventos.com.br/pt/energia-dos-ventos/energia-eolica> - Acessado em: 25/07/18>. Acesso em 25/07/18.

DEMARCHI, Sergio Henrique - “*Validação de um modelo desempenho de caminhões em Rampas ascendentes*” - 8f - artigo - Universidade Estadual de Maringá.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. 706: **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais.** Rio de Janeiro, 1988.

Dino - *Mercado de Energia eólica no Brasil reúne especialistas e autoridades para debater cenários de crescimento do setor – 2018.* Disponível em:
<https://exame.abril.com.br/negocios/dino/mercado-de-energia-eolica-no-brasil-reune-especialistas-e-autoridades-para-debater-cenarios-de-crescimento-do-setor/>. Acesso em 14/07/18.

DNER - *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais* - 114f – 1999. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/706_manual_de_projeto_geometrico.pdf>. Acesso em: 22/07/18.

DNIT - *Projeto Básico de Engenharia para a Travessia urbana do município de Figueirópolis/ TO* - 40f. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/anexo/Projetos/Projetos_edital0373_11-23_3.pdf>. Acesso em: 22/07/18.

DNIT- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Limites Legais**. Disponível em: <<http://www1.dnit.gov.br/Pesagem/qfv%20pdf.pdf>>. Acesso em 25/07/18

Equipo Nuevos Negocios en la Red - “UF0218: Montaje y mantenimiento mecánico de parque eólico” - Espanha - Editorial Vértice – 2011

Equipo Nuevos Negocios en la Red. *UF0218: Montaje y mantenimiento mecánico de parque eólico. 2014 – Espanha*

FABIANO STAUT - *O processo de implantação de parques eólicos no Nordeste Brasileiro - 2011* - 83f - dissertação de mestrado - UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA, ESCOLA POLITÉCNICA DA UFBA, BA – 2011

GEOCONSULT. Caracterização técnica do empreendimento. Disponível em: <http://www.semar.pi.gov.br/download/201511/SM12_8013650506.pdf>. Acesso em 27/07/18.

GOMES, L.G. **Novela e sociedade no Brasil**. Niterói: EduFF, 1998. 137 p. (Coleção Antropologia e Ciência Política, 15).

GOUVEIA, Y. C. S. *Construção de um Parque Eólico Industrial*. 2013. 62f - Tese de mestrado - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Portugal, 2013.

ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/images/stories/projetos-e-atividades/PAN/relatorio_final_PAN_acao_6.3_23jul18.pdf>. Acesso em: 15/07/18.

MICELI, Francesco - *Wind farm internal roads bends additional widening* – 2012. Disponível em: <<http://www.windfarmbop.com/category/roads/>>. Acesso em 20/07/18.

PASTRE. Disponível em: <<http://www.pastre.com.br/pastrinho/2014/05/semirreboques-pastre-transportam-pas-eolicas-de-60-metros/>>. Acesso em: 15/07/18.

PORTAL ENERGIA. Como funciona um Aerogerador – 2016. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/funcionamento-de-um-aerogerador/>>. Acesso em: 22/07/18 São Paulo (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **Estudo de Impacto ambiental EIA – RIMA**: manual de orientação. São Paulo, 1989, 48 p.

SOARES, Luciane T. “*Planejamento e Implantação de um parque eólico*”. 2010. 38f - Tese de graduação - Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2010.

VOLVO. Disponível em: <<https://www.volvotrucks.com.br/pt-br/news/blog/institucional/volvo-lanca-na-fenatran-o-fh16-750-o-caminhao-mais-potente-do-mundo.html>>- Acesso em 15/07/18.

VOLVO. **FH** - **Fichas Técnicas**. Disponível em: <<https://www.volvotrucks.com.br/content/dam/volvo/volvo-trucks/markets/brazil/trucks/volvo-fh/datasheets/fh8x4-T.pdf>> Acesso em 25/07/18