

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Verificação dos Critérios de Segurança na Análise Geotécnica em uma Fundação de Torre de Aerogerador de Eixo Horizontal

Iálysson da Silva Medeiros

Mestrando em Engenharia Civil e Ambiental, UFPE, Caruaru, Brasil, ialysson.medeiros@ufpe.br

Martha Maria Bezerra Santos

Mestranda em Engenharia Civil, UFPE, Recife, Brasil, martha.bezerra@ufpe.br

Maria Isabela Marques da Cunha Vieira Bello

Professora Doutora em Engenharia Civil, UFPE, Caruaru, Brasil, isabelamcvbello@hotmail.com

RESUMO: O crescimento da energia eólica no Brasil fez com que profissionais de engenharia geotécnica enfrentassem problemas de diversas naturezas, como as particularidades das cargas e os requisitos dos comportamentos usuais. Então, é necessário um aprofundamento dos conhecimentos e práticas na verificação dos critérios de segurança na análise das fundações de torres de aerogeradores, visando contribuir com as pesquisas neste setor. Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar os resultados das verificações dos critérios de segurança para uma fundação de uma torre de aerogerador. As análises consistem na seleção do modelo da torre e avaliação dos índices de resistência do solo. Será feita a concepção do projeto de fundação para conhecer os carregamentos atuantes e, por fim, serão realizadas as verificações de segurança. Nas condições normais, o fator de segurança contra o tombamento e deslizamento foi 3,24 e 12,32, respectivamente. Nas condições extremas, o fator de segurança contra o tombamento e deslizamento foi 2,89 e 10,27, respectivamente. O fator de segurança de capacidade de carga do solo para a situação normal e extrema de acordo com o Método de Rigidez Convencional de Teng (1962) foi 36,48 e 31,50, respectivamente, e por Meyerhof (1953), 49,22 e 45,22. A estrutura foi considerada segura, com o tombamento no caso de carga extrema o fator preponderante na análise de estabilidade. Pesquisas futuras podem derivar da proposta desta pesquisa, ampliando o interesse teórico-prático, além de inúmeras melhorias possíveis tendo em vista a multidisciplinaridade desses projetos.

PALAVRAS-CHAVE: Fundações superficiais, Projeto de fundação, Análise de estabilidade, Segurança estrutural.

ABSTRACT: The growth of wind energy in Brazil has caused geotechnical engineering professionals to face problems of various natures, such as the particularities of loads and the requirements of the common behaviors. Thus, it is necessary to deepen the knowledge and practices in the verification of safety criteria in the analysis of the foundations of wind turbine towers, in order to contribute to research in this sector. Thus, the objective of this work is to present the results of the verifications of the safety criteria for a foundation of an aerogenerator tower. The analyses consist of the selection of the tower model and evaluation of soil resistance indexes. The foundation project will be designed to know the current shipments and, finally, safety checks will be carried out. Under normal conditions, the safety factor against tipping and sliding was 3.24 and 12.32, respectively. In extreme conditions, the safety factor against tipping and sliding was 2.89 and 10.27, respectively. The safety factor of soil load capacity for the normal and extreme situation according to the Teng Conventional Rigid Method (1962) was 36.48 and 31.50, respectively, and by Meyerhof (1953), 49.22 and 45.22. The structure was considered safe, with tipping in the case of extreme load the predominant factor in the stability analysis. Future researchs may derive from the proposal of this research, expanding the theoretical and practical interest, in addition to numerous possible improvements in view of the multidisciplinarity of these projects.

KEYWORDS: Surface foundations, Foundation design, Stability analysis, Structural safety.

1 Introdução



A busca por soluções ambientalmente sustentáveis que visam melhorar a vida da sociedade atual é uma necessidade mundial. A conservação do meio ambiente gera uma grande preocupação, pois, é muita poluição, exploração desgovernada de recursos naturais, desmatamento, desperdício de água, levando a destruição do nosso planeta.

Nos últimos anos, observa-se uma tendência no crescimento da demanda energética principalmente devido a melhoria na qualidade de vida da população, aumentando a preocupação com vários aspectos de planejamentos de políticas energéticas (MARTINS, GUARNIERI; PEREIRA, 2008). De acordo com Medeiros (2019), a preocupação com o meio ambiente e os esforços para a redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), permitiram analisar e buscar alternativas para que pudessem suprir as necessidades econômicas, e paralelamente gerar menos impacto ambiental.

As fontes de energia eólica, dentro de várias possibilidades, são as que geram menores impactos ambientais e que não emitam gases para o efeito estufa. No Brasil, o crescente uso da energia eólica fez com que os profissionais de Engenharia Geotécnica tivessem que enfrentar problemas com características de naturezas diversas.

Ligado ao crescimento do setor eólico advindo da grande necessidade na demanda energética, alguns problemas associados aos projetos de infraestrutura precisam ser enfrentados, pois não é comum encontrar na literatura uma metodologia de cálculo que atenda as diversidades atuais. A infraestrutura é o conjunto do elemento de suporte e sustentação que forma a fundação de uma estrutura, que segundo Silva (2014), o elemento de fundação é o responsável por conectar a torre do aerogerador ao solo de assente.

As fundações das torres eólicas apresentam uma série de especificidades provenientes da complexidade e magnitude das solicitações, e todos os projetos são contemplados partindo inicialmente da determinação das solicitações de todas as cargas atuantes de projeto, e da definição das características geotécnicas do solo e sua resposta às solicitações. Os solos são muito dissemelhantes entre si e, naturalmente, irão responder de maneira muito variável (ABMS/ABEF, 1998), por isso, as condições geotécnicas do solo são fatores de grande importância para a escolha do tipo de transmissão de cargas a ser adotado (FARIA; NORONHA, 2013).

O elemento de fundação das torres de turbinas eólicas devem suportar cargas verticais e forças horizontais impostas pelo vento, no qual, segundo Bertuzzi (2013) o vento incidente nas pás da turbina eólica faz existir uma diferença de pressão entre a parte frontal e a parte posterior da turbina, no qual trás como consequência um carregamento de momento fletor e uma força de cisalhamento ao longo da torre até a sua fundação, como a apresentado na Figura 1.

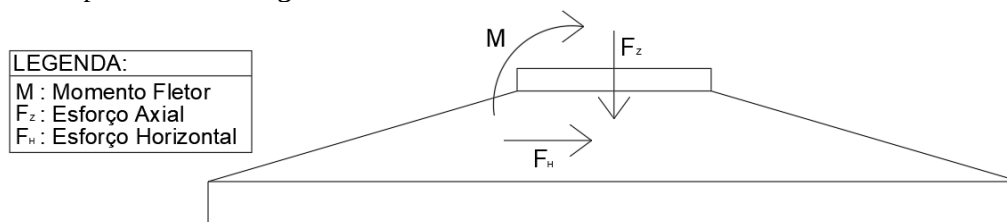


Figura 1. Esforços atuantes na Fundação de uma Torre de Aerogerador. Fonte: Autores (2021).

Além dos esforços apresentados na Figura 1, existem cargas de menor intensidade provenientes da própria execução e montagem da torre ou devido à manutenção, que atuam na estrutura em um curto período de tempo (BERTUZZI, 2013). Resalta-se que todas as cargas atuantes na estrutura devem ser adequadamente combinadas a fim de gerar todas as situações críticas de projeto (FARIA; NORONHA, 2013).

A fim de suportar elevadas cargas que muitas vezes possuem certa excentricidade, as fundações dos aerogeradores são do tipo sapatas circulares que foram popularizadas pela distribuição uniforme das forças, independentemente da direção do vento. Portanto, a metodologia a ser implantada é condicionada, principalmente, pelo tipo de estrutura que vão impactar diretamente na resistência e nos recalques ocorridos. Segundo Danziger (2017) é fundamental, a priori, uma análise financeira para determinação da melhor opção, considerando a viabilidade técnica da implantação.

Embora existindo alguns estudos acerca desse tema, há um vasto campo de análises que ainda não foram abordados de forma clara e satisfatória, pois as informações sobre os dados fornecidos pelos fabricantes ainda são muito inferiores ao que seria necessário para um profundo estudo sobre as estruturas. Portanto, existe uma maior necessidade de estudos que visem um aprimoramento no desempenho dos componentes constituintes



das fontes eólicas, pois os estudos que são provenientes das academias são a única fonte pública possível para fomentar contribuições a serem amplamente compartilhadas. Entretanto, este trabalho não apresenta as avaliações e análises acerca das condições que provocam efeitos deletérios sobre o desempenho da fundação, como os carregamentos cíclicos e efeitos dinâmicos, oriundas de natureza ambiental e de operação. Tal consideração foi feita, por prezar a compreensão dos métodos utilizados e resultados gerados, e atender aos limites de laudas estabelecidos. Portanto, a proposta deste trabalho pode derivar em diversos desdobramentos e pesquisas futuras, ampliando assim o interesse teórico-prático, além de inúmeras melhorias possíveis em temas que se relacionem diretamente com esta proposta.

Tendo como objetivo a contribuição de exploração ainda maior no potencial eólico no Brasil, este trabalho tem como principal objetivo apresentar os resultados da verificação dos critérios de segurança acerca do dimensionamento geotécnico de uma fundação do tipo direta em solo com substituição de material existente que serve de sustentação para uma torre de aerogerador de eixo horizontal. Serão avaliados capacidade de carga, tombamento e deslizamento da estrutura de modo a assegurar a estabilidade da estrutura durante a vida útil do projeto. Mais especificamente, a estrutura será analisada de acordo com sua localização geográfica, sendo realizado um dimensionamento geotécnico da solução de fundação para um determinado Índice de Resistência à Penetração do Solo (N_{spt}).

2 Metodologia

Para atingir os objetivos citados, são realizados estudos com base exploratória e descritiva, no qual pretende-se desenvolver este trabalho em três etapas a partir do pré-dimensionamento da fundação.

A primeira etapa consiste em selecionar um modelo de torre de aerogerador. Adiante, serão avaliadas as características dos índices de resistência do solo, para que sejam obtidos os parâmetros que serão adotados no projeto. Definidos os parâmetros de resistência do solo, será feita a concepção do projeto de fundação a ser utilizada, no qual, partindo do projeto adotado, são conhecidos os carregamentos que atuam na estrutura determinando todas as forças necessárias, assim como os possíveis mecanismos de falha. Por fim, será realizada, a verificação da capacidade de carga do solo e a verificação de segurança da estrutura quanto aos estados limites últimos de tombamento e deslizamento do conjunto fundação-estrutura estabelecidos pela ABNT NBR 6122 (2010). Desse modo, será garantida a estabilidade e segurança estrutural do conjunto.

2.1 Descrição da Torre

Adotou-se uma torre tubular de aço com uma altura de 75,64 m e 4,30 m de base, compatível a um aerogerador no padrão SWT-2.3-93 (MEDEIROS, 2019), cuja fundação considerada é tipo sapata circular superficial direta em solo.

2.2 Concepção dos parâmetros geotécnicos

Nesta pesquisa, é adotada uma fundação do tipo direta em solo com substituição de material existente. Segundo Lôbo (2018), as condições para esse tipo de fundação são valores de índice de resistência à penetração do solo (N_{SPT}) inferiores a 16 golpes/30 cm finais. O valor para a tensão admissível do solo na cota de assentamento da sapata, deve ser inferior a capacidade de carga calculada considerando $N_{SPT} = 16$, dividida pelo fator de segurança. Dessa forma, o parâmetro de índice de resistência do solo utilizado nas verificações, será o menor valor possível que pode ser considerado ($N_{SPT} = 16$) na profundidade de assentamento do bloco de fundação, no qual, para este projeto, adotou-se uma cota de assentamento igual a 3,0 m.

O critério de substituição de solo foi adotado, na intenção de garantir que, na profundidade de assentamento considerado, todos os perfis típicos elencados, bem como todas as outras bases de outras turbinas deste parque eólico, trabalhar-se-á com um valor de $N_{SPT} = 16$ na profundidade de assentamento da sapata.

Os parâmetros de resistência foram calculados seguindo algumas metodologias propostas na literatura. A concepção do ângulo de atrito é realizada por meio dos métodos empíricos de Teixeira (1996) e Hatanaka e Uchida (1996). A estimativa do módulo de Young é realizada com base nas metodologias propostas por Schnaid (2000) e Freitas, Pacheco e Danziger (2012). E por fim, o módulo de cisalhamento dinâmico é calculado utilizando as determinações da norma Petrobrás N-1848 (2011) e Borges (2018).

Para a previsão de capacidade de carga do solo, utiliza-se o Método de Rigidez Convencional



estabelecido por Teng (1962) para os casos no qual a sapata circular está submetida a carregamentos cuja excentricidade está fora do núcleo central de inércia. A carga de ruptura do solo é encontrada por meio das equações propostas por Vesic (1975), que utiliza dos conceitos de área efetiva A' , utilizando o conceito de Meyerhof (1953).

2.2.1 Parâmetros de resistência

Os valores dos parâmetros de resistência associados ao índice de resistência à penetração do solo ($N_{SPT} = 16$), foram calculados por meio das correlações e métodos empíricos descritos no item anterior e estão identificados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de resistência adotados nas verificações do projeto.

N_{SPT}	ϕ	E	G
16	35°	75,171 MPa	38,596 MPa

Fonte: Autores (2021).

no qual: N_{SPT} é o Índice de Resistência à Penetração do Solo; ϕ é ângulo de atrito; E é módulo de Young; e G o módulo de cisalhamento dinâmico.

2.2.2 Critérios de segurança

Os limites de segurança em relação ao tombamento, deslizamento e capacidade de carga, são estabelecidos conforme a ABNT NBR 6122 (2010) e estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores limites de segurança.

Tombamento	1,5
Deslizamento	1,5
Capacidade de carga	3,0

Fonte: ABNT NBR 6122 (2010).

2.3 Composição dos esforços

Os carregamentos atuantes no projeto são compostos pelo peso próprio do bloco da sapata, sendo considerado para o concreto armado um peso específico igual a 25 kN/m³, somado com o peso do solo do reaterro, no qual será considerado peso específico seco igual a 19 kN/m³. Além destes, também será considerado os carregamentos da torre do aerogerador e de todos os componentes que compõem a estrutura.

2.3.1 Solicitações de projeto

Os esforços solicitantes de projeto utilizados no cálculo das verificações de segurança, são compostos pelos carregamentos identificados na Tabela 3.

Tabela 3. Solicitações de projeto.

Caso normal de carregamento		Caso extremo de carregamento	
F_Z	3174.7 kN	F_Z	3266.2 kN
F_H	725.2 kN	F_H	873.2 kN
M	5,498 . 10 ⁴ kN.m	M	6,781 . 10 ⁴ kN.m
P_{sapata}	1,204 . 10 ⁴ kN	P_{sapata}	1,204 . 10 ⁴ kN
P_{aterro}	5,493 . 10 ³ kN	P_{aterro}	5,493 . 10 ³ kN

Fonte: Autores (2021).

no qual: F_Z é o esforço axial; F_H é o esforço horizontal; M o momento fletor causado pela ação do vento; P_{sapata} é peso próprio da sapata; e P_{aterro} é o peso do reaterro que deve ser considerado em projeto.



Para o caso do esforço horizontal, a aplicação desta carga acontece exatamente na base da torre, dessa forma foi calculado um momento adicional que está relacionado à transferência da força horizontal, considerando a altura da base da sapata (Tabela 4).

Tabela 4. Momento adicional referente à transferência da força horizontal.

Caso normal de carregamento		Caso extremo de carregamento	
M	$2,538 \cdot 10^3 \text{ kN.m}$	M	$-3,056 \cdot 10^3 \text{ kN.m}$

Fonte: Autores (2021).

2.4 Descrição da fundação

As características geométricas relacionadas ao projeto de uma fundação superficial em sapata circular tipo direta em solo com substituição de material existente, podem ser verificadas na Figura 2.

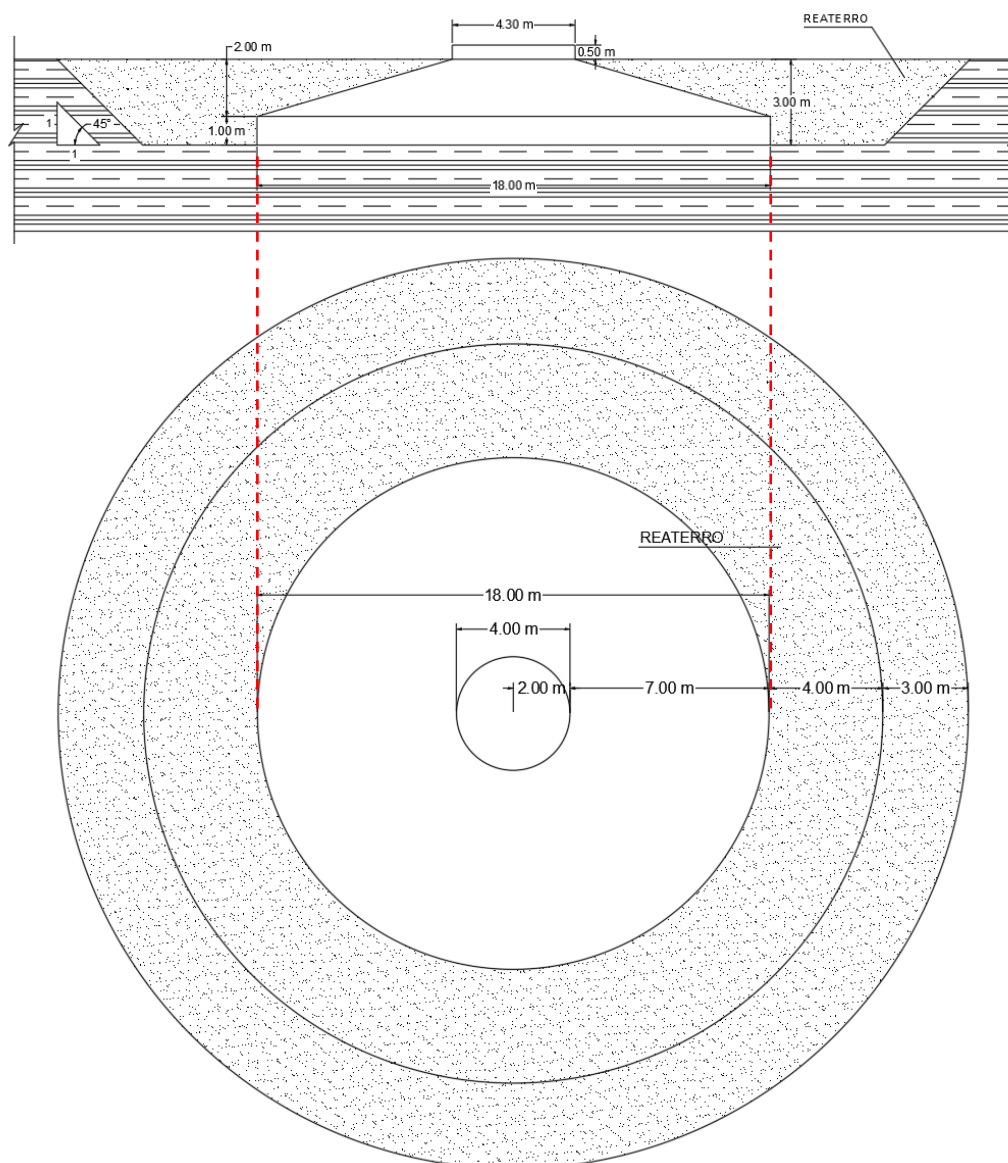


Figura 2. Geometria adotada no dimensionamento da fundação. Fonte: Autores (2021).

3 Resultados e discussão

3.1 Verificação de segurança contra tombamento



A verificação de segurança contra tombamento é de grande importância devido aos valores de momentos atuantes na fundação serem muito elevados. Para comprovar a necessidade do cálculo do fator de segurança contra o tombamento, foi checado se a excentricidade do carregamento estava ou não no núcleo central de inércia da base.

No geral, o núcleo central de inércia da base encontra-se a 2,25 m, enquanto a excentricidade para o caso normal de carregamento está a 2,78 m, e para o caso extremo de carregamento está a 3,13 m. Dessa forma, observa-se a necessidade da verificação de segurança a partir do equilíbrio dos momentos em relação ao centro de excentricidade da fundação para ambos os casos.

O coeficiente de tombamento resultante da divisão do somatório dos momentos estabilizantes pelo dos momentos de tombamento para o caso normal e extremo de carregamento, podem ser verificados na Tabela 5.

Tabela 5. Coeficiente de segurança contra tombamento.	
Caso normal de carregamento	Caso extremo de carregamento
3,24	2,89

Fonte: Autores (2021).

3.2 Verificação de segurança contra deslizamento

A verificação de segurança contra deslizamento é muito importante a partir do equilíbrio das forças horizontais que normalmente são geradas pelas cargas de vento.

Nesta verificação, foi considerado um valor igual a 2/3 do ângulo de atrito na interface solo-estrutura, e desprezada a coesão do solo, a fim de obter o valor mais extremo possível. Portanto, os coeficientes de deslizamento resultantes podem ser verificados na Tabela 6.

Tabela 6. Coeficiente de segurança contra deslizamento.	
Caso normal de carregamento	Caso extremo de carregamento
12,32	10,27

Fonte: Autores (2021).

3.3 Verificação da capacidade de carga do solo

De maneira análoga às verificações quanto ao tombamento e deslizamento do bloco de fundação, a verificação da capacidade de carga do solo também é de extrema importância e foi realizada para os casos de carregamento normal e extremo.

Para encontrar a carga de ruptura do solo, é necessário ser calculada a tensão de ruptura q_{rup} por meio das equações e fatores propostos por Vesic (1975), e multiplicar este valor pela área efetiva A' . Para chegar à área efetiva (A'), foi utilizado o conceito de Meyerhof (1953), com auxílio do *software* AutoCAD, calculando-se inicialmente a excentricidade do carregamento (normal e extremo) através da divisão entre o momento fletor total e a carga vertical total (Figura 3).

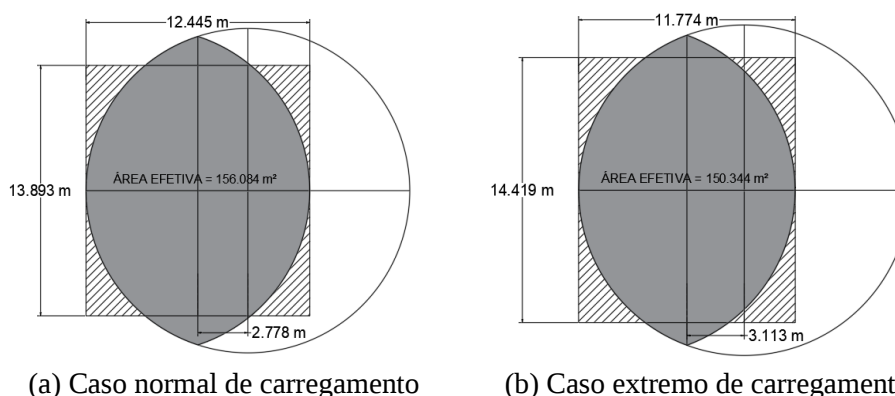


Figura 3. Área efetiva para os casos de carregamentos. Fonte: Autores (2021).



Para os casos no qual a excentricidade do conjunto está fora no núcleo central de inércia, a base não está totalmente comprimida, sendo necessário utilizar o Método de Rigidez Convencional determinado por Teng (1962) para cálculo da tensão máxima. Nessa perspectiva, para o caso normal de carregamento, a excentricidade do conjunto é 2,78 m, e para o caso extremo de carregamento, a excentricidade do conjunto é 3,11 m, observando que ambas estão fora do núcleo central de inércia que está a 2,25 m.

Dessa forma, são apresentados na Tabela 7, os resultados referentes às verificações da capacidade de carga do solo, considerando a proposição feita por Meyerhof (1953) e pelo Método de Rigidez Convencional de Teng (1962).

Tabela 7. Capacidade de Carga do Solo.

Proposição	Caso normal de carregamento	Caso extremo de carregamento
Meyerhof (1953)	49,22	45,22
Teng (1962)	36,48	31,49

Fonte: Autores (2021).

Constata-se, então, que a proposta estabelecida por Teng (1962) para o cálculo de tensão máxima por meio do Método de Rigidez Convencional e consequentemente obtenção da capacidade de carga do solo, conduz a uma redução considerável no fator de segurança em relação a proposição feita por Meyerhof (1953) que utiliza o conceito de área efetiva.

4 Considerações finais

Nas condições de carregamentos estabelecidos, os resultados apresentados em relação aos fatores de segurança contra o deslizamento, tombamento e capacidade de carga do solo encontrados, permitem concluir que a concepção inicial do projeto de fundação do tipo direta em solo com substituição de material existente, foi adequada e se mostrou segura e satisfatória tanto para o caso normal de carregamento quanto para o caso extremo.

Conclui-se, portanto, que uma das condições preponderantes no dimensionamento desse tipo de estrutura é a verificação quanto ao Estado Limite Último (ELU) de tombamento (caso de carga externa), pois este é o que mais se aproxima dos valores limites estabelecidos na ABNT NBR 6122 (2010). Esse fato pode ser justificado devido ao carregamento excêntrico ocasionado pelos elevados momentos fletores resultantes, principalmente, da ação do vento ao longo da estrutura da torre. Ademais, o que justifica os elevados valores de capacidade de carga do solo são os elevados valores dos parâmetros geotécnicos.

Embora as dimensões aqui adotadas serem normalmente representativas para serem adotadas inicialmente para fins de verificações, sugere-se para pesquisas futuras na área de fundações de torres de aerogeradores, análises com novos parâmetros de resistência do solo e de deformabilidade otimizados, além de propor novas dimensões da estrutura de fundação, buscando analisar a influência dessas características no fator de segurança analisado. Atrelado a isto, pode-se realizar uma análise estrutural completa da fundação, buscando a determinação das armaduras, incluindo uma análise dinâmica e incluindo carregamentos cíclicos na estrutura.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento das pesquisas desenvolvidas pelos alunos no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM) e Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), ambos da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), campus Caruaru e Recife.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABMS/ABEF. (1998) *Fundações: Teoria e Prática*. São Paulo: PINI, 2 ed.

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
 IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
 IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
 23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
 23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
 COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.
- Bertuzzi, P. J. (2013) *Estudos de Aspectos de Engenharia Para Implantação de Torres Eólicas*. Projeto Final de Graduação, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina / UFSC, Florianópolis, 102 p.
- Borges, J. B. (2018) *Recomendação para adoção do módulo de cisalhamento dinâmico de projeto*. Centro de Tecnologia / UFRJ, Rio de Janeiro.
- Danziger, F. A. B. (2017) *Notas de Aula - Introdução ao Estudo das Fundações*. UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Faria, P. O.; Noronha, M. (2013) *Fundações de Torres Eólicas: Estudo de Caso*. GEOSUL, Criciúma.
- Freitas, A.C.; Pacheco, M.; Danziger, B.R. (2012) Estimating Young Moduli in Sands from the Normalized N60 Blow Count. *Soils & Rocks*, v. 35, p. 89-98.
- Hatanaka, M.; Uchida, A. (1996) Empirical correlation between penetration resistance and effective friction of sandy soil. *Soils Found*, v. 36 (4), p. 1-9.
- Lôbo, J. R. (2018) *Estudo do Projeto Geotécnico de fundação de uma turbina eólica*. Trabalho de Conclusão de Curso, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ, 90 p.
- Martins, F.R., Guarnieri, R.A., Pereira, E.B. (2007) *O aproveitamento da energia eólica*. Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, São Paulo.
- Medeiros, I. S. (2019) *Dimensionamento da geometria em casca de uma Torre tubular de aço para Aerogerador de eixo horizontal*. Trabalho de Conclusão de Curso, Núcleo de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco / UFPE, 129 p.
- Meyerhof, G. G. (1953) The bearing capacity of foundations under eccentric and inclined loads. In: *International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Switzerland. Proceedings [...]. Zurich: ICSMFE, 1953. v. 1 (3), p. 440-445.
- Petrobrás N-1848 (2011) - *Fundações de Máquinas*.
- Schnaid, F., Odebrecht, E. (2012) *Ensaio de campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações*. 2ª edição. Oficina de Texto.
- Silva, M. D. (2014) *Tipificação de fundações de torres eólicas em parques industriais, para diversos tipos de solos*. Dissertação de Mestrado, Área Departamental de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 146 p.
- Teixeira, A. H. (1996) *Projeto e execução de fundações*. In: Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia – SEFE 3, São Paulo, *Anais... ABMS*. v.1, p. 33- 50.
- Teng, W.C. (1962) *Foundation Design*. Prentice-Hall International, Inc., Englewood Cliffs, NJ.
- Vésic, A. S. (1975) *Bearing capacity of shallow foundations*. In: H. F. Winterkorn; H. Y. Fang (Eds.); New York: Van Nostrand Reinhold Co.