



GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT

CRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DO COMPRIMENTO DE FUNDAÇÕES ANCORADAS EM ROCHA EM TORRES ESTAIADAS A PARTIR DOS DADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS PRÉVIOS

DANIEL CANOVA RENOSTO(*); **ANDRE HOFFMANN(1)**; **JOSE CARLOS DO AMARAL(2)**
FASTTEL ENGENHARIA(1); **BENAPAR GEOTECNIA E FUNDAÇÕES ESPECIAIS (2)**

RESUMO

O presente trabalho apresenta-se um estudo de ensaios prévios, ou seja, antes do início da obra, das fundações ancoradas em rocha para os estais de uma estrutura mono mastro. O estudo foi de uma linha de transmissão no extremo sul do Brasil, região de fronteira com o Uruguai, tendo como objetivo principal a redução do custo das fundações. Será apresentada a metodologia utilizada, assim como os resultados que embasaram o projeto executivo e procedimentos de campo.

PALAVRAS-CHAVE

Fundação, Ancoragem em rocha, Ensaios de Tração, Torres Estaiadas, Ensaios prévios

1.0 INTRODUÇÃO

As fundações ancoradas em rocha, praticadas em linhas de transmissão, são soluções rápidas e eficazes quando bem elaboradas e controladas, mas muitas vezes deixam grande dúvida quanto a resistência da interface da calda de cimento e a rocha, principalmente aquelas que são utilizadas diretamente ligadas nos estais das torres estaiadas, trabalhando de forma individual, sendo submetidas a tração ao longo de sua vida útil. Fato é que a ausência de uma normativa, para este tipo de solução de fundação para linhas de transmissão, tem promovido grandes debates entre os consultores, empresas de fundação, construtoras e transmissoras. Alguns problemas de falhas, nos últimos anos, também promoveram um maior rigor nas definições de projetos deste tipo de fundação, assim como os procedimentos de execução da perfuração, injeção e ensaio.

Dentre as alternativas de fundação para os locais com presença de materiais geológico-geotécnicos resistentes, as ancoragens em rocha destacam-se pela utilização de equipamentos com logística simples, podendo chegar em locais remotos e de difícil acesso. Exigem uma análise prévia bastante eficaz para a confiabilidade e segurança do projeto. A prática convencional, deste tipo de fundação, quanto a definição da qualidade do material perfurado durante as execuções, está associada com a correlação do tempo de perfuração, sendo que a caracterização está associada há um tempo menor de perfuração em rocha branda e um tempo maior de perfuração em rocha sã. Não é comum utilizar, neste mercado, em escala investigativa, as sondagens rotativas, no qual poderiam transmitir maiores informações das propriedades geotécnicas para a calibração da concepção do projeto executivo. Investigações do tipo SPT são de comum utilização, porém limitam-se a certos tipos de materiais menos resistentes à penetração a percussão não possibilitando identificar o tipo de material presente naquela profundidade de interação da fundação. Rochas, como definição, são materiais formados da junção ou de uma associação natural de dois ou mais minerais. Seus grãos constituintes são bem definidos, mas sua força de ligação varia, resultando em rochas duras ou rochas brandas. Ter a definição do grau de alteração de uma rocha, ou seja, definir a qualidade deste material sem a realização de ensaios em laboratório é algo empírico e exige muita experiência de campo.

Uma obra linear, ou seja, quilômetros de extensão, requer maiores investigações e definições bem elaboradas dos procedimentos para execução dos trabalhos de perfuração e injeção, assim como um acompanhamento técnico durante toda a operação.

2.0 INTERPRETAÇÕES E DEFINIÇÕES DAS ROCHAS

Rochas são materiais consolidados resultantes da junção, união, natural de minerais, tendo seus cristais ou grãos constituintes muito bem definidos. TEIXEIRA et al. 2009, citou que dependendo do processo de formação, a força de ligação dos grãos constituintes varia, resultando em rochas duras e rochas brandas. A classificação das rochas é dada conforme seu modo de formação na natureza, podendo ser ígneas, sedimentares ou metamórficas. A definição dos termos relativos aos materiais da crosta terrestre, rochas e solos, para fins de engenharia são descritos na ABNT NBR 6502 – Rochas e Solos. O conceito de uma rocha sã ou quase sã, de maneira geral, define-se pelos

componentes mineralógicos originais estarem intactos, sem apresentar indícios de decomposição, com juntas ligeiramente oxidadas consequentemente não apresentando perda da resistência mecânica.

Ensaio de laboratório, com corpos de provas retirados dos locais da obra, são fundamentais para definir a qualidade ou grau de alteração das rochas e por consequência a sua resistência mecânica.

3.0 AS ANCORAGENS EM ROCHA EM LINHAS DE TRANSMISSÃO

São alternativas de fundação empregadas em torres estaiadas e torres autoportantes compostas por um ou mais elementos de aço protegidos contra corrosão, capaz de suportar esforços e transmiti-los a rocha. Quando utilizadas nos estais das torres estaiadas, usualmente trabalham de forma individual, transmitindo esforços de tração. Na utilização para os mastros destas mesmas estruturas, trabalham em grupos de ancoragens consolidadas por um bloco, transmitindo esforços de compressão. Já para as torres autoportantes, devido a característica construtiva deste tipo de estrutura, transmitem a rocha esforços de tração e compressão, dependendo da ação do vento na torre. Neste caso as ancoragens trabalham em grupos, sendo distribuídas nos blocos de cada pé da torre. A Figura 1 ilustra um exemplo típico dos elementos da ancoragem em rocha.

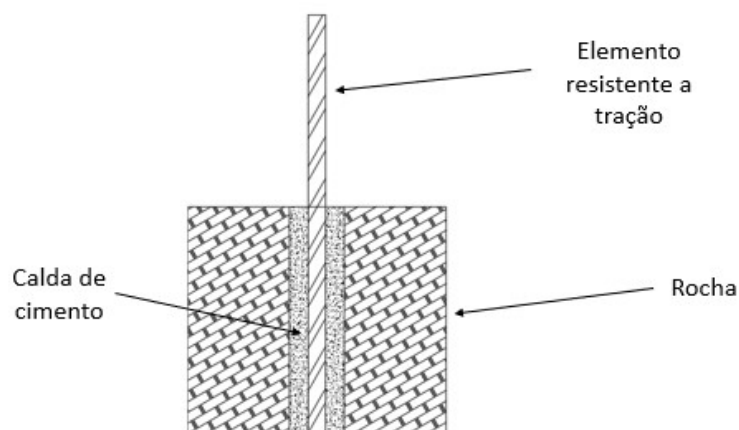


FIGURA 1 – Esquemático da ancoragem em rocha

4.0 METODOLOGIA UTILIZADA

O estudo compreende em uma metodologia que traz o equilíbrio das variáveis técnicas, econômicas e de segurança, embasados pelo entendimento das variações geológico geotécnicas ao longo da obra, através das instalações e execuções de provas de carga de estacas adicionais, antes do início das execuções das fundações definitivas. Sabemos que este tipo de solução de fundação é muito genérico e de grande variabilidade na tensão de contato rocha-nata de cimento, ainda mais na região desta linha de transmissão onde há presença de formações areníticas e basálticas.

O projeto inicial previa um furo de 0,1 m, comprimentos de 7,0 m em rocha sã e 11,5 m em rocha branda, para atender a carga de projeto de 400 kN dos estais das estruturas deste empreendimento, no que representava um elevado custo das fundações.

4.1 Análise do traçado, mapa geológico e investigações geotécnicas

Nesta etapa inicial foi avaliado o traçado da linha de transmissão, sobrepondo ao mapa geológico da região, com objetivo de verificar o histórico das formações rochosas e transições que possam transmitir resultados distintos, importantes para as execuções e segurança do projeto. Ver Figura 2.

4.3 Definição dos locais dos ensaios

Os locais de instalação e ensaios foram definidos com base nas informações preliminares, buscando englobar todas as possíveis variações ao longo da linha de transmissão. A Figura 4, demonstra os locais escolhidos para as instalações e posterior prova de carga. Nota-se que a escolha abrangeu trechos distintos ao longo da obra, totalizando 17 locais.

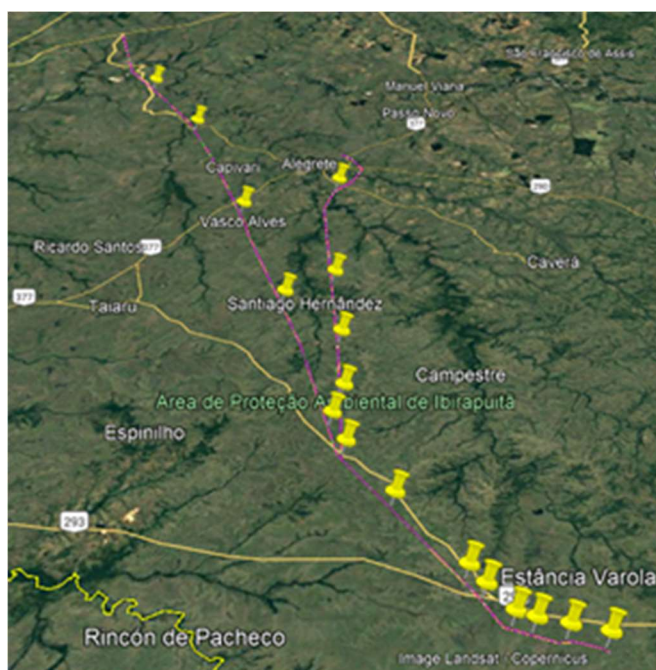


FIGURA 4 – Representação dos pontos dos ensaios

4.4 Equipamentos, metodologia de execução

A metodologia de perfuração, injeção e ensaio foi descrita em procedimento específico, abordando todos os pontos a serem seguidos durante esta etapa. Na Figura 5 é possível verificar o fluxograma da sequência desta atividade.

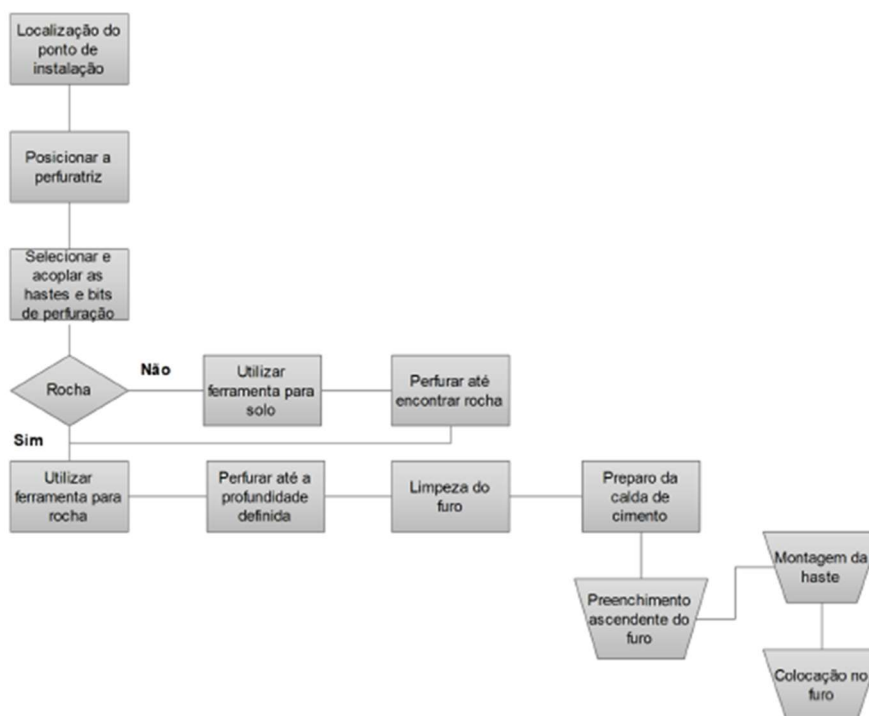


FIGURA 5 – Fluxograma da atividade de perfuração e injeção de preenchimento

A Figura 6 ilustra os principais equipamentos para a execução das perfurações, composto por perfuratriz com rotator pneumático (martelo de fundo) e unidade de ar comprimido.



FIGURA 6 – Equipamento utilizado na instalação das ancoragens.

As principais variáveis para a escolha dos equipamentos são o diâmetro de perfuração, material a ser soprado do furo, profundidade e inclinação. O tipo de bits e ferramenta de perfuração, também é fundamental para obter a correta geometria e homogeneidade do furo. Ainda compõe os equipamentos de execução o sistema de injeção, sendo bomba elétrica, agitador e misturador para a mistura do cimento com a água. O fator água cimento adotado foi na proporção de 0,5. As execuções previam furos de 0,1m com comprimentos variando de 3m a 7m.

4.5 Procedimento para provas de carga

Os ensaios aqui apresentados são do tipo rápido, adaptados pela ABNT NBR 16903 – Solo – Prova de carga estática em fundação profunda. A Figura 7, demonstra os ciclos de carga e descarga adotados no ensaio. A carga de trabalho das fundações, Q_{trab} é de 360 kN. Importante destacar que para a carga de projeto, Q_{proj} , foi majorada pelo $f_c = 1,1$, em atendimento à orientação da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica).

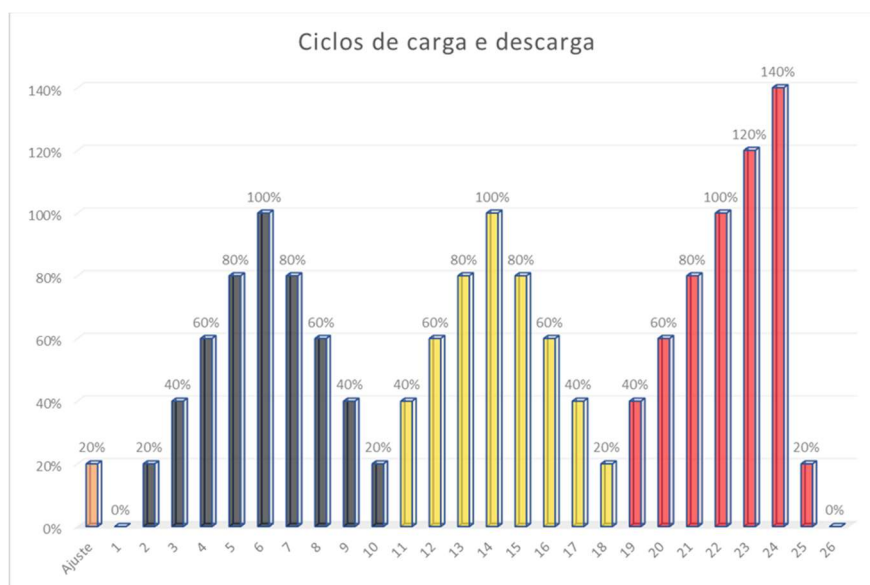


FIGURA 7 – Ciclos de carga e descarga utilizados nas provas de carga

NOTA:

- aplicação de carga de ajuste, zerando-se as medidas de deslocamento dos extensômetros após essa carga, que corresponde a 20% da carga de projeto;
- aplicação do 1º ciclo de carregamento, em estágios de 20%, 40%, 60%, 80% e 100% da carga de projeto;
- em cada estágio, os deslocamentos são lidos ao atingir a carga prevista e após 1 min com a carga mantida; no estágio final (100% Q_{proj}) a carga é mantida por 5 min.
- aplicação do 2º ciclo de carregamento, repetindo-se o procedimento do 1º ciclo;
- aplicação do 3º ciclo, com carga máxima correspondente a 140% da carga de projeto, limitada pela carga estrutural da barra;
- descarregamento total, medindo-se o deslocamento residual.

A carga de ajuste é utilizada para eliminar folgas de todo o conjunto de ensaio, assim como a estabilização dos pés de reação na camada superficial. A Figura 8 ilustra uma montagem do equipamento utilizado nas provas de carga.



FIGURA 8 – Equipamento utilizado nas provas de carga da empresa Benapar

4.6 Perfurações e provas de carga realizadas

Foram programadas 17 execuções seguidas dos ensaios. Em virtude de problemas com embargos, um dos ensaios foi abandonado, desta forma, foram realizados 16 ensaios em sítios distintos.

As primeiras análises são respectivas aos dados de perfuração coletados durante as execuções, registrando o

tempo de perfuração a cada 0,5 m, posição do nível d'água, aspecto tátil e visual do material de retorno. Os tempos de perfuração foram avaliados e inseridos no gráfico como demonstrado na Figura 9, tendo como objetivo verificar a equivalência dos tempos para os diferentes pontos escolhidos. Os valores do coeficiente de determinação, R^2 , também são apresentados.

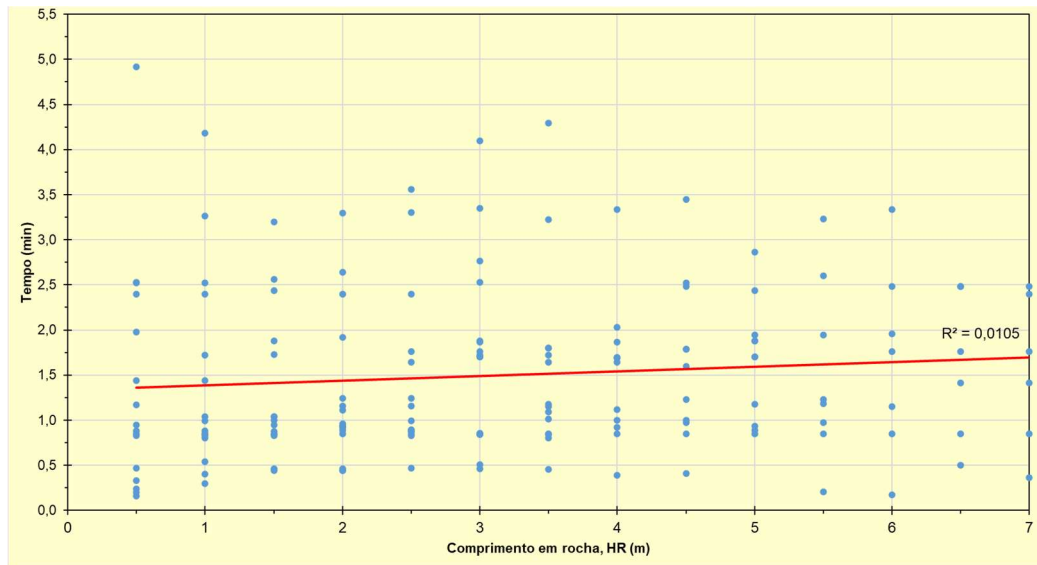


FIGURA 9 – Dispersão dos dados de perfuração

Todas as provas de carga foram realizadas a tração. Os dados obtidos permitem a definição da curva carga x deslocamento, elaborado para todos os pontos, tendo como objetivo analisar o comportamento da fundação. A nomenclatura “d” e “HR”, citada na Figura 10, refere-se ao diâmetro e comprimento ancorado em rocha, respectivamente.

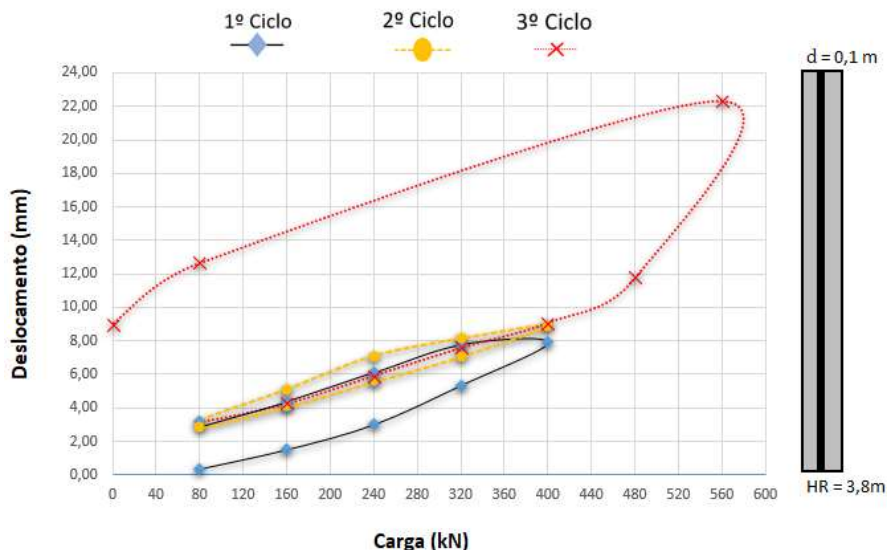


FIGURA 10 – Curva carga x deslocamento da prova de carga realizada na torre 121-2

Para uma melhor interpretação da tensão de ruptura, os resultados dos ciclos de ensaios foram colocados de forma conjunta, adotando em um dos eixos a tensão de tração aplicada na ancoragem. Utilizando o método de intersecção tangente, onde a projeção da ruptura é relacionada com a intersecção de duas tangentes à curva de carga-deslocamento, sendo uma tangente a fase elástica e outra tangente a fase plástica, foi obtida a tensão de ruptura. O conceito da fase plástica foi observado na mudança de direção da reta, ou seja, mudança de inclinação no eixo do gráfico, conforme observado no terceiro ciclo de cada ensaio.

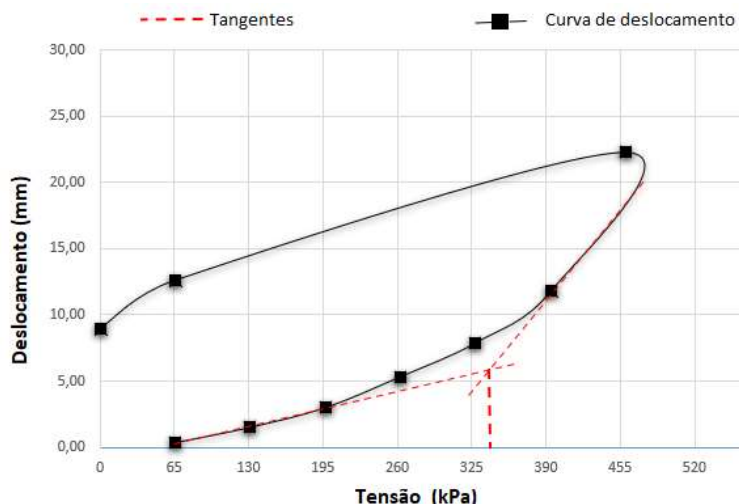


FIGURA 11 – Curva tensão x deslocamento, proposta do método tangentes para tensão de ruptura, torre 121-2

4.6.1 Resultados das provas de carga

Os resultados e informações das provas de carga constam na Tabela 1, relacionando os trechos da obra onde foram instaladas as ancoragens, comprimentos em solo, comprimentos em rocha, ângulo de instalação, cargas, deslocamentos máximos obtidos em todos os ciclos de ensaios, deslocamentos residuais e as tensões em rocha.

A carga correspondente a 140% da carga de projeto foi definida como limite para os ensaios em função da resistência estrutural da haste.

TABELA 1 - Resultados dos ensaios												
Trecho	Torre	HS (m)	HR (m)	Ângulo (º)	Q _{trab} (kN)	Q _{proj} (kN)	Q _{140%} (kN)	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3		τ _{máx}
								Δ ₁ (mm)	Δ ₂ (mm)	Δ ₃ (mm)	Δ _r (mm)	kPa
Trecho 1	7	4	3	31,5	360	400	560	12,14	15,39	14,51	4,24	583
	23	3	5	31,5	360	400	560	5,85	5,82	9,79	1,51	350
	61	0	7	31,5	360	400	560	4,69	5,88	9,49	0,29	250
	97	0	5,5	31,5	360	400	560	8,66	8,02	9,20	1,80	318
	158	0,3	4,7	31,5	360	400	560	5,53	5,36	7,88	1,26	372
	214	0,3	4,7	31,5	360	400	560	6,45	6,47	9,52	2,61	372
	280	0,2	4,8	31,5	360	400	560	4,42	3,93	6,76	1,34	364
	324 (*)	8	0	31,5	360	400	560	7,66	7,74	12,47	0,90	X
Trecho 2	240	0	7	31,5	360	400	560	4,32	4,96	6,57	0,09	250
	221	0	7	31,5	360	400	560	5,93	9,03	9,78	3,52	250
	167	0	6	31,5	360	400	560	8,30	9,55	15,51	4,10	291
	145	0	4,7	31,5	360	400	560	7,50	8,60	10,20	5,25	372
	121.1	3,5	3,2	31,5	360	400	560	7,71	9,31	24,20	9,80	546
	121.2	0,9	3,8	31,5	360	400	560	7,90	8,91	22,30	9,00	460
Trecho 3	2	2,5	4,5	31,5	360	400	560	7,88	7,98	10,55	2,91	388
	5	1,5	5,5	31,5	360	400	560	5,72	6,16	10,27	1,26	318

NOTA:

- HR – Comprimento em rocha
- HS – Comprimento em solo
- T_{máx} – Tensão máxima aplicada à rocha, limitada pela carga estrutural da haste
- 324 (*) – Os dados deste local foram desconsiderados devido a ancoragem não ter atingido comprimento em rocha

5.0 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

A prática usual, para linhas de transmissão, quanto a definição da qualidade da rocha através dos tempos de perfuração, não demonstrou eficácia para esta região da obra. A dispersão observada pelo coeficiente de determinação R² demonstrou uma correlação muito fraca para um parâmetro de decisão, podendo comprometer a segurança das fundações.

Não foi possível obter ruptura nítida em todos os ensaios, isto devido a limitação da resistência estrutural da haste. O método das tangentes colabora, a favor da segurança, para a obtenção da tensão de ruptura. Este método é utilizado com frequência em outros países para determinação gráfica da capacidade de carga a tração ou compressão.

Nota-se, através dos deslocamentos obtidos, boa estabilidade da fundação para as tensões no intervalo de 250 kPa à 388 kPa, principalmente quanto aos valores residuais. Desta forma foi adotado em projeto um único comprimento, baseado na tensão de 250 kPa, reduzindo o custo das fundações em no mínimo 40%.

Ensaio de rotina foram adotados para verificação da eficácia e qualidade das execuções, em escala menor que a prevista inicialmente. Todos os critérios de aceitação para estes ensaios, foram baseados nos dados obtidos dos ensaios prévios, transmitindo assim uma melhor padronização dos processos de execução e controle de qualidade. As dificuldades logísticas e cronogramas de obra, muitas vezes restringem estudos prévios importantes para a correta definição dos critérios de projeto. A escolha assertiva destes parâmetros, como demonstrado aqui neste trabalho, podem reduzir importantes custos, além de transmitir confiabilidade nas tomadas de decisões durante as execuções das fundações. O custo para realização dos estudos torna-se praticamente ínfimo, comparado com a grande riqueza de informações, entendendo as variáveis técnicas, econômicas e de segurança que envolvem a obra. A criação de uma normativa para este tipo de fundação é algo a ser alinhado com consultores, projetistas, executores e empresas do segmento.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) TEIXEIRA, W., TOLEDO, C. M., FAIRCHILD, T. R., TAIOLI, F. Decifrando a Terra; São Paulo, São Paulo: Oficina de Textos, 2 ed., 2009.

(2) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rochas e solos – NBR 6502. Brasil

(3) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo – Prova de carga estática em fundação profunda – NBR 16903. Brasil

7.0 DADOS BIOGRÁFICOS



(*) DANIEL CANOVA RENOSTO

Consultor sênior com 16 anos de experiência em desenvolvimento, manufatura de ancoragens metálicas, empregadas no segmento da construção civil, atuante em design e solução de fundações, gestor de contratos P&D, Líder da força tarefa "Recomendações técnicas para projeto, fabricação, instalação e manutenção de Estacas Helicoidais em Linhas de transmissão e distribuição" publicada em 2020, segundo lugar no XXIII Ieriac 2019, autor de publicações em Estacas Helicoidais, autor de patentes de produtos e sistemas para construção civil e colaborador da ABNT para revisão e criação de normas.

(1) ANDRE HOFFMANN

Gerente de departamento de Linhas de Transmissão na Fasttel Engenharia S.A., atualmente com 1.233km em construção e gestão de aproximadamente de 2.100 colaboradores. 13 anos em atuação direta no setor, com foco nos temas de Gerenciamento de Empreendimentos formato EPC, Composições de CAPEX, LNPE com feixe expandido, Cálculo Estrutural em recapacitações e Desenvolvimento e habilitação de fornecedores para novos projetos. Artigo técnico apresentado no XXV SNPTEE com o título "LNPE DE 1670 MW COM SUBFEIXES DE CONDUTORES (SPLITFEX)" - Eleito com 1º lugar no grupo GLT.

(2) JOSE CARLOS DO AMARAL

Engenheiro civil formado pela Universidade Tuiuti do Paraná, Bacharel em Ciências Sociais pela UNICAMP-SP e M.Sc em Engenharia Geotécnica., autor de publicações nacionais e internacionais, carrega grande experiência em execução de estacas, tirantes e obras geotécnicas.