

Aplicação de Ensaios Não Destrutivos de Concreto Para Avaliação Estrutural da Fundação de Torre de Linha de Transmissão

Non Destructive Concrete Test Application for Foundation Structural Evaluation of a Transmission Line Tower

¹Marcos de Oliveira Valin Jr, ²Eder Souza de Almeida, ³Pablo Passos da Silva, ⁴Raquel dos Santos Santiago

¹Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – IFMT – Campus Octayde Jorge da Silva (marcos.valin@cba.ifmt.edu.br)

²Coordenador de Laboratórios da Construção Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – IFMT – Campus Octayde Jorge da Silva (eder.almeida@cba.ifmt.edu.br)

³Graduando no Curso Superior de Tecnologia em Controle de Obras pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – IFMT (passos.pablo@gmail.com)

⁴Graduanda no Curso Superior de Tecnologia em Controle de Obras pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – IFMT (raquelssant15@gmail.com)

RESUMO: Construída para transportar energia elétrica, as linhas de transmissão são imprescindíveis para ligar as usinas aos consumidores. O estudo do caso deste trabalho trata-se da investigação com aplicação de ensaios não destrutivos na fundação de uma torre de uma linha de transmissão (LT) ligando as Subestações dos municípios de Paranatinga-MT à Ribeirãozinho-MT. A torre da LT, objeto de estudo, tem 43,50 metros de altura em estrutura metálica e sua fundação é do tipo sapata, apoiada em solo-cimento, a qual apresentou fissuras cerca de 6 meses após o fim da sua construção. Para identificar as causas foram realizados os ensaios não destrutivos de detecção de barras, velocidade de propagação de onda ultrassônica e de dureza superficial. O ensaio realizado de detecção de armaduras comprovou que a área se rompeu devido ao posicionamento incorreto dos estribos, sendo que o restante do bloco da fundação não apresentou nenhuma patologia. Pelo ensaio de ultrassom ficou comprovado que não houve a ocorrência de fissuras no interior do bloco. Já pelo ensaio de esclerometria chegou-se à conclusão de que os valores de resistência da peça estrutural apresentavam resistência média de 50 MPa, compatíveis com os valores dos ensaios em corpos-de-prova realizados pela empresa na época da concretagem.

Palavras-chave: Ensaios não destrutivos. Linhas de Transmissão. Esclerometria. Ultrassom.

ABSTRACT: Built to carry electric power, transmission lines are essential to connect power plants to consumers. This work comes from the case study of the application of non-destructive testing in the foundation of a transmission line tower (LT) turning the substations the municipalities of Paranatinga-MT to Ribeirãozinho-MT. The tower of the LT, the object of study, is 43.50 meters tall of steel structure and its foundation is the shoe type, supported on soil-cement, which showed fissures about 6 months after the end of its construction. To identify the causes, the non-destructive tests of bar detection, ultrasonic wave propagation velocity and surface hardness were performed. The armor detection trial showed that the area was broken due to incorrect positioning of the stirrups, and the rest of the foundation block did not present any pathology. By the ultrasonic testing it was proved that there were no fissures within the block. From the sclerometry test, it was concluded that the strength values of the structural part had an average strength of 50 MPa, compatible with the values of the tests in test pieces performed by the company at the time of concreting.

Keywords: Non-destructive testing. Transmission lines. Sclerometry. Ultrasonic.

1. INTRODUÇÃO

A transmissão de energia elétrica é o processo de transportar energia entre dois pontos, sendo esse transporte realizado por linhas de transmissão que conecta uma usina ao consumidor. Rosa (2009) afirma que uma linha de transmissão é constituída de vários componentes, que dependam fundamentalmente do nível de tensão e potência a ser transmitida, definindo condutores, cadeia de isoladores, padrão estrutural e tipos de fundação.

Durante a fase de construção, Chiquito (2014) apresenta as dificuldades nas concretagens em linhas de transmissão de energia, onde a distância da base (canteiro de obra) é muito longa ao local das torres, normalmente com estradas sem pavimentos e de difícil acesso, principalmente nas épocas das chuvas, onde em alguns casos para que o trabalho não seja

interrompido e a carga de concreto não seja descartada (motivo de agressão ambiental e prejuízo financeiro) chega-se a utilizar helicópteros para o transporte dos materiais.

Ao citar a segurança de uma obra, geralmente associa-se a estrutura, que comumente no Brasil está relacionado a sistemas construtivos robustos e com a utilização do concreto armado. A resistência à compressão axial do concreto é uma das propriedades mais importantes para projetistas e engenheiros quando o assunto é estruturas de concreto.

Uma dificuldade encontrada por profissionais que atuam na área de construção civil, especificamente na subárea de estruturas de concreto armado é garantir a qualidade do empreendimento e que todas as especificações de projeto sejam asseguradas na execução da obra. Boas práticas construtivas como uma cura adequada, confecção correta das fôrmas e controle tecnológico, tornam o concreto um material durável e racional, no sentido de aproveitar ao máximo os recursos naturais empregados na sua produção, evitando reparos.

De uma forma geral, quando há necessidade de inspeção de uma estrutura de concreto armado, os ensaios ou inspeções são realizados pela extração de testemunhos para a resistência à compressão, sendo esta uma forma destrutiva de ensaio em virtude dos danos causados a estrutura.

Logo, existindo a possibilidade de se analisar a resistência mecânica e a qualidade de produção do concreto por meio de ensaios não destrutivos (END), fomentam-se ganhos financeiros e técnicos, em tempo e praticidade, tendo em vista que não haveria a necessidade de realizar reparos e os ensaios poderiam simultaneamente monitorar essas características durante ou logo após a sua execução (CARVAHO et al, 2017).

Esse tipo de ensaio, além de poder ser realizado com a estrutura em uso, pode diagnosticar o problema em seu estado inicial; por isso, a necessidade de se fazer a manutenção preventiva é de extrema importância por vários motivos, entre eles é impedir uma sequência de acontecimentos que possivelmente ocasione uma tragédia como o colapso na estrutura.

Carvalho et al (2017) salientam a interessante portabilidade do uso dos END nos canteiros de obras, pois consistem em métodos de ensaios rápidos, práticos, econômicos e qualitativos para o monitoramento da qualidade dos concretos estruturais durante sua execução ou já executados.

Como principais opções, Silva e Valin Jr (2013) apontam os ensaios de dureza superficial (esclerometria), resistência à penetração, ensaios de arrancamento, método da maturidade e ultrassom entre outros.

Este trabalho tem por objetivo aplicar técnicas de ensaios não destrutivos para identificar as causas da patologia no pilar da fundação de uma torre de linha de transmissão, viabilizando assim a execução do correto reparo da estrutura objeto do presente estudo de caso.

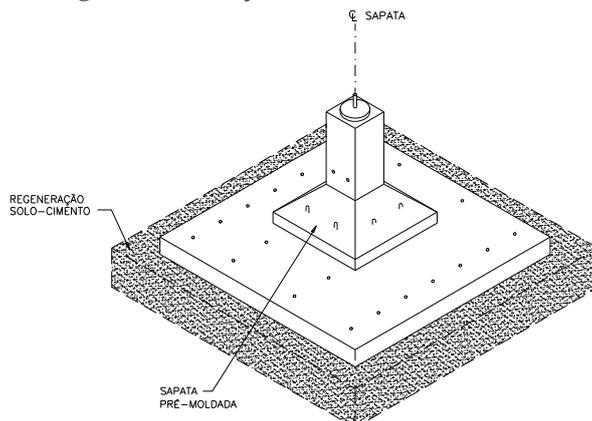
2. MATERIAIS E MÉTODO

2.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada na cidade de Paranatinga – MT, a 339 km de Cuiabá-MT. A torre de transmissão cuja fundação foi estudada faz parte de um trecho de 355 km de linha de transmissão de 500 kV em circuito duplo, ligando as Subestações de energia dos municípios de Paranatinga-MT a Ribeirãozinho-MT.

O local específico onde foi realizado o estudo é uma torre de linha de transmissão de energia construída em estrutura metálica de 43,50 metros de altura, com fundação do tipo sapata pré-moldada com laje moldada “in loco” (Figura 1) destinada a suportar o mastro central da torre.

Figura 1 - Fundação da Torre de Transmissão



Fonte: Empresa responsável pela obra, 2016

A sapata pré-moldada foi produzida com concreto dosado e controlado no próprio canteiro (Figura 2a), sendo o serviço de armação e fôrmas também realizado no local (Figura 2b), enquanto outra equipe ficava responsável pela construção de acessos ao local de construção das torres (Figura 2c), desmatamento e limpeza (Figura 2d), locação (Figura 2e) e sondagem (Figura 2f).

Figura 2 - Etapas de execução de fundação da torre de transmissão: a) produção do concreto; b) montagem da armação; c) construção de acessos; d) desmatamento; e) locação e f) sondagem



A



B



C



d



E



f

Fonte: Empresa responsável pela obra, 2016

O presente estudo decorre da constatação de que a fundação da torre apresentou fissuras na sua base cerca de seis meses após a conclusão, conforme apresentado na Figura 3.

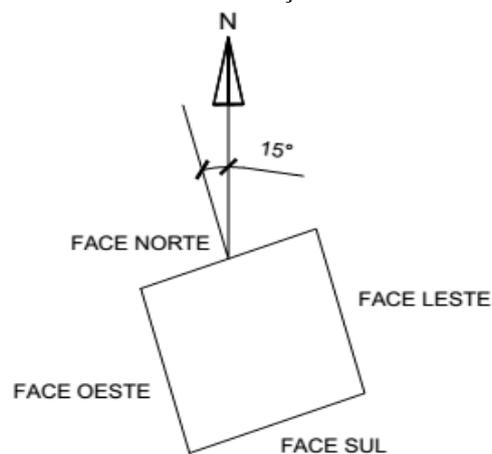
Figura 3 – Fissuras apresentadas após 6 meses



Fonte: Empresa responsável pela obra, 2016

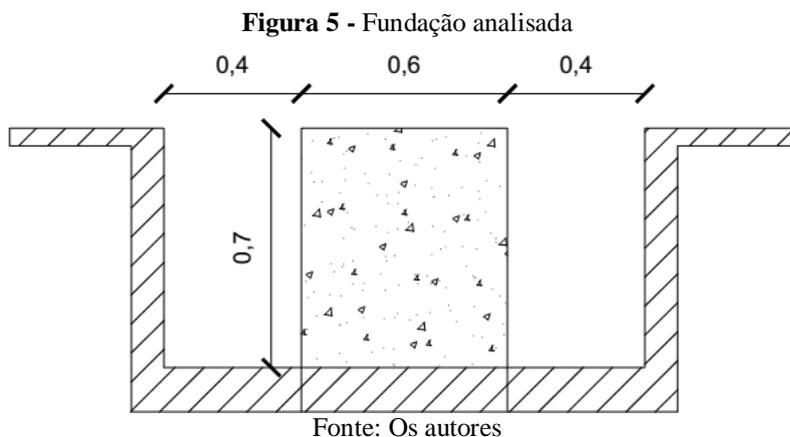
Para melhor identificação da patologia, cada uma das faces foi nomeada conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Posicionamento da estrutura de fundação analisada



Fonte: Os autores

Para a realização do estudo da patologia, o entorno da área a ser analisada foi devidamente escavado, conforme pode ser visualizado na Figura 5.



Como pré-requisito para a realização dos ensaios não destrutivos no concreto da fundação, faz-se necessário que as superfícies da mesma estejam planas (alisadas) e íntegras. Em virtude da presença de região escarificada e com fissuras no topo do pilar da fundação (Figura 6), foi necessário à utilização de uma lixadeira para a preparação das superfícies conforme ilustrado na Figura 7.



Fonte: Os autores

Figura 7 - Superfície sendo preparada



Fonte: Os autores

2.2 Ensaios não destrutivos utilizados

A fim de verificar as causas da patologia no pilar, a extensão dos danos e a integridade do restante da peça que não havia apresentado danos optaram-se em utilizar o ensaio de detecção da armadura, ensaio de velocidade de propagação de onda ultrassônica e o Ensaio de dureza superficial.

2.2.1 Detecção da armadura

Para a identificação do posicionamento da armação, nas superfícies onde não ficaram visíveis após a escarificação ou onde não houve necessidade de ser lixada, utilizou-se o sistema de detecção de barras denominado de Pacômetro.

O ensaio de detecção de armadura atua determinando a localização das armaduras, assim como o cobrimento das mesmas nas peças de concreto armado. O ensaio permite detectar a posição e a direção das armaduras, suas dimensões e recobrimento, de forma não destrutiva.

Ao serem identificadas pelo equipamento, as barras foram demarcadas com giz na superfície do concreto (Figura 8).

O método deste ensaio é baseado em normativas estrangeiras tais como, SN 505 262, DIN 1045/ BS 1881: parte 204, não havendo normalização brasileira. É fornecido pelo fabricante do equipamento, no manual de utilização, os procedimentos de manuseio e as considerações sobre sua utilização.

O equipamento utilizado foi o da marca “Proceq”, modelo “Profometer 5+”, que detecta as barras de aço, de maneira não destrutiva, através de indução por pulso.

O pulso emitido pelo equipamento segue o princípio de Foucault, em que ele atravessa a camada de concreto até o material condutor, no caso a barra de aço, podendo além de localizar as barras de reforço, medir durante o trajeto a camada de concreto e o diâmetro da barra, conforme necessidade do operador.

Figura 8 - Superfície sendo preparada



Fonte: Os autores

2.2.2 Ensaio de velocidade de propagação de onda ultrassônica

A NBR 8802 - Concreto Endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica (ABNT, 2013) descreve esse ensaio que tem como objetivo determinar a velocidade de propagação de ondas longitudinais, obtidas por impulsos ultrassônicos, através de um componente de concreto.

Suas principais aplicações se resumem em verificar a homogeneidade do concreto, detectar eventuais falhas internas de concretagem, profundidade de fissuras e outras imperfeições, bem como monitorar variações dimensionais no concreto, ao longo do tempo.

O princípio do ensaio de velocidade de propagação de onda ultrassônica é descrito pela Equação 1 de acordo com Neville e Brooks (2013):

$$V = \sqrt{\frac{g \cdot E}{\delta}} \quad \text{Eq. [1]}$$

onde a velocidade do som em um material sólido (V) é uma função da raiz quadrada da razão entre seu módulo de elasticidade (E) e aceleração da gravidade (g) pela sua densidade (δ).

O equipamento de teste ultrassônico utilizado foi o da marca “Proceq”, modelo “Pundit lab”. Os transdutores foram posicionados na disposição “direta”. Antes da utilização, o equipamento foi zerado com o bloco de calibração, conforme instruções do fabricante, procedimento exemplificado na Figura 9.

Figura 9 - Procedimento de calibração dos transdutores



Fonte: Os autores

Seguindo os procedimentos especificados na NBR 8802 (ABNT, 2013), foram medidos o tempo de trânsito e a velocidade do pulso ultrassônico, sendo que com essas medidas foi possível verificar a homogeneidade do concreto e detectando eventuais fissuras.

A definição dos pontos a serem ensaiados foi feita a partir do mapeamento das barras de aço transversais e longitudinais presentes no pilar de sustentação da torre, uma vez que, por ser uma estrutura sólida, o aço interferiria diretamente nas medições. Seguindo a identificação das faces, espaçamento entre as armaduras e acabamento superficial da área a ser ensaiada, foram realizadas 12 medições de forma direta na face NORTE-SUL, e 10 na face LESTE-OESTE (Figura 10). Diante das imperfeições (patologias) encontradas no topo da fundação de concreto, as medições foram realizadas abaixo dos 30cm iniciais.

Figura 10 - Medição de ondas ultrassônicas



Fonte: Os autores

2.2.3 Ensaio de dureza superficial – Esclerometria

O Ensaio de Dureza Superficial também é conhecido por: “Ensaio do Esclerômetro de reflexão”, ou “Ensaio Esclerométrico”, ou “Esclerômetro de Schmidt”, ou simplesmente por “Esclerometria”.

De acordo com Neville e Brooks (2013), este ensaio não destrutivo é baseado no princípio de que a reflexão (recuo) de uma massa elástica depende da dureza da superfície contra a qual a massa colidiu. O esclerômetro é um equipamento leve, simples de operar e barato. Com esse instrumento é possível avaliar a uniformidade da resistência mecânica do concreto "in loco", com danos praticamente nulos à superfície do material.

Entretanto, os valores obtidos dependem da uniformidade da superfície, da condição de umidade, da carbonatação superficial e da rigidez do elemento estrutural (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Os procedimentos foram realizados conforme NBR 7584 – Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio (ABNT, 2012). Utilizou-se o esclerômetro tipo “N Silver Schmidt”, marca “Proceq”. O ensaio consiste em medir a dureza superficial do concreto por meio do índice de reflexão da massa no interior do equipamento impulsionada por uma mola. Diante das condições estruturais da peça de concreto, e visando amplitude de aplicação do método, a metodologia de ensaio foi adaptada a partir das especificações da normativa, em que se distribuiu por toda face, os disparos com o equipamento. As faces foram avaliadas individualmente e os resultados obtidos e apresentados da mesma maneira. Cada área ensaiada foi subdividida por faixas em relação à parte superior do bloco, que foram locadas a 10, 20, 34 e 46 centímetros, estando cada uma parcelada em nove pontos regularmente espaçados das ferragens (Figura 11).

Figura 11 - Aplicação do esclerômetro



Fonte: Os autores

Um fator que pode influenciar o ensaio é a carbonatação do concreto, que pode elevar a dureza superficial, resultando em dados incoerentes. Por este motivo, fez-se uso da solução de fenolftaleína para verificar o fenômeno da carbonatação no pilar. A presença de áreas coloridas indica a não presença de carbonatação, como ilustrado na Figura 12.

Figura 12 - Aplicação da fenolftaleína



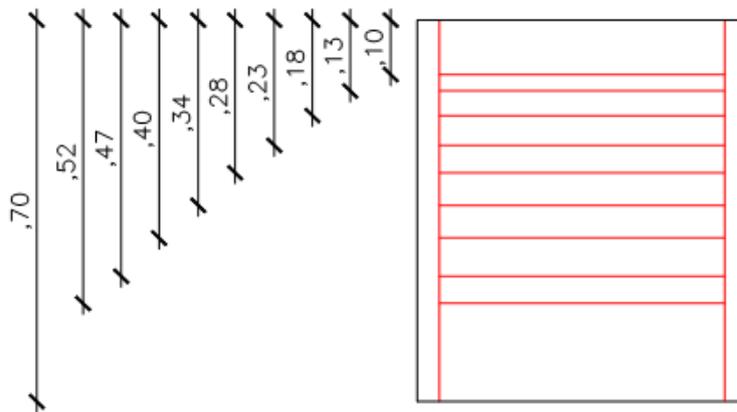
Fonte: Os autores

3. RESULTADOS

3.1 Detecção da armadura

Para a posterior realização do ensaio de ultrassom, foi realizado o mapeamento dos estribos presentes na estrutura, já que, por ser uma estrutura sólida, o aço interfere diretamente nas medições. Na figura 13 é apresentado o posicionamento dos estribos, identificados pelo ensaio de detecção de armadura.

Figura 13 - Posição real dos estribos (m)



Fonte: Os autores

A ruptura por esmagamento ocorrida no topo do bloco da fundação se deu por conta do cobrimento do concreto até a armadura de fretamento e estribos (superior a 10cm), sendo que o correto por projeto seria 4cm, desta maneira então desprotegendo a camada contra cisalhamento.

3.2 Ensaio de velocidade de propagação de onda ultrassônica

A Tabela 1 apresenta os dados coletados durante o ensaio e seus respectivos resultados após análise.

Tabela 1 – Dados e resultados do ensaio de ultrassom

Identificação do ponto	Tempo médio (μs)	Velocidade média (m/s)
FACE LESTE-OESTE		
5	142,6	4287
7	127,3	4703
8	130,1	4712
FACE NORTE-SUL		
5	154,1	3925
7	132,2	4524
8	132,9	4497

Fonte: Os autores

Com base nos resultados do ensaio de ultrassom, verificou-se que o trecho de concreto analisado apresenta ótimas características, sem a ocorrência de fissuras no interior do bloco.

Esta afirmação pode ser realizada quando observado os valores referentes a velocidade de onda, em que estudos já realizados por Rincon *et al* (1998), que associam essa propriedade a qualidade do concreto. Para valores superiores a 3500 e inferiores 4500m/s, como as observadas no concreto na obra, a qualidade do concreto pode ser considerada ótima, conforme indicado na Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação relacionando velocidade à qualidade do concreto

Velocidade da Onda Ultra-sônica (m/s)	Qualidade do Concreto
$V > 4500$	Excelente
$3500 < V < 4500$	Ótimo
$3000 < V < 3500$	Bom
$2000 < V < 3000$	Regular
$V < 2000$	Ruim

Fonte: Rincon *et al* (1998)

3.3 Ensaio de dureza superficial – esclerometria

A Tabela 3 apresenta os dados coletados durante o ensaio e seus respectivos resultados. Após análise, constata-se que nas faces sul e leste, que foram escarificadas previamente, não foi possível efetuar análise nas faixas iniciais, em torno dos 30cm, devido a presença das armaduras expostas e dos danos que acometeram a estrutura.

Tabela 3 – Índices esclerométricos do ensaio de dureza superficial

Face Norte									
Distância (mm)	Faixa 1	F. 2	F. 3	F. 4	F. 5	F. 6	F. 7	F. 8	F. 9
1	60	56	52	59	60	56	62	70	62
10	53	50	47	50	70	62	81	64	64
20	40	40	46	36	62	56	62	68	46
34	-	18	23	74	58	60	66	58	52
46	-	57	67	57	62	66	62	66	58
Face Leste									
10	-	-	-	68	79	62	58	56	64
20	-	-	-	40	68	42	54	80	59
34	-	-	-	-	-	-	57	59	58
46	-	-	-	46	56	59	57	55	46
Face Sul									
10	-	-	-	-	-	31	71	74	64
20	-	-	-	-	58	66	54	76	56
34	-	-	-	-	-	-	50	51	80
46	72	-	-	-	-	-	64	75	58
Face Oeste									
10	58	58	49	58	59	61	62	60	55
20	67	61	68	62	62	60	62	60	70
34	62	68	56	60	52	59	67	52	63
46	48	54	65	55	52	60	64	64	64

Fonte: Os autores

O concreto de cobrimento das faces norte e oeste apresentavam boas condições, em torno de 5cm, atendendo ao especificado no projeto, que permitiram a avaliação sem restrições. Ao se analisar os resultados de resistência, observados em todas as faces, conclui-se que apesar dos danos verificados, o concreto ainda presente na estrutura possui bons índices esclerométricos, que indicam qualidade e uniformidade.

Esses índices permitiram gerar correlações com a resistência à compressão do concreto e os resultados dos ensaios, mas não devem ser considerados adequados, pois as curvas de correlação fornecidas pelo fabricante do aparelho correspondem a concretos preparados em outros países, com materiais e condições diferentes das brasileiras. Mesmo assim para as áreas ensaiadas nomeadas como NORTE, SUL, LESTE e OESTE, os valores médios respectivamente foram de 52, 49, 45 e 49MPa, compatíveis com os valores dos ensaios de compressão em corpos-de-prova realizados pela empresa na época da concretagem que apresentaram em média 50Mpa, e superiores ao projeto, que tem como resistência característica mínima o valor de 20MPa aos 28 dias.

4. CONCLUSÕES

Os ensaios foram realizados conforme normativas, não tendo sido observado nenhum fato anormal durante a fase de execução.

Por meio da análise de detecção de armaduras foi possível comprovar que a região do topo do pilar da fundação se rompeu devido ao posicionamento incorreto dos estribos, sendo que o restante do bloco da fundação não sofreu nenhuma patologia. Esta constatação também foi ratificada pelo ensaio de ultrassom no qual se verificou que não existe a ocorrência de fissuras no interior do bloco, bem como nos resultados da esclerometria onde, por média das

correlações, chegou-se a valores de 50MPa de resistência, compatíveis com os valores dos ensaios em corpos-de-prova realizados pela empresa na época da concretagem.

O problema apresentado foi suplantado com um reforço no bloco de fundação, realizado após os ensaios para verificar a integridade da fundação.

Identificada a causa da patologia como sendo o incorreto posicionamento de um estribo, recomenda-se como forma preventiva de evitar a patologia, qualificar os profissionais designados para fiscalização, com a adoção ou aperfeiçoamento de um Sistema de Gestão da Qualidade.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584 - Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 8802 - Dureza do concreto pela determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica**. Rio de Janeiro, 2013.

CARVALHO, Emanuella de Araújo et al. Utilização de Ensaios Não Destrutivos, Ultrassom e Pacômetro, como Métodos de Verificação da Resistência e Qualidade do Concreto em um Edifício em Aracaju – Sergipe. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, [S.l.], v. 2, n. 3, aug. 2017.

CHIQUITO, A. N.. **Uso de aditivo plastificante para o concreto aplicado com mais de 150 minutos**. Trabalho de Conclusão de Curso de Controle de Obras. Departamento da Área de Construção Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Cuiabá, MT, 2014.

Empresa responsável pela obra. **Relatórios técnicos**. 2016.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.. **Concreto. Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J.J.. **Tecnologia do Concreto**. 2. ed. – Porto Alegre: Brookman, 2013.

PROCEQ. **Profometer 5+ - Modelo S / Scanlog (Sistema de Detecção de Barra de Reforço)**. SUÍÇA, 2007.

_____. **Pundit Lab – Instruções Operacionais (Pundit Lab / Instrumento Ultrassônico)**, SUÍÇA, 2011 A.

_____. **Silver Schmidt - Instruções Operacionais (Silver Schmidt e Hammerlink)**. SUÍÇA, 2011 B.

_____. **Portable non-destructive testing equipment (NDT)**. 2016. Disponível em: <<https://www.proceq.com/products/>>. Acesso em 07/08/2016.

RINCÓN, O. T.; CARRUYO, C. A.; HELENE, P.; DÍAZ, I. **Manual de inspeccion, evaluacion y diagnostico de corrosion em estruturas de hormigon armado**. DURAR: Red

Temática XV. B Durabilidad de la Armadura – Programa Iberoamericano de Ciência y Tecnología para el desarrollo, 1998.

ROSA, M. **Linha de transmissão: critérios de projetos e definição do tipo de fundação.** Trabalho de Conclusão de Engenharia Civil. Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, SP, 2009.

SILVA, R. S. C.; VALIN JR, M. O.. Avaliação do controle tecnológico de fundações rasas do tipo radier com a utilização do ensaio de Dureza Superficial. In: **55º Congresso Brasileiro do Concreto**, 2013, Gramado. Fórum Nacional de Debates sobre a Tecnologia do Concreto e seus Sistemas Construtivos, 2013.