



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Leondiniz Gomes de Sousa Júnior

ANÁLISE COMPARATIVA DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO OBTIDA POR
MEIO DOS ENSAIOS DESTRUTÍVEL E NÃO DESTRUTÍVEL

Palmas – TO

2017

Leondiniz Gomes de Sousa Júnior
ANÁLISE COMPARATIVA DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO OBTIDA POR
MEIO DOS ENSAIOS DESTRUTÍVEL E NÃO DESTRUTÍVEL

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.e Daniel Iglesias Carvalho.

Palmas – TO

2017

Leondiniz Gomes de Sousa Júnior
ANÁLISE COMPARATIVA DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO OBTIDA POR
MEIO DOS ENSAIOS DESTRUTÍVEL E NÃO DESTRUTÍVEL

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II
elaborado e apresentado como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil pelo Centro Universitário
Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.e Daniel Iglesias Carvalho.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. M.e Daniel Iglesias de Carvalho

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. M.e Roldão Pimentel de Araújo Júnior

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. Esp. Rafael Alves Amorim

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2017

Dedico este Trabalho de Conclusão de Curso aos meus avós, pelo incentivo e apoio ao longo de toda minha formação pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus acima de tudo pela saúde e determinação concedida para que eu pudesse culminar esta etapa da minha vida. Aos meus avós, José Bonifácio e Neusa Terbino, a quem devo tudo o que sou por serem exemplos de vida nos quais sempre me espelhei. A minha mãe, Josicleia Martins, que muitas vezes deixou de viver a sua vida para me proporcionar às oportunidades. Ao meu orientador, professor M.e Daniel Iglesias pela paciência e ensinamentos transmitidos nesses anos, pela dedicação e confiança depositada. Aos meus amigos, que participaram de todos os momentos intrínsecos à minha formação, sejam eles bons ou ruins.

“Nenhuma Engenharia constrói caráter, mas com caráter se faz os melhores engenheiros” (Jordan Lucas).

RESUMO

SOUSA JÚNIOR, L. G. **Análise comparativa da resistência á compressão obtida por meio dos ensaios destrutível e não destrutível no caso da Ponte Fernando Henrique Cardoso situado no Estado do Tocantins.** 2017. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2017.

A avaliação da resistência de estruturas já finalizadas vem cada vez mais sendo objeto de estudo entre os pesquisadores, visto que gradativamente o caso de obras em que não se apresentam concordância ante o que foi projetado ao que foi executado vem crescendo. O método mais comumente utilizado na realização destas avaliações é a extração e rompimento de testemunhos, ainda que gerem danos consideráveis na estrutura. O presente trabalho tem por objetivo realizar uma análise comparativa da obtenção da resistência à compressão por meio de ensaios não destrutíveis, neste caso, o ensaio de esclerometria, que disponibiliza os resultados de forma imediata, com menores custos e nenhum dano a estrutura ensaiada, e os ensaios destrutíveis, neste caso ensaio de resistência a compressão axial, com o intuito de comprovar eficiência do método em questão e posteriormente a isto, obter os valores de resistência à compressão dos pilares da Ponte Fernando Henrique Cardoso, em Palmas - TO. Para tal feito, foi confeccionado um bloco de concreto e corpos de prova, para que nestes fossem realizados os ensaios de esclerometria e compressão axial, chegando a valores de 31,4 e 31,5 Mpa, respectivamente, entre outros ensaios complementares. Desta maneira, pôde-se concluir que a utilização do método esclerométrico pode ser utilizada para obtenção da resistência, desde que levado em consideração os fatores adversos e a utilização de fatores de correções precisos, uma vez que a variação dos resultados de ambos os ensaios foi menor que 1%. Nos pilares da ponte FHC onde também foi realizado o ensaio, apresentou mais adversidades, como umidade da superfície e carbonatação da estrutura, porém se teve o tratamento no local, obtendo o valor de resistência a compressão aproximado de 48,37 Mpa, sendo assim possível estimar que o f_{ck} utilizado possa ter sido de 40 Mpa.

Palavras-chave: Esclerometria. Resistência à compressão. Pontes.

SUMMARY

The evaluation of the resistance of structures already completed is increasingly being the object of study among researchers, since gradually the case of works in which there is no agreement with what was projected to what was executed has been growing. The most commonly used method to perform these evaluations is the extraction and breaking of testimonies, although they generate considerable damages in the structure. The aim of the present work is to perform a comparative analysis of the obtained resistance to compression by means of non-destructible tests, in this case, the sclerometry test, which provides the results immediately, with lower costs and no damage to the structure tested, and the destructible tests, in this case axial compressive strength test, in order to prove the efficiency of the method in question and after that, to obtain the values of compressive strength of the pillars of the Fernando Henrique Cardoso Bridge, in Palmas - TO. For this purpose, a concrete block and test specimens were made so that the sclerometry and axial compression tests were performed, reaching 31.4 and 31.5 MPa, respectively, among other complementary tests. In this way, it could be concluded that the use of the sclerometric method can be used to obtain the resistance, considering the adverse factors and the use of precise correction factors, since the variation of the results of both tests was less than 1%. On the pillars of the FHC bridge where the test was also carried out, it presented more adversities, such as surface moisture and carbonation of the structure, however, if the treatment was performed at the site, obtaining the compressive strength value of approximately 48.37 MPa, estimate that the fck used may have been 40 MPa.

Keywords: Sclerometry. Compressive strength. Bridges.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FHC	Fernando Henrique Cardoso
NBR	Norma Brasileira
TO	Tocantins
OAE	Obra de Arte Especial
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
ULBRA	Universidade Luterana do Brasil

LISTA DE FIGURAS E QUADROS

Figura 1 – Esquema ilustrativo de ponte e viaduto.....	15
Figura 2 – Diagrama de ensaio de tração por compressão diametral.....	19
Figura 3 – Transmissão direta.....	23
Figura 4 – Martelo de Schmidt e seu funcionamento.....	24
Figura 5 – Imagem da Ponte Fernando Henrique Cardoso.....	27
Figura 6 – Ensaio de esclerometria.....	30
Figura 7 – Ponte FHC.....	33
Figura 8 – Pilares centrais da ponte FHC.....	34
Figura 9 – Dimensões do protótipo.....	35
Figura 10 – Análise do ensaio de granulometria do agregado miúdo.....	36
Figura 11 – Moldagem dos corpos de prova.....	37
Figura 12 – Bloco de concreto.....	38
Figura 13 – Slump test.....	38
Figura 14 – Resultados de resistência a compressão.....	39
Figura 15 – Resultados de índices esclerométricos.....	40
Figura 16 – Ensaio de esclerometria no bloco.....	41
Figura 17 – Ensaio de esclerometria no pilar da ponte FHC.....	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. OBJETIVOS	13
1.1.1. Objetivo Geral	13
1.1.2. Objetivos Específicos	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1. DEFINIÇÕES DE PONTES.....	15
2.1.1. Análise Estrutural.....	16
2.2. CONCRETO E SUAS DEFINIÇÕES.....	16
2.2.1. Cargas Características.....	17
2.3. ENSAIOS DESTRUTÍVEIS NO CONCRETO.....	17
2.3.1. Determinação da resistência à tração.....	17
2.3.1.1. Ensaio de tração direta.....	18
2.3.1.2. Ensaio de tração na flexão.....	18
2.3.1.3. Ensaio de tração na compressão diametral.....	18
2.3.2. Determinação da resistência à compressão.....	18
2.3.2.1. Relação água/cimento.....	19
2.3.2.2. Cimento.....	19
2.3.2.3. Agregado graúdo.....	19
2.3.2.4. Agregado miúdo.....	20
2.3.2.5. Condições de cura.....	20
2.3.2.6. Adensamento.....	20
2.3.3. Ensaio de resistência à compressão.....	20
2.4. ENSAIOS NÃO DESTRUTÍVEIS NO CONCRETO.....	21
2.4.1. Método do pacômetro.....	22
2.4.2. Método da velocidade de ultrassom.....	22
2.4.3. Método da resistividade elétrica.....	22
2.4.4. Método do esclerômetro.....	23
2.4.4.1. Fatores determinantes do ensaio de esclerometria.....	25
3. METODOLOGIA.....	27
3.1. LOCAL DE PESQUISA.....	27

3.2. VISTORIA TÉCNICA.....	27
3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS PARA CONFECÇÃO DO PROTÓTIPO DA PONTE.....	28
3.3.1. Materiais utilizados no protótipo.....	28
3.3.1.1. Cimento.....	28
3.3.1.2. Agregado graúdo.....	29
3.3.1.3. Agregado miúdo.....	28
3.4. MOLDAGEM E CURA.....	29
3.5. ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL.....	29
3.6. ENSAIO DE ESCLEROMETRIA.....	29
3.7. ANÁLISE COMPARATIVA DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO AXIAL E ESCLEROMETRIA.....	30
3.8. APLICAÇÃO DO ENSAIO DE ESCLEROMETRIA NOS PILARES DA PONTE FERNANDO HENRIQUE CARDOSO, SITUADO NO ESTADO DO TOCANTINS.....	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
4.1. VISTORIA TÉCNICA.....	32
4.2. CARACTERIZAÇÃO DO BLOCO.....	34
4.2.1. Confecção da fôrma.....	34
4.2.2. Caracterização do material.....	35
4.2.3. Moldagem e cura.....	36
4.2.4. Abatimento do tronco de cone.....	38
4.3. ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL.....	39
4.4. ENSAIO DE ESCLEROMETRIA.....	40
4.5. ANÁLISE COMPARATIVA DOS ENSAIOS.....	41
4.6. ENSAIO DE ESCLEROMETRIA NA PONTE.....	42
5. CONCLUSÃO.....	45
REFERENCIAL NORMATIVO.....	46
REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	47
ANEXOS.....	49

1. INTRODUÇÃO

As primeiras pontes que surgiram, foi de forma natural pela queda de troncos de árvores sobre os rios, e o homem analisando tal situação, melhorava por meio de amarrações. Com o tempo, surgiram as pontes de pedras na qual usavam suportes simples (PONTE, 2001). Ao longo da história, diferentes tipos de materiais eram utilizados na execução de pontes, variava conforme os materiais disponíveis em cada época, sendo que as mais antigas foram realizadas em madeira, fibras naturais e pedras, e algumas delas até hoje existem e em funcionamento.

Assim que a utilização de concreto começou a se expandir pelo mundo como material na construção, acreditava-se que esse teria uma duração infinita, e por esse motivo era construído vãos longos, espessuras e cobrimentos elevados. Com o tempo, percebeu-se que essas estruturas começaram a apresentar patologias que degradam o concreto, tais como: corrosão de armaduras, fissuras, entre outros (SANTOS, 2008). Não apenas em pontes, mas em qualquer estrutura há a deterioração com o tempo e uso. Vários fatores influenciam esse âmbito, entre eles: chuva, poluição, temperatura, tráfego, sobrecargas. Este processo pode levar a degradação ao longo do tempo e até mesmo chegar ao colapso. Com isso, no meio social, é evidente a necessidade de inspeções periódicas, para assim poder reparar os danos antes que chegue ao colapso e este trabalho traz uma das formas de avaliação.

Sendo o concreto constituído de diversos elementos com formas, dimensões e propriedades variadas, é imprescindível o uso de um controle tecnológico no qual evite problemas principalmente no seu estado endurecido (LACHETA e CONTO, 2012). Dessa maneira, hoje se faz necessário o acompanhamento de obras já finalizadas, como por exemplo, pontes, sendo fundamental classificar essas OAE's de concreto conforme seu estado de conservação, para saber até que ponto a mesma precisa de reparos. Resistência à compressão de fato é um parâmetro de muita influência para o dimensionamento de elementos estruturais, onde engloba diversas características sobre a qualidade do concreto, evidenciando assim, a importância da assistência.

Ensaio destrutíveis como o de compressão axial com extração de testemunhos ainda é bastante utilizado, porém este gera danos às estruturas e demandam reparos, que muitas vezes, tornam a atividade onerosa. O presente

trabalho mostra uma forma de chegar aos mesmos resultados, por meio de um método mais econômico, evidenciando a importância desse estudo.

Com isso, a ABNT passou a regulamentar as ferramentas para obtenção de resistência a compressão, sendo algumas dessas a extração de testemunhos, esclerometria e o ultrassom. A primeira é a mais utilizada, pois apresenta resultados mais próximos da realidade, porém o uso de métodos não destrutivos vem cada vez mais ganhando força, este por ser, segundo Palacios (2012), rápido na execução, com disponibilidade imediata dos resultados, e poucas restrições aos locais a serem ensaiados.

Deve-se levar em consideração também que a extração de testemunhos além de ter um custo elevado, danifica a estrutura demandando reparo (Machado et al, 2009). No âmbito acadêmico, a ausência de trabalhos no CEULP/ULBRA no que tange ao uso de ensaios não destrutíveis, motiva a origem deste trabalho, que por sua vez, dará aos acadêmicos dados de grande importância a universidade, e até mesmo servir de inspiração para futuros trabalhos de pesquisa visando não apenas pontes, mas qualquer tipo de estrutura em concreto armado.

Na engenharia civil, poucos são os estudos voltados à eficácia de ensaios de resistência a compressão em obras já terminadas. De fato o assunto bate a porta, e causa preocupação, pois não só influencia em altos custos, como também danifica estruturas, que é o caso da extração de testemunhos para ensaios de compressão axial.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Estabelecer uma análise comparativa entre os ensaios de resistência a compressão destrutível e não destrutível, bem como conhecer os dados referentes à resistência à compressão do concreto usado nos pilares da ponte Fernando Henrique Cardoso, situado no estado do Tocantins.

1.1.2. Objetivos específicos

- Moldar um bloco de concreto e corpos de prova;
- Aplicar ensaio de esclerometria e compressão axial, respectivamente;
- Comparar os resultados obtidos pelos respectivos ensaios;
- Realizar uma vistoria técnica para conhecer os dados referentes à ponte FHC;

- Obter resultados de resistência à compressão na ponte FHC por meio da esclerometria.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. DEFINIÇÕES DE PONTES

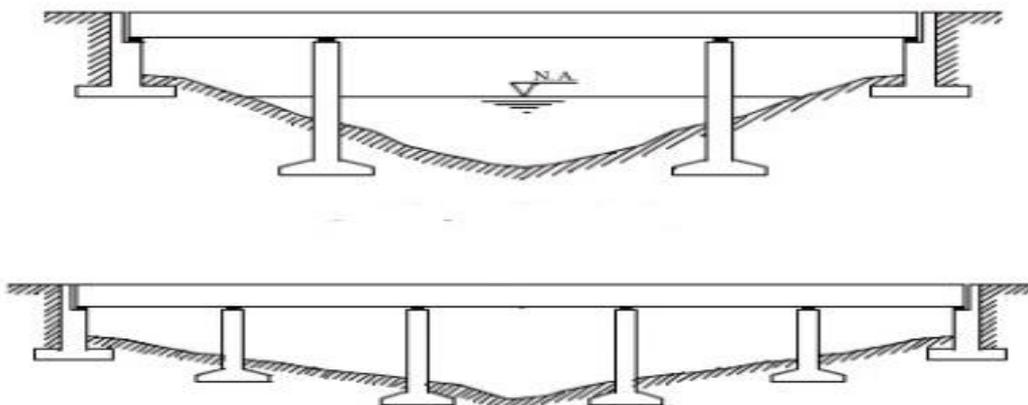
De fato, tentar definir o termo ponte não é nada fácil, uma vez que ao pesquisar sobre o assunto, as mais variadas definições aparecem. Segundo Tacla (1984), nada mais é do que uma obra de arte com procedimentos construtivos específicos que visam permitir que uma via de comunicação ou canalização transponha uma depressão, vale, terreno ou qualquer outro tipo de obstáculo.

A grande variedade de definições pode melhor ser expressa por Vasconcelos (1993), que no prefácio de sua obra diz:

Qualquer que seja o significado, quer se trate de uma ponte de safena ou uma ponte de concreto, todas as pontes exercem sobre o Homem uma fascinação tão grande como nenhuma outra realização. As pontes de alvenaria de pedra, em arco, que os romanos copiaram dos etruscos e cuja origem é desconhecida, construíram algo sublime. Nas pontes eram realizadas feiras, julgamentos, assinavam-se alianças políticas e tratados de paz. No meio das pontes eram construídas capelas, lojas de comércio. As pontes representavam muitas vezes ora lugares de superstição, ora obra de demônios, ora objeto de culto. Recentemente foi publicado, na Noruega, pelo engenheiro Jens Jacob Jensen, um livro mostrando 217 pontes divulgadas em selos do mundo inteiro, inclusive no Brasil, que está contemplado com três pontes. É mais um caso de fascinação.

Já para Pfeil (1990), a definição de ponte consiste em uma obra cuja tem por função transpor obstáculos que esteja à continuidade do leito normal, como vales, rios e etc. Ainda conforme o autor, esses obstáculos quando não constituídos por água, tem por denominação de viaduto (Figura 1).

Figura 1 – Esquema ilustrativo de ponte e viaduto, respectivamente.



Fonte: (DEBS e TAKEYA, 2009, p. 01).

2.1.1. Análise estrutural

De acordo com Quiroga (1983), idealização, cálculo e interpretação, é a essência da análise estrutural propriamente dita, sendo essas facilmente distinguidas em um projeto estrutural. Ainda segundo o autor, na fase de idealização a engenharia entra com um modelo prático ou estrutural, onde a estabilidade é avaliada em suas propriedades mais relevantes, enquanto que na segunda fase, de cálculo, uma análise é realizada na primeira fase, com o intuito de aderir a ela fatores como matemática, mecânica, materiais e etc. Com a aproximação da realidade no projeto estrutural, vem a última fase, a interpretação, que nada mais é do que a aplicação dos resultados obtidos anteriormente, cuja experiência e intuição são fundamentais.

No que se trata de pontes, essas avaliações são de suma importância, uma vez que várias idealizações simultâneas podem fazer parte do cálculo de uma ponte, com diversos modelos estruturais a serem observados. Em qualquer que seja a situação, o conhecimento completo da estrutura calculada é imprescindível, como características geométricas dos elementos e suas ligações, os tipos de materiais utilizados na estrutura, a disposição e condicionamento dos esforços atuantes na ponte. De certa maneira, a função do cálculo de uma ponte não apenas é comprovar o que foi mostrado no projeto, mas também refinar a qualidade da estrutura. É através desse esquema que se pode alcançar um projeto estrutural satisfatório (KHOURI, 2001).

2.2. CONCRETO E SUAS DEFINIÇÕES

No setor de construção civil, o concreto é o material mais utilizado de fato, por apresentar características favoráveis nas mais variadas obras, ora por meio da facilidade que o mesmo possui em se adequar as várias formas de acordo com a necessidade, ora por sua boa resistência a compressão e durabilidade (RAMOS et al., 2016).

O concreto nada mais é do que o resultado da mistura de cimento, agregados graúdos e miúdos, e água, de tal maneira que o cimento quando hidratado pela água, transforma-se em uma pasta aglomerante aderente e resistente aos agregados, formando assim um bloco monolítico. Alguns cuidados devem ser tomados na fabricação do concreto, sendo que a maior atenção deve ser voltada para água, uma vez que ela em excesso diminuirá a resistência do concreto, e em

falta, as reações químicas não ocorrerão por completo, dificultando a chegada em um resultado satisfatório.

2.2.1. Cargas características

Para dimensionar qualquer tipo de estrutura em concreto, primeiramente devem-se determinar as cargas características, divididas em cargas permanentes e variáveis. As cargas permanentes são aquelas advindas do peso próprio da estrutura e pelo peso de todos os elementos fixos e instalações permanentes, como concreto armado, argamassa, alvenarias e etc. Já as cargas variáveis ou acidentais, “é toda aquela que pode atuar sobre a estrutura de edificações em função de seu uso” (NBR 6120, 1980, p. 01). De acordo com o uso e com o tempo, tem-se cargas diferentes para cálculo, como por exemplo, bibliotecas, cinemas, auditórios, no qual cada um deles possui o carregamento acidental específico (ALMEIDA, 2000, p. 01).

2.3. ENSAIOS DESTRUTÍVEIS NO CONCRETO

Nos séculos passados as construções eram artesanais, e por esse motivo não havia um controle de qualidade, de certa maneira, a qualidade era avaliada pelo próprio uso. Já na atualidade, o controle de qualidade estende-se durante todo o processo de fabricação, inclusive na manutenção, tendo como ferramentas as inspeções, controle de materiais, projetos específicos e os ensaios finais nas obras finalizadas. O termo ensaio pode ser definido como a observação do comportamento de componentes de um material quando submetido a esforços externos e é de suma importância para elementos estruturais.

Segundo Lacheta e Conto (2012), de maneira geral, no ramo de estruturas nas obras de engenharia civil a resistência à compressão é utilizada como parâmetro para se medir a qualidade do concreto, nos quesitos de melhor referência do traço utilizado e até mesmo controle de qualidade de execução. Já Mehta e Monteiro (1994), define como resistência a medida da tensão necessária para romper o material, valendo ressaltar que no projeto de estruturas de concreto, o respectivo material é o mais adequado para resistir às cargas de compressão.

2.3.1. Determinação da resistência à tração

Conforme Almeida (2002), a resistência à tração depende de vários fatores, principalmente da aderência dos grãos de agregados com a argamassa. Para o

estudo da tração, existem três tipos de ensaios: tração direta, compressão diametral regido pela NBR 7222 (2011) e tração na flexão regida pela NBR 12142 (2010).

2.3.1.1. Ensaio de tração direta

Esse tipo de ensaio é raramente aplicado, uma vez que os dispositivos de fixação dos corpos de prova introduzem tensões secundárias que não podem ser ignoradas. De certa forma, os resultados são bastante influenciados pela forma de procedimento do ensaio (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

De fato, a dificuldade cresce bastante se levada em consideração à aplicação de uma força de tração pura sem excentricidade (NEVILLE, 1997).

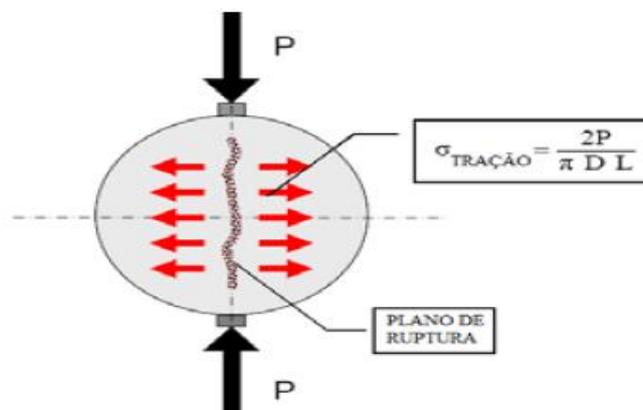
2.3.1.2. Ensaio de tração na flexão

O ensaio é normatizado pela NBR 12142/2010, sendo em corpos de prova de concreto prismáticos, de seção quadrada e apoiada em dois cutelos, com a aplicação de duas cargas iguais e simetricamente dispostas em relação ao meio do vão, valendo ressaltar que por se tratar da distancia dos pontos de aplicação sendo um terço do vão, é qualificado como carregamento nos terços.

2.3.1.3. Ensaio de tração na compressão diametral

Por ser o mais simples em sua execução, o ensaio de tração por compressão diametral acaba sendo o mais utilizado, além do que mais, usa o mesmo corpo de prova cilíndrico do ensaio de compressão (Figura 2). Esse ensaio é normatizado pela NBR 7222 (2011). Também conhecido como ensaio brasileiro, desenvolvido por Lobo Carneiro em 1943.

Figura 2 – Diagrama de ensaio de tração por compressão diametral.



Fonte: (MAGALHÃES, 2009, p. 34).

2.3.2. Determinação da resistência à compressão

De fato a resistência a compressão no concreto é o atrativo mais significativo, sendo este o motivo da escolha desse material com maior porcentagem de uso na construção estrutural. De acordo com Freitas (2012), no Brasil, geralmente utiliza-se para os ensaios de compressão corpos de prova cilíndricos de 10 cm a 15 cm de diâmetro, e 20 cm a 30 cm de altura, com idade referência aos 28 dias, quando o mesmo já adquiriu 75 a 90% da sua resistência final.

Os mais variados componentes da construção se originam do concreto, e cada matéria prima, assim como os procedimentos construtivos são influentes na resistência a compressão potencial, em outras palavras a resistência a compressão do concreto está diretamente ligada aos procedimentos construtivos e as propriedades do concreto fresco (LACHETA e CONTO, 2012, p. 16). Logo abaixo, estão listados alguns fatores que influenciam na resistência a compressão do concreto.

2.3.2.1. Relação água/cimento

Conforme Mehta e Monteiro (1994), levando em consideração a resistência, a relação água/cimento é o fator mais importante entre os demais, uma vez que este afeta a porosidade tanto na pasta de cimento quanto na zona de transição do agregado.

2.3.2.2. Cimento

De certa maneira, enquanto o cimento continua a hidratar a sua resistência continua a aumentar, uma vez que o volume de vazios vai diminuindo, sendo que cada cimento tem sua velocidade de hidratação, porém a influência do cimento na resistência a compressão pode ser resumida nas primeiras idades. Quanto mais fino o cimento, mais rápida é a evolução da resistência do concreto (NEVILLE, 1997).

2.3.2.3. Agregado graúdo

Segundo Neville (1997), com uma relação água/cimento baixa, a diferença de um agregado britado para um seixo rolado chega a 38%, sendo que a influência do agregado graúdo sobre o concreto em si diminui com o aumento da relação

água/cimento, uma vez que a resistência que passa a prevalecer é a da pasta (apud LACHETA e CONTO, 2012, p. 18)

2.3.2.4. Agregado miúdo

Materiais pulverulentos são de fato as maiores impurezas que pode haver no agregado miúdo e influenciar na resistência do concreto, uma vez que eles não proporcionam uma boa liga. O cimento tem por função preencher o vazio entres os agregados miúdos em forma de uma pasta com boa resistência, porém se não misturado corretamente, a argila pode ser altamente prejudicial, pois forma uma película entre os grãos. A lavagem do agregado seria a solução perfeita, se não fosse pelo fato da mesma carrear os grãos mais finos provocando assim maiores vazios implicando em menor resistência (PETRUCCI, 1982).

2.3.2.5. Condições de cura

O objetivo da cura nada mais é do que garantir a continuidade do processo de hidratação do concreto até o ponto desejado, valendo ressaltar que para obtenção de um concreto de boa qualidade, a cura deve ser executada durante os primeiros tempos de endurecimento do concreto (LIMA, et al., 2011).

2.3.2.6. Adensamento

Devido ao ar aprisionado, uma incorreta vibração no concreto pode diminuir a resistência do mesmo, uma vez que o ar não sairá. É imprescindível o uso de um vibrador para movimentar e expulsar o ar do concreto. Lembrando sempre, que o excesso de vibração pode gerar exsudação e também comprometer a resistência do concreto (HELENE, 2011).

2.3.3. Ensaio de resistência à compressão

A própria concepção do processo construtivo como um todo, torna necessária a avaliação para saber se o que foi produzido corresponde ao que foi adotado no dimensionamento. Esse controle da resistência a compressão das estruturas de obras de arte é parte integrante da construção, sendo indispensável seu acompanhamento (HELENE, 1986).

Todo o procedimento do tratamento dos corpos de prova, como o pleno adensamento ou cura por molhagem durante o período normatizado, resulta em uma representação da qualidade do concreto em si, sendo que naturalmente esse resultado possa ser inferior ao calculado, por fatores do tipo adensamento,

segregação ou cura insuficiente, mostrando assim a necessidade do acompanhamento (NEVILLE, 1997, apud FREITAS, 2012, p. 35).

A medição da resistência à compressão do concreto é realizada por meio do rompimento de testemunhos, sendo que a moldagem deles é executada conforme NBR 5738/2015. A normalização dos procedimentos é fundamental para uma padronização dos resultados e maior facilidade para avaliá-los. Escolhas como dimensões dos corpos de prova, formas, adensamento, cura, são explicitados na norma. Vale ressaltar que o procedimento de cura também é padronizado e tem fundamental papel na resistência a compressão, e este é normatizado pela NBR 9479/2006, sendo a cura realizada através de câmaras úmidas ou tanques.

Finalmente, o ensaio de resistência à compressão do corpo de prova é normatizado pela NBR 5739/2007, sendo que características como descrição do método, aparelhos para execução do ensaio, tolerância de idades do concreto, rompimentos, método de cálculo de resistência e informações mínimas para apresentação dos resultados, estão presentes na norma.

O fato da resistência à compressão não estar ligado diretamente com o surgimento de fraturas, é considerado um fator importante para Magalhães (2009). Microfissuras aparecem no concreto antes mesmo desse estar submetida a alguma tensão, não significando necessariamente má qualidade.

Para Bauer (2000), geralmente os rompimentos dos corpos de prova deve ser aos 28 dias, visto que nesta idade grande parte da resistência final já foi alcançada e é uma idade padronizada e difundida como a principal aceitação da estrutura, porém é evidente e notório que o aumento dessa resistência ocorra até os 360 dias. Além disso, a NBR 5739/2007 apresenta outras idades para o rompimento, como 3, 7, 63 e 91 dias, embora pouco usuais.

2.4. ENSAIOS NÃO DESTRUTÍVEIS NO CONCRETO

A aplicação de métodos não destrutíveis vem ganhando força entre os investigadores devido a sua capacidade efetiva na avaliação da estrutura, no caso de pontes, essa avaliação é indispensável para a segurança estrutural, permitindo o prolongamento da útil das pontes, sem dizer os fatores econômicos, ambientais e de preservação do patrimônio. Alguns ensaios mais importantes serão apresentados abaixo.

2.4.1. Método do pacômetro

O pacômetro nada mais é do que um detector de armadura, utilizado para conhecimento da posição da armadura na estrutura bem como seu cobrimento, onde o ensaio leva o nome do aparelho. Essa leitura é realizada por meio de um campo magnético e frequência entre as armaduras e o aparelho, com isso é possível estimar a posição do aço e também o seu diâmetro (SANTOS, 2008, apud SAHUINCO, 2011, p. 54).

2.4.2. Método da velocidade de ultrassom

O ensaio consiste na avaliação da velocidade em que se propaga os pulsos sônicos por meio de dois pontos estabelecidos. O aparelho registra o tempo que leva o pulso para percorrer de um ponto ao outro, e com o tempo e a distância obtém-se a velocidade. O respectivo ensaio é normatizado pela NBR 8802/2013.

A disposição dos pontos para registro da velocidade dos pulsos influencia na determinação do resultado e sua precisão, condicionando assim a posição dos transdutores, valendo ressaltar que a transmissão direta (Figura 3), ou seja, com os transdutores alinhados, é a mais adequada, uma vez que a propagação é feita de forma direta e o tempo de percurso pode ser medido com boa precisão (SAHUINCO, 2011, p. 58). A utilização deste ensaio pode além de dar resultados de resistência a compressão, dar também módulo de elasticidade, localização de vazios, profundidade de fissuras e deteriorações existentes.

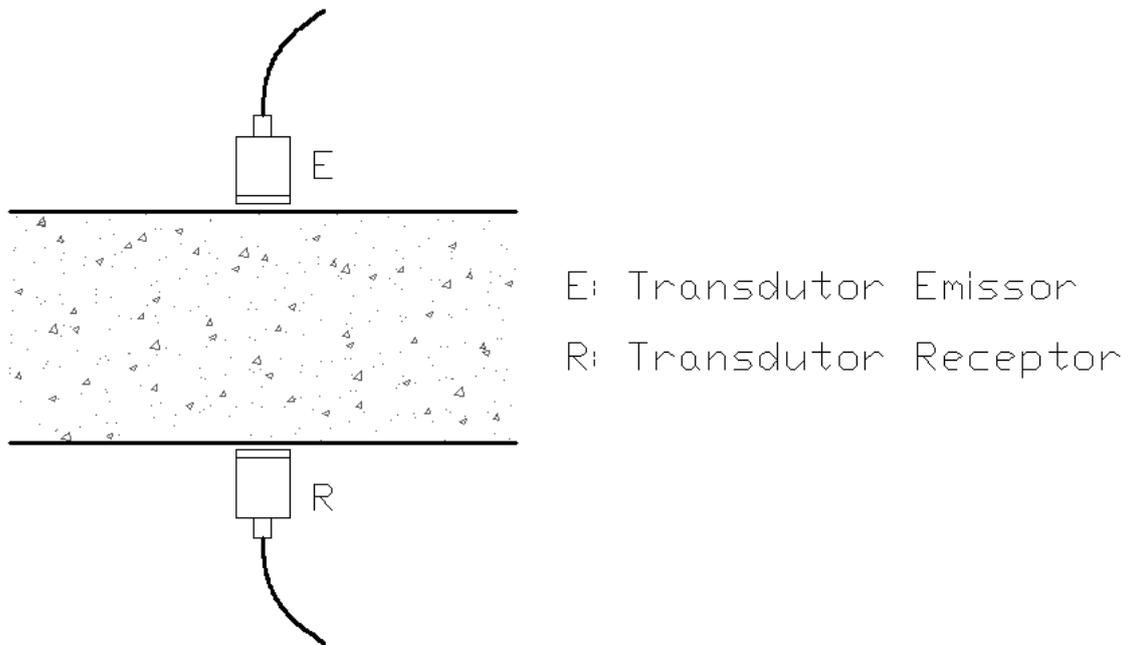
Conforme Meneguetti (2009), o equipamento é de fácil manuseio e tem um custo baixo, além de ser completamente não destrutivo, favorecendo fatores econômicos e ecológicos. O ponto fraco do método é a ligação entre o concreto e o transdutor, como também a interpretação dos resultados.

2.4.3. Método da resistividade elétrica

De acordo com Sanhuinco (2011), a resistividade elétrica é de fato um parâmetro de grande importância para avaliação da corrosão da armadura no concreto armado, levando em consideração que concretos de alta resistividade apresentam menor predisposição para o desenvolvimento de corrosão das armaduras, logo, este método está diretamente ligado com a velocidade de corrosão das armaduras.

O ensaio pode ser realizado tanto em campo como em laboratório, de certa forma, é simples, porém há a possibilidade de danos superficiais em concretos carbonatados.

Figura 3 – Transmissão direta.



Fonte: (SOUZA, et al., 2015, p. 4).

2.4.4. Método do esclerômetro

Conforme a NBR 7584/2012, o ensaio de esclerometria é definido por um método não destrutivo que mede a dureza superficial do concreto, fornecendo elementos para a avaliação da qualidade do concreto endurecido. Outras definições importantes completam a norma, são elas:

- Índice esclerômetro: Valor obtido através de um impacto do esclerômetro de reflexão sobre uma área de ensaio, fornecido diretamente pelo aparelho ao número de recuo do martelo;
- Área de ensaio: Região da superfície do concreto em estudo, onde se efetua o ensaio esclerométrico;
- Impacto: Ato de aplicação do esclerômetro de reflexão sobre um ponto da área de ensaio.

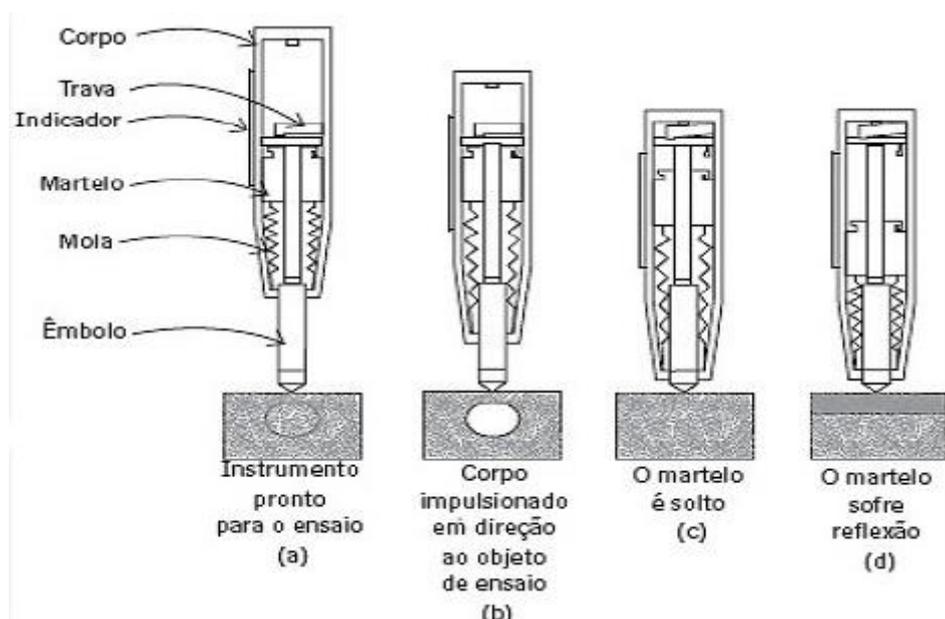
A aparelhagem usada resume-se apenas ao esclerômetro de reflexão, um martelo (Martelo de Schmidt) que é impulsionado por mola, e por meio de uma haste

com ponta esférica, absorve o impacto sobre a área de ensaio, sendo que uma parte dessa energia é utilizada na deformação permanente provocada na área de ensaio, e a outra parte é conservada elasticamente, propiciando ao fim do impacto, o retorno do martelo (Figura 4). Vale ressaltar que, quanto maior a dureza da superfície ensaiada, maior é a reflexão do martelo, visto que a parcela de deformação permanente torna-se menor (NBR 7584/2012).

Ainda de acordo com a norma, em função das características da estrutura do concreto e o maior ou menor grau de precisão, podem ser escolhidos alguns tipos de esclerômetros, entre eles:

- Com energia de percussão de 30N.m: Que é mais indicado para obras de grande volume de concreto;
- Com energia de percussão de 2,25N.m: Utilizado para casos normais de construção de edifícios;
- Com energia de percussão de 0,90N.m: Indicados para concreto de baixa resistência e por fim;
- Com energia de percussão de 0,75N.m: Mais apropriado para elementos, componentes e peças de concreto de pequenas dimensões e sensíveis aos golpes

Figura 4 – Martelo de Schmidt e seu funcionamento.



Fonte: (MEHTA e MONTEIRO, 2008, p. 55).

De acordo com Meneguetti (2009), com a medida do retorno do pistão obtida no ensaio com o martelo de Schmidt, é possível avaliar a resistência à compressão do concreto baseado em curvas de calibração.

O ensaio esclerométrico é de fácil uso e oferece não só um resultado rápido, como também barato o resultado da avaliação da uniformidade do concreto endurecido, além de expor a estimativa da resistência do concreto com danos praticamente nulos na superfície da estrutura. Contudo, a precisão dessa estimativa pode chegar a uma variação de 25% em ensaios diretamente nas estruturas, além de necessitar de um profissional qualificado para realizar o ensaio de modo a evitar erros e decisões precipitadas (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Para Meneghetti (2009), as principais vantagens do uso de ensaio de esclerometria pode ser resumido em baixo custo, à simplicidade de execução e rapidez no ensaio. As curvas para análise esclerometrica vêm sendo difundida entre autores com o decorrer dos anos, de forma a chegar cada vez mais próxima da realidade. Entre as desvantagens, pode-se dizer que consiste na não recomendação do uso isolado deste método, sendo recomendados pelo menos dois tipos de avaliação para maior precisão nos resultados (DNER, 1994).

2.4.4.1. Fatores determinantes no ensaio de esclerometria

A NBR 7584/2012 diz que alguns fatores podem influenciar os resultados do ensaio esclerometrico, tais como:

- Tipo e teor de cimento utilizado;
- Tipo de agregado utilizado;
- Estado da superfície ensaiada;
- Grau de umidade da superfície;
- Profundidade de carbonatação da superfície;
- Idade da estrutura ensaiada;
- Posição do aparelho durante o ensaio;
- Esbeltez do elemento ensaiado;
- Massa específica.

O tipo e teor de cimento utilizado podem variar até no máximo 10%, indicando que mudanças no teor de cimento utilizado não correspondem a mudanças na dureza superficial do concreto (BUNGEY e MILLARD, 2006). Já o tipo de agregado

utilizado, conforme Neville (1997) influencia na dureza superficial para um determinado índice esclerométrico, em vista de que a resistência a compressão é significativamente maior para um concreto com agregado calcário do que um concreto com agregado de seixo.

Ainda segundo Bungey e Millard (2006), o índice esclerométrico é menor para superfícies úmidas, podendo chegar a uma variação de até 20%. Já a NBR 7584 (2012), mostra que a profundidade de carbonatação na superfície pode superestimar os valores esclerométricos, devendo-se utilizar ferramentas para tratar a superfície e reduzir esses efeitos.

Outros fatores também podem influenciar os resultados esclerométricos, como a idade da estrutura ensaiada, posição do aparelho, operador, esbeltez, massa específica, entre outros (NBR 7584/2012).

3. METODOLOGIA

3.1. LOCAL DE PESQUISA

A ponte FHC onde o estudo está objetivado, localiza-se em Palmas – TO e faz divisa com o setor luzimangues de Porto Nacional – TO, mas também é conhecida por ser o elo entre a capital do estado e Paraíso do Tocantins – TO. A mesma possui uma extensão de aproximadamente 8 km. O presente estudo tem por referência os pilares do último trecho, com as coordenadas geográficas $10^{\circ} 11' 06,79''S$ e $48^{\circ} 25' 13,85''O$ e com elevação de aproximadamente de 200 metros em relação ao nível do mar (Figura 5).

Figura 5 – Imagem da Ponte Fernando Henrique Cardoso.



Fonte: Autor, 2017.

3.2. VISTORIA TÉCNICA

A ida ao local foi realizada por meio de veículo automotor e posteriormente de barco, para que haja completa veracidade nas informações coletadas. Os dados coletados nessa vistoria técnica foram de geometria dos pilares, contendo dados como largura, comprimento e altura, valendo ressaltar que a disposição e quantidade de pilares são de suma importância, e por fim também dados gerais da plataforma de rolamento, sendo que o projeto original da ponte executada não foi encontrado de forma alguma. Tais dados foram adquiridos com uma trena aberta de 50 metros.

3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS PARA CONFECÇÃO DO PROTÓTIPO

Os materiais utilizados para realização do concreto a ser estudado são cimento, agregados graúdos, agregados miúdos e água. Executou-se a confecção de um bloco de concreto semelhante aos pilares da ponte FHC, baseado em suas dimensões, em concreto convencional juntamente com corpos de prova, para que neles sejam realizados os ensaios de esclerometria de reflexão e compressão axial, respectivamente.

3.3.1. Materiais utilizados no protótipo

O traço utilizado na confecção do bloco de concreto e dos corpos de prova foi de 1 : 2,22 : 2,73 : 0,58 em relação a massa do cimento de 15,19kg, calculado para um Fck de 25Mpa e abatimento de 10 cm, sendo utilizado um concreto convencional, uma vez que o mesmo tem por função de apenas comparar os resultados dos métodos não destrutível e destrutível e assim comprovar ou não a eficiência do procedimento não destrutível, valendo ressaltar que a empresa Luar Engenharia e Construções na cidade de Palmas – TO realizou todo o procedimento de confecção do bloco seguindo as normas.

3.3.1.1. Cimento

Utilizou-se como aglomerante o cimento Portland CII F 40, encontrado em empresas de materiais de construções.

3.3.1.2. Agregado Graúdo

O agregado graúdo utilizado foi a brita 1 de rocha granítica obtido na Pedreira Grampata em Palmas – TO, de tal maneira realizou-se o ensaios de massa específica e massa unitária, conforme as normas NM 52/2003 e NM 45/2006, respectivamente.

3.3.1.3. Agregado Miúdo

O agregado miúdo utilizado no concreto resumiu-se em areia média comumente usada na cidade de Palmas – TO devido sua abundancia obtida na mineradora Draga Nova Era. Também foram realizados os ensaios de granulometria, massa específica e massa unitária, conforme as normas NBR NM 248/2003, NM 52/2003 e NM 45/2006.

3.4. MOLDAGEM E CURA

Vale ressaltar que, antes de realizar as moldagens determinou-se a consistência do concreto por meio do ensaio de abatimento de tronco de cone para um resultado de 10cm com variação de 2cm conforme a NBR NM 67/98. Realizou-se a confecção de 9 corpos de prova, sendo cilindros de 10 cm x 20 cm conforme NBR 5738/15, já o bloco de concreto foi executado com dimensões de 15 cm x 50 cm x 27 cm atendendo as mesmas exigências da norma supracitada. A cura tanto do bloco como dos corpos de prova foi úmida imersa em tanque até dois dias antes da realização dos ensaios.

3.5. ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL

Mediu-se a resistência à compressão pelo ensaio de compressão axial, nos corpos de prova cilíndricos de 10 cm x 20 cm de acordo com a NBR 5739 (2007) nas idades de 7, 14 e 28 dias utilizando para cada idade 3 corpos de prova. Usou-se uma prensa com medidor digital na empresa Luar Engenharia e Construções. Desta forma, foi realizado a média aritmética dos resultados para cada idade para se obter a resistência a compressão que representa a amostra, e foi calculado também o desvio padrão e coeficiente de variação a fim de se ter maior confiabilidade nos resultados obtidos.

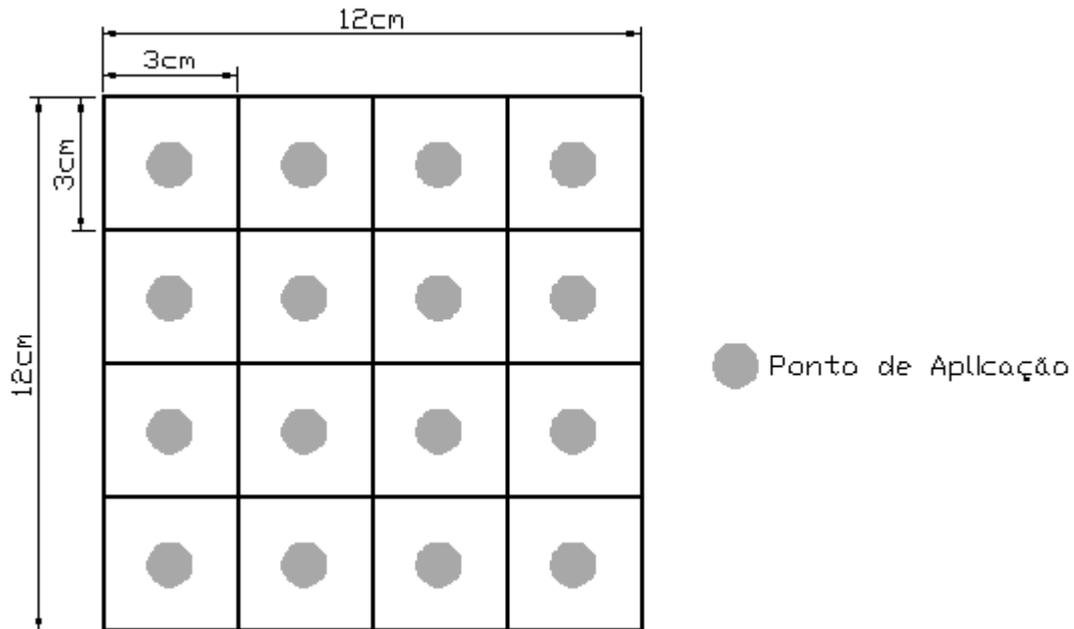
3.6. ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

Utilizou-se o esclerômetro de reflexão conforme a NBR 7584/12 para realização deste ensaio. Ainda de acordo com a norma o aparelho foi testado, e não apresentou a necessidade de calibração, provendo assim maior veracidade nas informações coletadas, valendo ressaltar que o aparelho foi calibrado na data 08 de julho de 2017. As leituras feitas no bloco foram na idade de 28 dias com a área de ensaio na face lateral e com os índices esclerométricos foram calculados o desvio padrão e coeficiente de variação, além de utilizar bibliografias para comparação dos resultados.

Neste ensaio a medição foi realizada com o esclerômetro na posição horizontal e antes a face submeteu-se a um acabamento superficial com pedra abrasiva para eliminar as irregularidades, em vista de que a norma supracitada exige uma superfície limpa, seca, plana e uniforme. Na área de ensaio foram efetuadas 16 leituras, em um quadrado 12 cm x 12 cm uniformemente distribuídos com espaçamento de 3 cm entre elas, sendo que cada leitura forneceu um índice

esclerométrico no qual posteriormente foi tirada a média para relacionar com a curva e chegar a uma resistência a compressão estimada (Figura 6).

Figura 6 – Ensaio de esclerometria.



Fonte: (SOUZA, et al., 2015, pg. 6).

3.7. ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO AXIAL E ESCLEROMETRIA

A partir dos resultados referentes aos respectivos ensaios, foi realizada uma análise comparativa entres os dados obtidos, de tal forma que poderá ser avaliado a confiabilidade do ensaio não destrutível de esclerometria por meio da comparação com o resultado do ensaio de compressão axial, valendo ressaltar é claro, que o bloco com 28 dias encontra-se em perfeito estado e de idade baixa, o que favorece o ensaio pelo fato de não apresentar manifestações patológicas e etc.

3.8. APLICAÇÃO DO ENSAIO DE ESCLEROMETRIA NOS PILARES DA PONTE FERNANDO HENRIQUE CARDOSO, SITUADO NO ESTADO DO TOCANTINS

Feita a análise comparativa e provada a eficiência do ensaio não destrutível de esclerometria para obtenção da resistência a compressão em estruturas acabadas, mesmo que de forma estimada, também se realizou o respectivo ensaio nos pilares da ponte FHC, seguindo as diretrizes da NBR 7584/12. A ida ao local de ensaio foi por meio de veículo automotor e posteriormente de barco, com um

profissional qualificado para realização do mesmo. Os resultados foram entregues ao autor em forma de laudos, apresentados no final deste trabalho.

As manifestações patológicas que veio a influenciar os resultados dos índices esclerométricos foram tratadas da melhor forma possível por um profissional qualificado e conforme a NBR 7584 (2012), de tal forma que apresentou maior veracidade possível nos dados obtidos, como por exemplo, a abrasão por meio de uma pedra para diminuir o tamanho da frente de carbonatação.

Foram escolhidos 3 pilares para compor a amostragem representativa, de forma aleatória. Conforme a NBR 7584/12, os pontos de aplicação do esclerômetro de reflexão tiveram 3 cm de distância entre si em um quadrado de 12cm x 12cm, com 16 golpes em cada área de ensaio.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme exposto neste trabalho de pesquisa, foi realizada primeiramente uma visita técnica na ponte FHC e puderam-se analisar os elementos estruturais e funcionais, bem como a disposição e quantidade dos mesmos. O estudo tem objetiva a comprovação da eficiência da utilização do esclerômetro de reflexão no quesito de resistência a compressão do concreto, para que o mesmo possa ser utilizado nos pilares da ponte, a fim de ter conhecimento desses dados.

Dessa maneira, foi realizada a confecção do protótipo em concreto, juntamente com os corpos de prova, de tal maneira a fazer os ensaios de esclerometria e resistência à compressão. Com os resultados obtidos, foram analisados os parâmetros de comparação, para posteriormente fazer o ensaio na ponte FHC.

4.1. VISTORIA TÉCNICA

Após a visita técnica realizada na ponte FHC, foi possível observar e avaliar alguns dos elementos estruturais mais importantes, bem como as características gerais. A ponte é composta por dois tipos de vigas, de aço e concreto armado, no qual as vigas em aço estão presente em 18 vãos da ponte, sendo dois deles com comprimentos de 42,60 metros localizados nas extremidades em contato com o aterro e 16 vãos com 43,00 metros.

A viga em estrutura de concreto armado está presente em apenas um vão com comprimento de 269,00 metros, sendo este o vão intermediário. Totalizando a ponte FHC tem 1042,20 metros de extensão, sendo composta de duas faixas de rolamentos em sentidos contrário, cada uma com 3,50m de largura, e mais um metro de acostamento em cada faixa, além de duas passarelas de pedestres em cada extremidade da estrutura, separadas por guarda rodas, uma sendo de 1,20m e outra de 2,20m, totalizando uma largura final de 13,50m.

Existem dois tipos de juntas de dilatação na ponte Fernando Henrique Cardoso, uma delas é a de fita neoprene, que na ponte tem um total de 18 unidades, onde foram distribuídas de forma a atender distância dos vãos de 43 metros, sendo a outra de elastômero com chapas de aço com espessura de 1m para atender o vão maior de 269m.

Quanto aos pilares, a vistoria foi realizada primeiramente por meio de veículo automotor e posteriormente de colchão inflável com auxílio de remos, utilizando uma trena aberta de 50 metros. Pôde-se observar que os pilares são em concreto armado vazado, e a ponte conta com 24 pares de pilares, sendo 20 deles os das laterais, com dimensões retangular de 3m por 2,5 metros, valendo ressaltar que a distância entre os pilares dentro de cada par é de 2,8m e a distância entre cada par de 40 metros (Figura 7). Os pilares de extremidades estão em contato com o aterro.

Figura 7 – Ponte FHC.



Fonte: Autor.

Já os pilares centrais possuem uma configuração diferente, com dimensões de 8,70m por 1,40 metros, e a distancia entre eles dentro de cada par de 3,25m (Figura 8) em concreto armado vazado.

Figura 08 – Pilares centrais da ponte FHC.



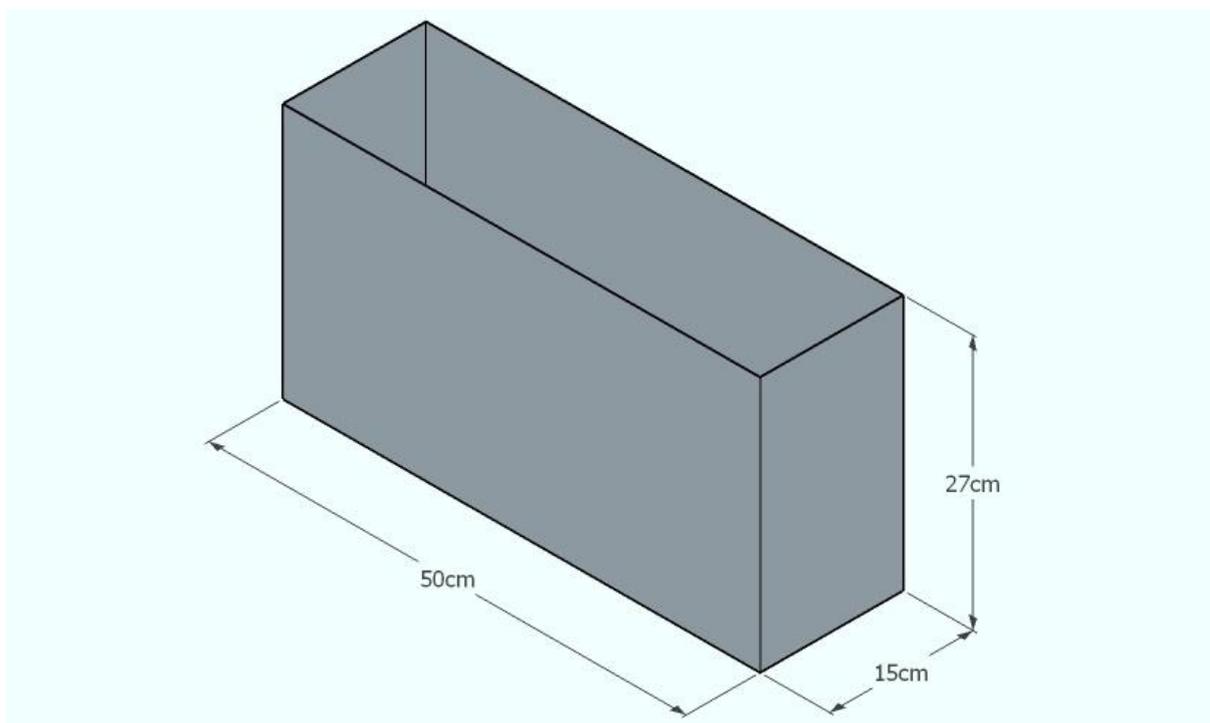
Fonte: Autor.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DO PROTÓTIPO

4.2.1. Confeção da fôrma

A confecção da fôrma foi realizada por meio de chapas metálicas galvanizadas de alumínio, utilizadas em calhas de diversas dimensões, sendo que suas propriedades de flexibilidade e dureza puderam tornar possível a confecção do bloco de concreto para realização do ensaio de esclerometria. A ligação das juntas da fôrma foi vedada por meio de uma fita autoadesiva multiuso conhecida popularmente como “manta”. As chapas foram compradas na empresa Universo distribuidora de ferros em palmas – TO e cortadas de tal forma a atender as dimensões do bloco de 15cm x 50cm x 27cm (Figura 09). A maior dificuldade de tal realização foi de fato o escoramento da fôrma, para que a mesma não viesse a abrir ou deformar a estrutura. Vale ressaltar que durante a confecção do concreto, todas as exigências da NBR 5738/2015 foram atendidas.

Figura 09 – Dimensões do Protótipo.



Fonte: Autor.

4.2.2. Caracterização do material

A dosagem do traço utilizado na confecção do protótipo foi realizada pelo método Seven Steps Method – ACI 211.1-91 conforme Ribeiro (2010), a fim de atingir a resistência de 25 MPa com slump teste de 10cm variando 2cm. Foi utilizado o traço 1 : 2,22 : 2,73 com relação água/cimento de 0,58, tendo como referência a massa do cimento de 15,2 kg.

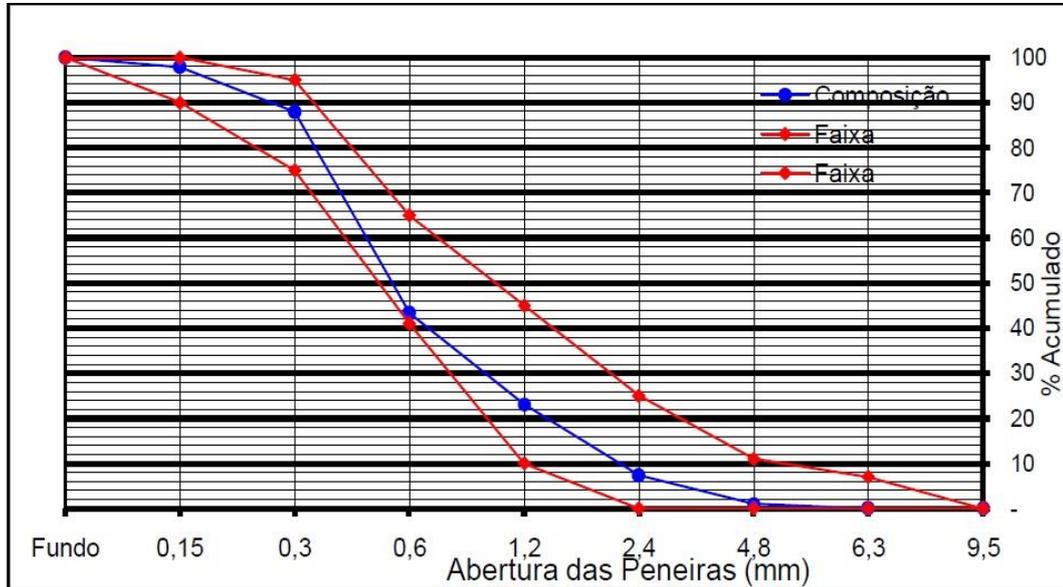
4.2.2.1. Agregado miúdo

A areia média foi obtida na mineradora Draga Nova Era localizada em Palmas – TO, sendo que para a caracterização deste material foi realizado os ensaios de massa específica, massa unitária e granulometria, de tal forma a definir o módulo de finura do material. O ensaio de massa unitária no agregado miúdo teve como resultado 1,64 g/cm³ e conforme a NBR NM 45:2006 os resultados de massa unitária não podem variar mais que 1% em relação a média.

Para o ensaio de massa específica, a NBR NM 52/2003 estabelece que para serem satisfatórios, os resultados não devem diferir mais que 0,02 g/cm³ entre si, tendo como massa específica o agregado miúdo 2,645 g/cm³. Por fim, o ensaio de granulometria foi realizado conforme a NBR NM 248 (2003), tendo como resultado a

classificação da areia como média com módulo de finura 2,25 encontrando-se na zona 3 como mostra a Figura 10.

Figura 10 – Análise do ensaio de granulometria do agregado miúdo.



Fonte: Autor.

4.2.2.2. Agregado graúdo

O agregado utilizado foi a brita 1 de rocha granítica, obtido na Pedreira Grampata em palmas – TO, tendo por caracterização os ensaios de massa específica e massa unitária.

Como resultado do ensaio de massa unitária obteve-se $1,42 \text{ g/cm}^3$, observando os parâmetros da norma NBR NM 45/2006 com variação menor que 1% em relação à média. Já o ensaio de massa específica teve por resultado $2,666 \text{ g/cm}^3$, não ultrapassando as exigências da norma. O diâmetro máximo do agregado graúdo é de 19mm.

4.2.2.3. Cimento

O cimento utilizado na confecção do protótipo foi o CII F 40 como mostra a Figura 13, com massa unitária de $1,40 \text{ g/cm}^3$ e massa específica de $3,04 \text{ g/cm}^3$.

4.2.3. **Moldagem e cura**

A moldagem do protótipo e corpos de prova ocorreu no dia 23 de setembro de 2017, por meio da empresa Luar engenharia, no qual se responsabilizou não só pela confecção e moldagem, mas também pelos ensaios de resistência a compressão dos corpos de prova (Figura 11).

Figura 11 – Moldagem dos corpos de prova.



Fonte: Autor.

Conforme a NBR 5738/2015 foram realizadas moldagem de 3 corpos de prova para cada idade, para serem rompidos nas idades de 7, 14 e 28 dias, com diâmetro de 10cm e altura de 20cm. O adensamento foi realizado com soquete de 16mm, onde o mesmo foi realizado com 12 golpes em cada camada, sendo duas camadas. Vale ressaltar que o bloco de concreto foi realizado nas dimensões de 15cm x 50cm x 27cm (Figura 12), atendendo as mesmas exigências da normativa de moldagem dos corpos de prova. A cura tanto do bloco como dos corpos de prova foi úmida imersa em tanque até dois dias antes da realização dos ensaios.

Figura 12 – Bloco de concreto.



Fonte: Autor.

4.2.4. Abatimento do tronco de cone

A consistência do concreto foi medida por meio do slump test, que foi realizado conforme as exigências da NBR NM 67/98, sendo que para o traço realizado o slump é de 10cm com variação de 2cm. O molde foi dividido em três camadas de mesma quantidade de concreto fazendo a compactação com a haste com 25 golpes distribuídos por toda seção por camada. O ensaio teve como resultado um abatimento de 11cm (Figura 13).

Figura 13 – Slump Test.



Fonte: Autor.

4.3. ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL

O ensaio de compressão axial foi realizado nas idades de 7, 14 e 28 dias, conforme rege a norma NBR 5739 (2007), onde também foi calculado o desvio padrão e coeficiente de variação, com os seguintes resultados:

Figura 14 – Resultados de resistência à compressão, desvio padrão e coeficiente de variação.

Resultados dos rompimentos de 7 Dias			
Corpos de Prova	Resistência aos 7 Dias (Mpa)	DP	CV (%)
1	19,1	3,40	14,90
2	22,0		
3	27,3		
Média	22,8	-	-
Resultados dos rompimentos de 14 Dias			
Corpos de Prova	Resistência aos 14 Dias (Mpa)	DP	CV (%)
1	27,4	1,18	4,10
2	29,8		
3	30,0		
Média	29,1	-	-
Resultados dos rompimentos de 28 Dias			
Corpos de Prova	Resistência aos 28 Dias (Mpa)	DP	CV (%)
1	30,1	1,06	3,40
2	31,4		
3	32,7		
Média	31,4	-	-

Fonte: Autor.

Conforme a figura 15 observa-se os valores médios em Mpa de 22.8, 29.1 e 31.4 para as idades de 7, 14 e 28 dias respectivamente, conforme o esperado, uma vez que foi utilizado um traço com relação a/c de 0,58 para Fck de 25Mpa e Fcj aos 28 dias de 31Mpa. Nas idades analisadas verificam-se que apresenta a menor dispersão dos resultados os rompimentos de 28 dias, com desvio padrão de 1,06 e apresenta a maior dispersão os rompimentos de 7 dias, com desvio padrão de 3,40. Em relação à variabilidade do ensaio, observa-se que os coeficientes de variação

obtidos nas idades se encontram entre 3,40% a 14,90%, apresentado uma baixa dispersão, ou seja, resultados mais homogêneos. Vale ressaltar ainda que, conforme vai aumentando a idade dos corpos de prova, a dispersão dos resultados tende a diminuir, sendo mais alta nas primeiras idades.

Finalmente pode-se dizer que o procedimento para determinar a resistência a compressão foi valido, considerando a variabilidade baixa, o comportamento dos parâmetros e as variáveis dentro do esperado.

4.4. ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

O ensaio de energia de flexão foi realizado no bloco de concreto aos 28 dias, conforme a NBR 7584/12, sendo utilizado o esclerômetro de reflexão da marca Schmidt modelo N. Com o ensaio, obteve-se os seguintes resultados de índices esclerométricos (Figura 15):

Figura 15 – Resultados de índices esclerométricos aos 28 dias, desvio padrão e coeficiente de variação.

Índices Esclerométricos			
34,1	33,0	41,0	34,0
33,8	36,2	35,8	33,0
33,9	41,8	35,0	40,0
32,0	37,0	35,0	34,2
Média	35,61		
DP	2,84		
CV %	8,00		

Fonte: Autor.

É importante ressaltar que o esclerômetro foi utilizado na horizontal, não havendo necessidade de correção dos índices e foi manuseado por um profissional qualificado (Figura 16). Segundo o ACI 228.1R (2003), o coeficiente de variação médio deste ensaio é de 10%, sendo que Choquepuma (2011) na sua avaliação de pontes por meio de ensaios não destrutivos obteve um coeficiente de variação de 3,55% e Castro (2009) realizando também o ensaio, obteve variação de 7%.

Neste trabalho o coeficiente de variação apresentou dados satisfatórios de uma amostra homogênea com 8% de variação. Por meio do laudo disponibilizado pela empresa Luar engenharia, é possível verificar que das 16 leituras realizadas, três índices esclerométricos individuais foram desprezados por estarem afastados mais de 10% do valor médio obtido, sendo que conforme a norma supracitada, o índice esclerométrico médio final deve ser obtido com no mínimo cinco valores individuais. A partir do índice médio efetivo de 34,4 foi possível correlacionar o mesmo com o gráfico de resistência a compressão fornecida pelo fabricante do aparelho e chegar a uma resistência estimada a compressão de 31,5 Mpa.

Figura 16 – Ensaio de esclerometria no bloco.



Fonte: Autor.

4.5. ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO AXIAL E ESCLEROMETRIA

Com os resultados obtidos, é possível verificar que o ensaio de esclerometria apresenta maior variabilidade nas primeiras idades, porém tende a diminuir essa variação ao decorrer de sua idade, provendo assim uma resistência estimada de

31,5Mpa, utilizando o coeficiente de correção $y = 0,53x + 14,8$, fornecido pelo fabricante. Vale ressaltar que conforme a NBR 7584/12 o método esclerométrico não é recomendado como substituição de outros métodos, sendo que para a avaliação da resistência a compressão deve-se dispor de uma correlação confiável de acordo com os materiais locais e as influencias dos fatores já citados, sendo que este trabalho fez uso do gráfico fornecido pelo fabricante do aparelho.

Já os resultados de rompimento dos corpos de prova, assim como na esclerometria, apresentou uma diminuição da variação dos resultados conforme o aumento da idade ensaiada, obtendo um valor representativo de resistência a compressão aos 28 dias de 31,4Mpa. Desta maneira, fazendo uma comparação direta, pode-se concluir que de fato pode ser utilizado o método não destrutivo de ensaio de esclerometria na determinação da resistência a compressão, pois a variação dos resultados entre ambos os ensaios foi menor que 1%.

4.6. ENSAIO DE ESCLEROMETRIA NOS PILARES DA PONTE FERNANDO HENRIQUE CARDOSO EM PALMAS – TO

Depois de confirmado a eficiência do esclerômetro de reflexão, o método esclerométrico foi aplicado na ponte Fernando Henrique Cardoso em Palmas – TO, mais precisamente em três pilares, escolhidos de forma aleatória, sendo que um deles foi escolhido entre os pilares centrais, ou seja, de 8,70 x 1,40m. Apesar de o lago estar um pouco agitado, realizou-se o ensaio, com um profissional qualificado sendo o aparelho utilizado na posição horizontal (Figura 17).

Figura 17 – Ensaio de esclerometria no pilar da ponte FHC.



Fonte: Autor.

Conforme a NBR 7584/2012, foram efetuadas 16 leituras por área de ensaio, em um quadrado de 12cm x 12cm sendo cada ponto de aplicação com distancia de 3cm entre si, no qual com a média e o ábaco que vem no corpo do aparelho, foi possível determinar a resistência estimada a compressão, tendo a superfície antes do ensaio, um acabamento com pedra abrasiva para remover as irregularidades da face, bem como diminuir a frente de carbonatação. A ida ao local foi por meio de barco.

Os 3 pilares foram divididos e classificados como pilar 4B, 2A e pilar central, para mais fácil poder comentar os três laudos disponibilizados pela empresa Luar Engenharia. Estes dois primeiros são de dimensões de 2,50 x 3,00 metros, sendo no 4B, das 16 leituras efetuadas, duas foram retiradas da amostra uma vez que a norma supracitada especifica que cada índice esclerométrico não pode diferir mais de 10% da média, dessa maneira o ensaio contou com 14 leituras válidas, valendo ressaltar que ainda conforme a norma, o mínimo de leituras válidas é de 5 e este obteve uma resistência estimada de 52 MPa. Já o pilar 2A teve 9 leituras válidas, sendo este o que mais apresentou variação, tendo como resistência estimada em 47,1 Mpa. Por fim, do pilar central retirou-se apenas um índice esclerométrico, contando assim com 15 leituras válidas e chegou a uma resistência a compressão estimada de 46 Mpa.

Com os três resultados dos ensaios 52.0, 47.1 e 46.0 Mpa de resistência à compressão estimada, foi tirada uma média para representação da amostra, no qual obteve o valor de 48,37 Mpa. Conforme a NBR 6118/2003, a resistência característica f_{ck} é diferente da resistência de dosagem f_{cj} aos 28 dias, sendo esta calculada pela seguinte expressão " $f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \times S_d$ " e quando não for conhecido o valor do desvio padrão S_d , o valor será fixado em função do rigor com que o construtor executa a obra sendo este o mínimo de 4 Mpa, considerando um controle tecnológico rigoroso. Diante disso, invertendo a expressão a fim de se chegar a um valor de f_{ck} , ou seja, diminuindo o acréscimo proveniente do f_{cj} e utilizando o mesmo de 48,37 Mpa que foi a média encontrada dos resultados dos ensaios, o valor da resistência a compressão característica f_{ck} caiu para aproximadamente 41 Mpa, desta maneira pôde-se observar, mesmo que de forma estimada, o f_{ck} utilizado nos pilares da ponte FHC foi de 40 Mpa.

Vale ressaltar que vários são os fatores que influenciam nos resultados dos índices esclerométricos, como a idade da estrutura, profundidade de carbonatação

da superfície, grau de umidade da superfície, entre outros. Conforme o esperado, os pilares encontravam-se um pouco úmido, o que pode alterar os resultados diminuindo seu valor, porém o ensaio foi realizado a cerca de 2 metros em relação a lamina d'água para evitar tal umidade. Outro fator de muita influência é a carbonatação da estrutura ensaiada, que foi tratada com uma pedra abrasiva em repetições circulares como a norma recomenda e desta maneira diminuiu-se a frente de carbonatação, no qual causa grandes variações nos resultados. Ainda de acordo com a NBR 7584/2012, a idade da estrutura tende a aumentar o valor da resistência com o passar dos anos, mesmo que em poucas proporções. É importante ressaltar também, que o tipo de cimento e agregados utilizados na confecção do concreto, podem alterar os resultados, todavia estes dados não foram encontrados.

5. CONCLUSÃO

Ante o exposto, pode-se concluir que vários são os fatores que influenciam ambos os métodos de esclerometria e compressão axial para a obtenção da resistência a compressão, como este último, por exemplo, quando se trata de extração de testemunhos, recebem influência do diâmetro utilizado, o posicionamento do aparelho, o local de retirada, entre outros, além de danificar a estrutura. Nota-se também, por meio deste estudo que as variações tendem a diminuir com o passar da idade da estrutura para ambos os ensaios. Em contrapartida o ensaio de esclerometria em obras finalizadas similarmente apresenta problemáticas que nem sempre podem ser controladas, e que alteram os resultados dos índices esclerométricos, como carbonatação, umidade da superfície ensaiada, idade da estrutura, tipo de materiais utilizado, etc.

Com isso, estabelecendo uma comparação direta, desconsiderando as adversidades encontradas nos ensaios, este trabalho concluiu que o método do esclerômetro de reflexão para a obtenção da resistência a compressão em estruturas finalizadas pode de fato ser utilizado, posto que por meio dos ensaios de compressão axial e esclerometria realizados neste trabalho, ambos obtiveram valores de 31,4 Mpa e 31,5 Mpa respectivamente, evidenciando a diferença entre eles em menos de 1%.

Vale ressaltar que o método esclerométrico, justamente pelo fato de apresentar vários fatores intrínsecos a influência dos resultados, possui fatores de correção e curvas de correlação, estes obtidos por meio de cálculos levando em consideração os tipos de matérias, manifestações patológica existentes nas estruturas e variação dos resultados dos índices esclerométricos. Desta maneira, desde que haja fatores de correção e curvas de correlação mais precisos, o ensaio de esclerometria pode chegar a resultados tão satisfatório quanto a compressão axial.

Por fim, este método não destrutivo foi realizado nos pilares da ponte Fernando Henrique Cardoso em Palmas – TO obtendo um resultado de resistência a compressão de aproximadamente 48 Mpa, de tal maneira, mesmo que forma estimada, obteve-se o fck usado na ponte de 40 Mpa.

REFERENCIAL NORMATIVO

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Concreto e argamassa: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142**: Concreto: determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto: ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8802**: Concreto endurecido: determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584**: Concreto endurecido: avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo: determinação massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALMEIDA, L. C. **Concreto**. Campinas, 2002. (Apostila).

American Concrete Institute ACI - 228 - 1R - 03, 2003, In place methods to estimate concrete strength, Detroit, 44 pp.

BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Manual de inspeção de obras de artes especiais**. Santa Catarina: DNER, 1994. 48 p.

CASTRO, E. **Estudo da resistência à compressão do concreto por meio de testemunhos de pequeno diâmetro e esclerometria**. 119f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

CHOQUEPUMA, M. **Utilização de métodos não destrutivos e semi-destrutivos na avaliação de pontes de concreto**. 170f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

FALCÃO BAUER, L. A. **Materiais de Construção**. Vol 1 e 2, São Paulo, LTC, 2000.

FREITAS, M. **Pontes: definições**. São Paulo: EPUSP, 197p.

FREITAS, R. P. **Controle de qualidade em concreto endurecido: Ensaios mecânicos**. 2012. 55 p. Universidade federal de juiz de fora. Juiz de fora, 2012.

HELENE, Paulo - **Fatores que afetam a resistência in situ do concreto** - Revista ALCONPAT, Volume 1, Número 1, Abril 2011, Páginas 67 - 92.

HELENE, Paulo R.L.; TERZIAN, Paulo R. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**, Ed. PINI/SENAI, São Paulo, 1993.

KHOURI, M. E. (2001). **Contribuição ao Projeto de Pilares de Pontes de Concreto Armado com Consideração das Não-linearidades Física e Geométrica e Interação Solo-Estrutura**. São Carlos, 2001, 231 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

LACHETA, A., CONTO, D. **Estudo comparativo de ensaios destrutivos e não destrutivos para concreto**. 2012, 64 p. Universidade tecnológica federal do paraná. Curitiba, 2012.

MACHADO M. D.; SHEHATA L. C. D.; SHEHATA I. A. E. M. **Curvas de correlação para caracterizar concretos usados no Rio de Janeiro por meio de ensaios não destrutivos**. IBRACON, Volume 2, 2009.

MAGALHÃES, F. C. **Estudo Probabilístico da Resistência à Compressão e da Resistência à Tração na Flexão dos Concretos Utilizados na Construção do Dique Seco do Estaleiro Rio Grande, no Superporto, em Rio Grande-RS**. Dissertação. FURG, Rio Grande – RS, 2009.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MEHTA P. Kuman; MONTEIRO Paulo J.M., **Microestrutura, Propriedades e Materiais**. (2008).

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: Pini, 1997.

PALACIOS, M. P. G. **Emprego de ensaios não destrutivos e de extração de testemunhos na avaliação da resistência à compressão do concreto**. Brasília, 2012.

PETRUCCI, Eladio G. R. – **Concreto de cimento Portland**, Editora Globo, 1982.

PFEIL, W. **Pontes em concreto armado**. Rio de Janeiro: LTC, 1990.

QUIROGA, A. F. S. (1983). **Calculo de Estruturas de Puentes de Hormigon**. Editorial Rueda, Madrid-Espanã.

RAMOS, M. O., OLIVEIRA JUNIOR, A., SOUSA JUNIOR, L. G., BISPO, T. S. S. C., MENDES, A. S., CARVALHO, D. I. **Utilização de tampas metálicas como adição no concreto convencional**. IBRACON, 2016.

SAHUINCO, M. H. C. **Utilização de métodos não destrutivos e semi-destrutivos na avaliação de pontes de concreto**. 2011, 170 p. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

SANTOS, J. M. M. N. D. **Avaliação da integridade estrutural de pontes de betão – o caso da ponte Nossa Senhora da Guia**. 2008. 244p. Dissertação (Mestrado)-Universidade do Porto. Porto, 2008.

VASCONCELOS, A. C. **Pontes Brasileiras: viadutos e passarelas notáveis**. São Paulo: Pini, 1993.

VIEIRA, Geilma Lima et AL. **Avaliação da resistência à compressão, resistência à tração e formação de microfissuras em concretos produzidos com diferentes tipos de cimentos, quando aplicado um pré-carregamento de compressão**. Ambiente construído, revista online da ANTAC, Porto Alegre, v. 11, n. 1, mar. 2011.