

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* AVANÇADO PIUMHI
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

Diana Alves Martins

**VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE SOLICITAÇÃO NOS ENSAIOS
DE ESCLEROMETRIA E ULTRASSOM**

Piumhi - MG

2020

Diana Alves Martins

**VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE SOLICITAÇÃO NOS
ENSAIOS DE ESCLEROMETRIA E ULTRASSOM**

Trabalho de conclusão de curso de Graduação,
apresentado ao Instituto Federal de Ciência e
Tecnologia de Minas Gerais, como requisito
parcial para a obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Júnior Henrique Canaval

Piumhi - MG

2020

FICHA CATALOGRÁFICA

M386v Martins, Diana Alves.

Verificação da influência do tipo de solicitação nos ensaios de esclerometria e ultrassom / Diana Alves Martins. – 2020.
56 f.

Orientador: Júnior Henrique Canaval.

Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus Avançado Piumhi*, 2020.

1. Ensaio não destrutivo. 2. Esclerômetro. 3. Ultrassom no concreto. 4. Ensaio – concreto. 5. Qualidade do concreto. I. Título.

CDD 620.137

Ficha elaborada pela bibliotecária Andreia Cristina Damasceno - CRB6/1974

Diana Alves Martins

**VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE SOLICITAÇÃO NOS ENSAIOS
DE ESCLEROMETRIA E ULTRASSOM**

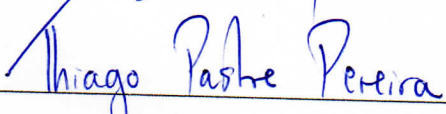
Trabalho de conclusão de curso de
Graduação, apresentado ao Instituto Federal
de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais,
como requisito parcial para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 13 de Abril de 2020.


BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Humberto Coelho de Melo - IFMG



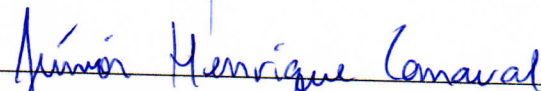
Prof. Me. Thiago Pastre Pereira - IFMG



Prof. Me. Tobias Ribeiro Ferreira - IFMG



Prof. Me. Vinícius Barbosa de Paiva - IFMG



Prof. Me. Júnior Henrique Canaval - IFMG (Orientador)

AGRADECIMENTOS

A DEUS, que sempre me cuidou com muito carinho, propiciando-me oportunidades e enviando anjos para me ajudar nesta caminhada tão árdua.

Ao meu Orientador, Professor Mestre Júnior Henrique Canaval, por todo o apoio e disponibilidade na realização deste trabalho.

À minha grande amiga Zilda, por todos esses anos de paciência, sábios conselhos e apoio em meus planos e sonhos.

Ao meu namorado, Gabriel Flores, meu companheiro que caminhou comigo, em todo este tempo, estendendo-me a mão em todos os momentos.

À minha irmã Darlene que sempre esteve ao meu lado e me deu forças quando achei que não seria mais possível.

Aos meus amigos de turma que não mediram esforços para me ajudar em todas as minhas dificuldades.

À minha família que depositou tanta confiança em mim, com certeza, esse foi um dos principais motivos que me fizeram seguir adiante.

Aos meus sobrinhos, fontes da minha inspiração.

Muito obrigada!

RESUMO

As técnicas de ensaio não destrutivo, por meio de aparelho esclerométrico e do aparelho de ultrassom, têm sido comumente utilizadas na construção civil, para analisar o estado de elementos estruturais, sem danificar a peça, como sua resistência, integridade, entre outros. Por isso, nas últimas décadas, vêm sendo realizados diversos estudos relacionados ao tema, de modo a estabelecer variáveis, para a compreensão dos resultados obtidos pela análise dos dados. Assim sendo, no presente trabalho, objetivou-se analisar o desempenho dos ensaios não destrutivos, esclerométrico e ultrassônico, em elementos comprimidos e tracionados, realizados por meio de estudo de caso, em campo e laboratoriais, utilizando corpos de provas; ainda, por meio de pesquisas bibliográficas como embasamento teórico, com o propósito de sanar dúvidas sobre a variância dos resultados de acordo com o estado de tensões da peça. Os resultados obtidos não mostraram consistência e homogeneidade, no entanto a pesquisa auxilia, ao acrescentar informações dos fatores que podem ou não alterar o produto dos ensaios.

Palavras-chave: Ensaio não destrutivo. Esclerômetro. Ultrassom no concreto. Ensaio – concreto. Qualidade do concreto

ABSTRACT

Non-destructive testing techniques using a sclerometric and an ultrasonic device have been commonly used in civil construction to analyze the state of structural elements without damaging the part, such as its strength, integrity, among others. Several studies related to the theme have been carried out, in order to establish variables for understanding the results obtained through data analysis. In view of this, in the present study aimed to analyze the performance of non-destructive, sclerometric and ultrasonic tests, in tablets and tension elements, carried out through case studies in the field and laboratories using bodies of evidence, as well as through bibliographic research as a theoretical basis, with the purpose of solving doubts about the results variance according to the tension state of the part. The results obtained did not show constancy and homogeneity, however, the research helps to add information on factors that may or may not change the product of the tests.

Keywords: Non-destructive tests. Sclerometer. Ultrasonic testing of concrete. Tests – concrete. Concrete quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Princípio de funcionamento de ensaio de velocidade de pulso ultrassônico.	19
Figura 2 - Aparelho de ultrassom.	20
Figura 3 - Tipos de transmissões das ondas ultrassônicas na superfície do concreto.	21
Figura 4 - Esclerômetro de reflexão.	24
Figura 5 - Esquema do Esclerômetro de Schmidt.	25
Figura 6 - Área ensaiada.	30
Figura 7 - Linha Neutra em viga.	31
Figura 8 - Corpo de prova lixado e marcado para o ensaio de compressão axial.	32
Figura 9 - Corpo de prova posicionado para o ensaio de compressão axial.	33
Figura 10 - Realização do ensaio esclerométrico, por meio da compressão axial.	34
Figura 11 - Obra ensaiada.	35
Figura 12 - Gabarito para demarcação da área a ser ensaiada.	36
Figura 13 - Viga 1 lixada e marcada para o ensaio esclerométrico.	37
Figura 14 - Realização do ensaio esclerométrico na Viga 1.	37
Figura 15 - Localização dos pontos ensaiados no método ultrassônico.	38
Figura 16 - Realização do ensaio ultrassônico na Viga 2.	39
Figura 17 - Curva de correlação do índice esclerométrico com a resistência à compressão.	40
Figura 18 - Momentos fletores da Viga 1.	43
Figura 19 - Momentos fletores da Viga 2.	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparação dos resultados do ensaio de compressão axial.	42
Gráfico 2 - Comparação dos resultados dos elementos estruturais e ensaiados.	48
Gráfico 3 - Análise dos dados do ensaio ultrassônico.	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação entre a velocidade de impulso e a qualidade do concreto.	41
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Compressão axial corpo de prova 1.	41
Tabela 2 - Compressão axial corpo de prova 2.	42
Tabela 3 - Profundidades estimadas para a linha neutra.	44
Tabela 4 - Análise esclerométrica da viga 1.	45
Tabela 5 - Análise esclerométrica da viga 2.	46
Tabela 6 - Análise esclerométrica da viga 3.	46
Tabela 7 - Análise esclerométrica do pilar 1.	47
Tabela 8 - Análise esclerométrica do pilar 2.	47
Tabela 9 - Análise esclerométrica do pilar 3.	48
Tabela 10 - Análise ultrassônica da viga 1.	49
Tabela 11 - Análise ultrassônica da viga 2.	50
Tabela 12 - Análise ultrassônica da viga 3.	50
Tabela 13 - Análise ultrassônica do pilar 1.	50
Tabela 14 - Análise ultrassônica do pilar 2.	51
Tabela 15 - Análise ultrassônica do pilar 3.	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Justificativa.....	14
1.2	Objetivo.....	14
1.2.1	<i>Objetivos específicos</i>	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	Concreto armado	16
2.2	Necessidade de monitoramento	16
2.3	Ensaio não destrutivo	17
2.3.1	<i>Ultrassom</i>.....	19
2.3.1.1	Fatores que influenciam os resultados	22
2.3.2	<i>Esclerometria</i>	23
2.3.2.1	Fatores que influenciam os resultados	27
2.3.2.2	Método de ensaio segundo a NBR 7584 (ABNT, 2012)	29
2.4	Análise estrutural.....	30
3	METODOLOGIA.....	32
3.1	Ensaio laboratorial	32
3.2	Ensaio em campo.....	34
3.2.1	<i>Ensaio esclerométrico</i>.....	36
3.2.2	<i>Ensaio ultrassônico</i>.....	38
4	RESULTADOS	40
4.1	Ensaio laboratorial	41
4.2	Ensaio em campo	43
4.2.1	<i>Ensaio esclerométrico</i>.....	45
4.2.2	<i>Ensaio ultrassônico</i>.....	49
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
	REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

Segundo Medeiros (2007), em razão do desenvolvimento econômico acelerado, nas últimas décadas, o concreto tem sido muito utilizado em construções de pequeno, médio e grande porte. Para Dias, Silva e Jacques (2017), o concreto é um dos materiais mais utilizados no mundo, já que, para que ocorra o desenvolvimento de um país, faz-se necessário um largo investimento em infraestrutura urbana.

Características, como baixo custo, resistência à água, facilidade na execução de peças estruturais e disponibilidade em larga escala, colaboram para que o concreto seja o material mais utilizado na construção civil (CÂMARA, 2006).

Apesar de todo o avanço e surgimento de novas construções, observou-se a necessidade de monitoramento das construções já existentes, principalmente, aquelas que já estão se aproximando do fim de sua vida útil de projeto, para que tais estruturas continuem servindo a seus usuários com conforto e segurança (CHIES, 2014).

Segundo Medeiros (2007), com a necessidade de monitoramento das estruturas de concreto, em razão da ocorrência de fissuras, rachaduras, espaços vazios, falha na concretagem, entre outros, surge então a necessidade da utilização de ensaios que possibilitem a estimativa da resistência do concreto. Esses ensaios podem ser destrutivos, parcialmente destrutivos e não destrutivos.

- Ensaios destrutivos: são aqueles que danificam a integridade da peça estrutural, como a extração de corpos de prova, ensaio esse, que além de danificar o elemento estrutural, é bastante oneroso e restringe a retirada de amostra para não comprometer a estabilidade da estrutura.
- Ensaios parcialmente destrutivos: são aqueles que danificam apenas superficialmente a peça, causando prejuízo estético.
- Ensaios não destrutivos: verificam as características do elemento estrutural sem provocar danos à estrutura.

De acordo com Chies (2014), por apresentar bons resultados tanto em laboratório como em campo, a aplicação de ensaios não destrutivos se mostra uma excelente alternativa, no monitoramento do estado das estruturas, por estimativa de resistência à compressão, que serve como indicativo, a fim de avaliar a qualidade e homogeneidade do concreto.

Para Spíndola (2017), os ensaios não destrutivos, além da praticidade e de não comprometer o estado da estrutura, são técnicas viáveis economicamente e permitem a

avaliação do elemento em sua fase construtiva e durante sua vida útil. Ainda, segundo o autor, dentre os ensaios não destrutivos, como esclerometria, penetração de pinos, método da maturidade e ultrassom, os mais difundidos atualmente no cenário brasileiro são o ensaio esclerométrico e o ensaio ultrassônico.

O método do esclerômetro mensura a dureza superficial do concreto e consiste em submeter à superfície do elemento estrutural um impacto de forma padronizada, por meio de uma massa afixada em um êmbolo, de modo a se obter o valor do índice esclerométrico (CÂMARA, 2006).

Segundo Spíndola (2017), o ensaio de esclerometria é o mais difundido por sua praticidade e custo, porém, assim como os outros métodos, seus resultados podem ser afetados por alguns fatores, por isso, segundo a norma NBR 7584 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2012), o ensaio esclerométrico não deve ser utilizado em substituição a outros métodos e, sim, como um complemento.

Assim como o ensaio esclerométrico, a técnica de ondas de ultrassom, segundo Medeiros (2007), tem se mostrado suficientemente eficaz, na avaliação da homogeneidade do concreto, bem como na detecção de fendas, trincas e fissuras e sua profundidade.

De acordo com Carvalho *et al.* (2017), o ensaio não destrutivo, método ultrassônico, além de avaliar a homogeneidade do concreto e detectar os defeitos e discontinuidades, verifica também a compacidade, por meio da análise da velocidade da onda, no interior do elemento estrutural. Verifica-se que quanto maior sua velocidade, maior é a qualidade do concreto analisado.

Soeiro *et al.* (2018) definem:

O ensaio de ultrassom é um método de avaliação qualitativa do concreto, utilizado para determinar a velocidade de propagação de ondas longitudinais, por meio de pulsos ultrassônicos, através de um elemento estrutural de concreto, tendo como principais aplicações: analisar a homogeneidade do concreto, detectar falhas internas de concretagem, bem como, profundidade de fissuras e outras anomalias e monitoração de variações do concreto, decorrentes do meio de agressividade em que está inserido a estrutura.

A NBR 7584 (ABNT, 2012) e a NBR 8802 (ABNT, 2019) apresentam alguns fatores que podem interferir, no desempenho de seus respectivos ensaios, como tipo de cimento, tipo de agregado, tipos de superfície, condições de umidade da superfície, carbonatação, idade, operação dos aparelhos, massa específica, esbeltez do elemento estrutural, entre outros.

No presente trabalho, será analisado o desempenho do esclerômetro e do ultrassom, nas regiões sob esforços de compressão e tração dos elementos estruturais, de modo a verificar a influência desses tipos de solicitações nos dados obtidos pelo aparelho.

1.1 Justificativa

Com o crescimento populacional e, em consequência, o aumento da demanda de área a ser construída, surgiu a necessidade de estudos relacionados às restaurações e reparos das edificações existentes. Para esses casos, o uso de ensaios não destrutivos, para a análise da resistência mecânica e a qualidade do concreto, tem sido comumente empregado, em diversos países, pelas vantagens econômicas e técnicas, como praticidades e tempo reduzido.

O ensaio esclerométrico e o ensaio de ultrassom são dois dos ensaios não destrutivos que se destacam por apresentarem diversas vantagens se comparados a outros métodos.

No entanto a NBR 7584 (ABNT, 2012) e a NBR 8802 (ABNT, 2019) dispõem alguns fatores que podem influenciar, nos resultados do método, como a umidade da peça estrutural, a maturidade, as irregularidades da superfície analisada, entre outras.

Tendo em vista a necessidade de estudos relacionados às técnicas mencionadas, o presente trabalho visa contribuir à qualidade dos resultados, analisando mais duas variáveis, que, assim como as outras citadas, podem influenciar no produto do ensaio, que são os esforços de compressão e tração no elemento estrutural.

1.2 Objetivo

Analisar a influência dos tipos de solicitações atuantes, em elementos estruturais, nos resultados dos ensaios de esclerometria e ultrassom.

1.2.1 Objetivos específicos

- Conhecer a técnica de esclerometria e ultrassom.
- Apresentar suas vantagens e desvantagens.
- Levantar dados laboratoriais e de campo.
- Comparar os resultados obtidos em corpos de prova, variando a carga de compressão axial no ensaio esclerométrico.

- Comparar os resultados obtidos para as seções comprimidas e tracionadas de elementos estruturais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Concreto Armado

Desde os primórdios, materiais como pedra, madeira e ligas metálicas, segundo Clímaco (2013), foram largamente empregados na construção civil. Para tanto, era necessário que tais materiais apresentassem alta resistência, boa durabilidade e que fossem disponíveis conforme a demanda.

Com o passar dos anos, em decorrência do desenvolvimento de novas ideias, surgiram, então, os materiais aglomerantes, que, em contato com água, tornavam-se rígidos. A fim de aumentar o volume, reduzir custos e proporcionar estabilidade físico-química, eram adicionados a esses aglomerantes materiais inertes, como pedras, pedregulhos e areia, formando assim o concreto (CLÍMACO, 2013).

Com base em experiências e estudos, observou-se a necessidade de adicionar barras de aço ao concreto, pelo fato de que o concreto é um material de alta resistência à compressão, ao mesmo tempo que apresenta baixa resistência à tração. Com a união de ambos os componentes, concreto e armadura, surgiu o denominado concreto armado (BASTOS, 2006).

2.2 Necessidade de Monitoramento

No Brasil, o concreto armado é o material mais empregado, nas estruturas das edificações, segundo Câmara (2006). Esse fato se deve à viabilidade econômica, sua resistência à água, facilidade de execução e disponibilidade em grande escala de seus componentes em qualquer parte do mundo.

Em consequência de diversos fatores, como falta de qualidade na execução, qualidade de materiais e manutenção regular, os elementos estruturais, em concreto armado, podem apresentar trincas, fissuras, deslocamentos, corrosão, fendas, entre outros. Como método de análise das condições do elemento, são utilizados ensaios destrutivos, parcialmente destrutivos e não destrutivos (FRANSOZOI; FERRARI, 2018).

Em casos de utilização de métodos destrutivos, usando, como exemplo, a retirada de testemunhos do elemento estrutural, o custo, a dificuldade, bem como a impossibilidade de extração de vários pontos para teste, são problemas corriqueiros e podem gerar resultados errôneos (SPÍNDOLA, 2017).

Comumente é realizada, no momento da concretagem, a retirada de amostra, para a verificação da resistência do concreto, após sua cura. No entanto, se isso não ocorre ou a edificação já está no fim de seu ciclo de vida útil, faz-se necessária a retirada de testemunhos, atividade realizada em ensaios destrutivos que podem provocar danos à edificação (CARVALHO *et al.*, 2017). Por esse motivo, estudos buscam desenvolver aparelhos para ensaios que quantificam a resistência do elemento estrutural, sem lhe gerar danos, os chamados ensaios não destrutivos.

2.3 Ensaios não destrutivos

Para a estrutura de concreto atingir sua vida útil de projeto, é necessária a manutenção suficiente e sua falta pode provocar manifestações patológicas graves e custo elevado para a sua reabilitação (REGINATO; LORENZI; LORENZI, 2017). Ainda, segundo os autores, para que a estrutura atinja seu período de vida útil, é imprescindível o uso de material e mão de obra de qualidade, bem como o monitoramento e controle por ensaios não destrutivos.

De acordo com Câmara (2006), desde a década de 60 a busca por métodos de ensaios não destrutivos tem aumentado, significativamente, em virtude de sinais de deterioração das estruturas.

Fransozoi e Ferrari (2018) asseveram que os ensaios não destrutivos têm como principal vantagem a avaliação de um elemento estrutural sem lhe gerar danos. Câmara (2006) assinala:

- velocidade de execução;
- baixo custo;
- imediata disponibilidade de resultados;
- acesso à maior quantidade de ensaios;
- possibilidade de avaliação da homogeneidade da estrutura de concreto;
- avaliação de sua resistência, em caso de aumento de carga, numa estrutura para reforço;
- possibilidade de avaliação durante a execução e vida útil da estrutura.

Spíndola (2017) enumera algumas situações em que o uso de ensaios não destrutivos é indicado:

- monitoramento da qualidade de elementos estruturais;
- monitoramento da qualidade do material fornecido;

- monitoramento da qualidade da mão de obra nos processos de execução do elemento (mistura, lançamento, adensamento, compactação ou cura do concreto);
- monitoramento do progresso da resistência do concreto quanto ao tempo de cura ou remoção de escoramento;
- descobertas de fissuras, aberturas ou outros defeitos no interior do elemento;
- definição da homogeneidade do concreto;
- definição da posição das armaduras;
- reforço de confiabilidade dos resultados obtidos nos ensaios destrutivos;
- avaliação da vida útil do elemento.

Para Câmara (2006), os métodos de ensaios não destrutivos mais utilizados são a esclerometria e o ultrassom, mas também são exemplos de ensaios o método de penetração de pinos e o método da maturidade.

O método de penetração de pinos, de acordo com Câmara (2006), avalia a resistência do concreto, em decorrência da profundidade de penetração do pino ou parafuso que é disparado por uma pistola, gerando apenas danos estéticos ao elemento de fácil correção.

Já o método da maturidade, segundo Evangelista (2002), ocorre, por avaliação da temperatura do concreto, por meio de medidores de maturidade, admitindo-se que concretos de mesma maturidade possuem a mesma resistência.

O método de ultrassom, segundo Carvalho *et al.* (2017), avalia a integridade da peça estrutural, mediante a detecção de trincas, rachaduras, fendas, entre outras. O método se dá, por meio da análise das velocidades da onda ultrassônica, visto que quanto mais rápido sua velocidade, melhor a qualidade do concreto.

O método da esclerometria, segundo Evangelista (2002), consiste em aplicar uma força à superfície do elemento estrutural, por meio de uma pistola que atira uma bola de aço fixa, medindo, assim, o valor do reflexo do golpe formando o índice esclerométrico (I.E.).

Dentre os ensaios não destrutivos, o método de esclerometria é o mais utilizado pela sua praticidade. No entanto, apesar desses ensaios apresentarem informações, em relação às propriedades do concreto, a confiabilidade varia de acordo com a experiência do profissional que realiza os testes (CARVALHO *et al.*, 2017).

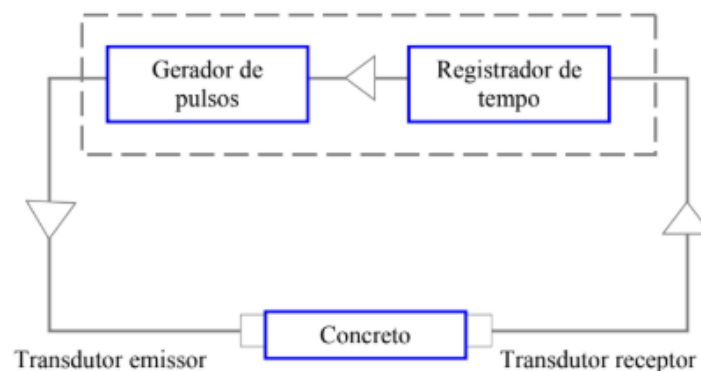
Os métodos de ultrassom e esclerometria, serão melhor explicados no decorrer deste trabalho.

2.3.1 Ultrassom

Segundo a NBR 8802 (ABNT, 2019), o método de ensaio não destrutivo ultrassônico consiste, basicamente, em determinar a velocidade de propagação de ondas, obtidas por pulsos ultrassônicos, no interior de um elemento de concreto. Assim sendo, é possível avaliar a homogeneidade do concreto, detectar falhas de concretagem, bem como realizar o acompanhamento de variações do concreto durante seu período de vida útil.

Medeiros (2007) assevera que o método tratado permite a avaliação da qualidade do concreto, por meio da determinação da velocidade de propagação de ondas longitudinais, que surgem por pulsos ultrassônicos inferidos no interior de um elemento estrutural. A Figura 1 representa o ciclo formado no processo de geração e registro do pulso ultrassônico na peça de concreto.

Figura 1 - Princípio de Funcionamento de Ensaio de velocidade de pulso ultrassônico.



Fonte: CHIES, 2014.

Segundo Carvalho *et al.* (2017), quanto maior a sua velocidade, melhor a qualidade do concreto. Tal regra se dá pelo fato de que, se o concreto for bem produzido, a onda não precisará se desviar com a presença de vazios, no interior do elemento estrutural, provocando, assim, um processo de transmissão e recepção de ondas realizados, em um tempo muito menor, se comparado a um concreto de baixa qualidade.

De acordo com Quoos (2016), o ensaio de propagação de ondas pode ser realizado com equipamentos formados por circuitos elétricos que suportam frequências entre 20 kHz e 150 kHz. Para o autor, como a velocidade do processo de transmissão e recepção de ondas dependem da propriedade elástica do material, do módulo de elasticidade e do coeficiente de

Poisson, é possível estimar, além da homogeneidade e qualidade do concreto, sua resistência mecânica. A Figura 2 representa o aparelho de ultrassom utilizado neste trabalho.

Figura 2 - Aparelho de ultrassom.



Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

O aparelho de ultrassom, segundo Chies (2014), deve possuir um transdutor/emissor e um transdutor/receptor, que, ao ser aplicado o pulso ultrassônico, em uma peça de concreto, o emissor propaga a onda, e o receptor recebe. Com os dados obtidos no visor do aparelho, é possível encontrar a velocidade média, a partir da (Equação 1, a seguir.

$$V = \frac{L}{t} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que as variáveis representam os seguintes dados:

V : velocidade de propagação dos pulsos (m/s).

L : distância entre os transdutores (m).

t : tempo de percurso das ondas, dado encontrado no visor do aparelho (s).

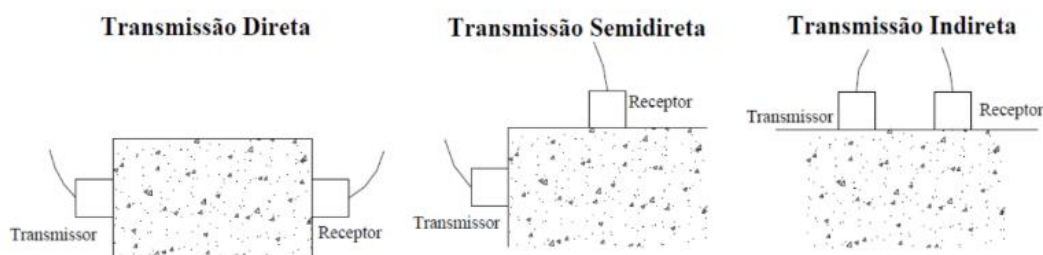
Segundo a NBR 8802 (ABNT, 2019), o ensaio, utilizando o método de ultrassom, pode ser feito de três maneiras distintas, sendo elas:

- Transmissão direta: a execução desse método ocorre, quando os transdutores são posicionados em faces opostas, conforme Figura 3. Essa disposição dos

transdutores possibilita maior intensidade na recepção das ondas propagadas. De acordo com Medeiros (2007), “este método é o mais satisfatório, pois é neste que a máxima energia é transmitida”.

- Transmissão indireta: é utilizada em condições de difícil acesso da outra face do elemento estrutural. Fazendo-se uso do referido modo, os transdutores devem ser posicionados, em uma mesma reta e, em pontos equidistantes e estratégicos, conforme recomenda a norma. Medeiros (2007), ainda, complementa que a intensidade de recepção é consideravelmente menor, se comparada à transmissão direta, além da dificuldade e imprecisão do comprimento percorrido pelo pulso, podendo gerar erros na determinação da velocidade de propagação de ondas, portanto não é recomendado. O método, também, está representado na Figura 3.
- Transmissão semi-indireta: em eventual indisponibilidade de acesso à outra face do elemento estrutural e comprimento insuficiente da face acessível, a norma recomenda a utilização desse método, posicionando os transdutores em faces adjacentes, como mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Tipos de transmissões das ondas ultrassônicas na superfície do concreto.



Fonte: CÂMARA, 2006.

O ensaio de propagação de ondas ultrassônicas apresenta praticidade por ser portátil e de rápida execução, além de possuir a vantagem de analisar a peça como um todo, não apenas superficialmente, como é feito no ensaio de esclerometria, em que a camada carbonatada pode interferir nos resultados de estimativa da resistência do elemento estrutural (QUOOS, 2016).

Chies (2014) registra que a principal vantagem do ensaio de ultrassom é a possibilidade de representação verdadeira do concreto “in situ” se comparado aos ensaios mecânicos em amostras de controle.

Dentre as suas desvantagens, Correia (2014) apresenta a possibilidade de influência por diversos fatores, que precisam ser considerados, a fim de se concluir o verdadeiro estado do elemento estrutural.

2.3.1.1 Fatores que influenciam os resultados

Diversos autores destacam, em suas pesquisas e trabalhos, alguns fatores que podem influenciar nos resultados do ensaio não destrutivo de propagação de ondas e mostram as possíveis causas:

- Tipo, composição geológica, tamanho e granulometria do agregado graúdo: para Prado (2006), o agregado graúdo influencia significativamente no resultado do ensaio ultrassônico, sendo que quanto maior a dimensão do agregado menor a resistência à compressão para certo nível de velocidade ultrassônica.
- Tipo de cimento: segundo Evangelista (2002), o tipo de cimento não altera significativamente os resultados do ensaio ultrassônico. Medeiros (2007) afirma que a taxa de hidratação do material aglomerante depende do tipo de cimento a ser utilizado, a qual influencia diretamente nos resultados do ultrassom, considerando que quanto maior o grau de hidratação, maior o módulo de elasticidade e, por conseguinte, maior a velocidade.
- Uso de aditivos: segundo Medeiros (2007), a utilização de aditivos, no momento da concretagem do elemento estrutural, pode influenciar nas características da peça, como em sua resistência, durabilidade, módulo de elasticidade, porosidade, densidade, entre outras; em consequência, o produto final, com suas características alteradas pelo uso de aditivos, gera também alteração dos resultados do ensaio de ultrassom, porque tais características estão diretamente ligadas à velocidade de propagação de onda ultrassônica no interior do elemento.
- Relação água/cimento: para Prado (2006), quanto maior a relação água/cimento maior a porosidade no interior do concreto, por isso, a onda ultrassônica levará maior tempo para se propagar no interior da peça.
- Grau de compactação: a vibração bem executada é o principal fator, para que a concretagem seja considerada de boa qualidade, do mesmo modo que, quando o concreto é vibrado de forma inadequada, há uma redução significativa do módulo de elasticidade, o que interfere na velocidade de propagação de onda, diminuindo-a significativamente (MEDEIROS, 2007).

- Condições de cura: de acordo com Lorenzi *et al.* (2007), o tipo de cura influencia diretamente a oscilação de hidratação da peça estrutural e também a perda de água, o que afeta significativamente a porosidade a qual está intimamente relacionada à velocidade de propagação de ondas.
- Condições de superfície: assim como a maioria dos outros ensaios não destrutivos, para o ensaio ultrassônico, a superfície ensaiada deve estar livre de grandes imperfeições ou rugosidades. Para isso, é necessária a realização de polimento ou aplicação de uma fina camada de resina tipo epóxi ou de uma argamassa de pega rápida (MEDEIROS, 2007).
- Presença de armadura: de acordo com a NBR 8802 (ABNT, 2019), a velocidade de propagação de ondas é maior no aço que no concreto, portanto deve-se evitar ensaiar em pontos em que haja elevada concentração de armadura.
- Nível de tensão a que o material está submetido: para Bungey (1989 *apud* MEDEIROS, 2007), apenas tensões muito altas, quanto à tensão de ruptura da peça, provocam influência nos resultados do ensaio de ultrassom; tensões acima de 50% da tensão de ruptura do elemento podem acarretar redução da velocidade em decorrência da microfissuração em seu interior.

Segundo a NBR 8802 (ABNT, 2019), outros fatores, como a idade, temperatura e condições de umidade do concreto podem alterar expressivamente os resultados do ensaio estudado.

2.3.2 Esclerometria

A NBR 7584 (ABNT, 2012), que trata sobre o concreto endurecido, define ensaio esclerométrico como “método não destrutivo que mede a dureza superficial do concreto, fornecendo elementos para a avaliação da qualidade do concreto endurecido”.

A norma dispõe sobre as principais situações em que o método esclerométrico deve ser aplicado:

- avaliação da regularidade da dureza superficial do concreto;
- comparação de concretos com um referencial nos casos de:
 - comparar a qualidade do elemento de concreto;
 - controlar a qualidade de peças pré-moldadas.
- aproximação da resistência à compressão do elemento estrutural.

De acordo com Bungey (1989 *apud* EVANGELISTA, 2002), em 1930, já havia iniciativas para estimar a dureza superficial do concreto. A princípio, foram empregados ensaios de medição do retorno de uma massa presa, em um pêndulo ou lançada por uma pistola, considerando que a dureza superficial do concreto dependia do retorno da massa elástica.

O ensaio esclerométrico foi criado, em 1948, pelo engenheiro suíço Ernst Schmidt e, atualmente, é o método não destrutivo mais utilizado, para estimar as características do concreto, pela sua simplicidade, praticidade e baixo custo (SPÍNDOLA, 2017).

A Figura 4 mostra o aparelho esclerométrico utilizado neste trabalho, sendo que possui as seguintes especificações técnicas:

- Faixas de medição: 10 a 60 Mpa.
- Energia de impacto: 0,225 kgf.m.
- Raio da ponta esférica: 25 mm.
- Rigidez da mola de retração: 785,0 N/m.
- Comprimento da mola: 61,5 mm.
- Dimensões: 54x280 mm.
- Peso: 1 Kg.

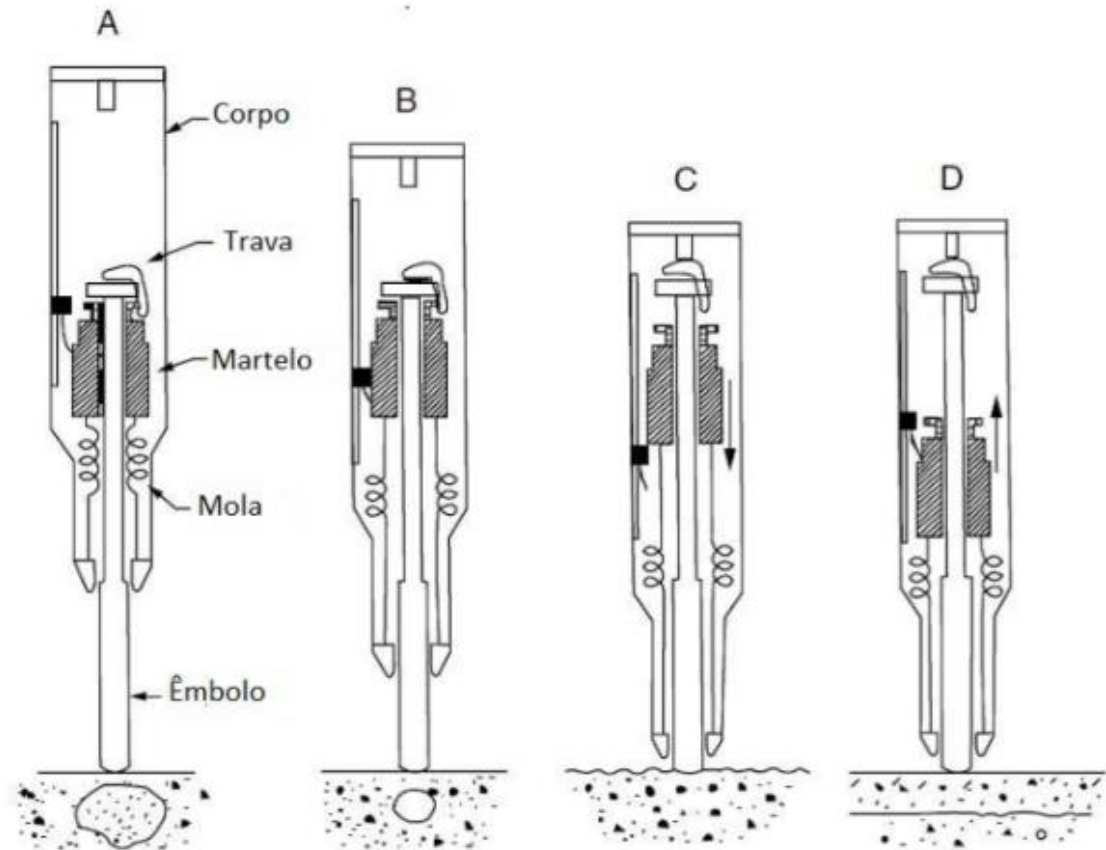
Figura 4 - Esclerômetro de reflexão.



Fonte: Arquivo Pessoal, 2020.

O método não destrutivo, por meio do ensaio esclerométrico, ocorre pela produção de impactos distribuídos de forma padronizada, em uma superfície de concreto, fazendo uso de uma determinada massa com determinada energia, medindo-se, assim, o valor do retorno da massa, o ricochete (EVANGELISTA, 2002). A Figura 5 apresenta o esquema do ensaio tratado.

Figura 5 - Esquema do Esclerômetro de Schmidt.



Fonte: SPÍNDOLA, 2017.

De acordo com a NBR 7584 (ABNT, 2012), a deformação permanente da superfície ensaiada é inversamente proporcional à sua dureza, por essa razão, quanto maior a dureza, menor a parcela de energia que se converte em deformação permanente e, logo maior o ricochete.

Ainda, segundo Evangelista (2002), o ricochete varia, conforme o valor da energia cinética antes do impacto, e a quantidade de energia absorvida, durante o mesmo, sendo que parte do esforço é absorvido, no atrito do equipamento e parte no contato entre a massa afixada e o concreto.

Segundo Câmara (2006), a resistência da peça de concreto só é estimada pelas curvas de calibração, que relaciona o índice esclerométrico (I.E.) e a resistência à compressão do concreto. Para Evangelista (2002), não há uma conexão simples entre os dois fatores, visto que a quantidade de cimento, a natureza do agregado, a maturidade e o teor de umidade do concreto podem influenciar a relação.

Spíndola (2017) compara o ricochete com a teoria da propagação de ondas, relacionando a força que o êmbolo atinge à superfície do concreto (F_i), gerando, assim, uma onda de compressão e a força de reação, ao produzir uma onda de compressão inversa (F_r) (Equação 2).

$$A = \frac{F_i}{F_r} \quad (\text{Equação 2})$$

Para o autor, a relação de amplitude da onda (A) é simétrica ao índice esclerométrico (I.E.), o qual pode ser relacionado à resistência e à compressão do concreto.

Para a realização do ensaio, faz-se necessária a identificação de superfícies lisas ou com poucas rugosidades pela inspeção visual. Então, o esclerômetro deve ser pressionado contra a superfície do elemento de concreto até que a “bola” afixada seja lançada com o auxílio da mola do aparelho, provocando assim o impacto e o ricochete esperados (SPÍNDOLA, 2017). Segundo Rauber (2015), após a escolha da superfície a ser ensaiada, o esclerômetro deve ser colocado, em ângulos de 90° ou 45°, conforme especificações do aparelho. Quando o esclerômetro não for usado nos ângulos recomendados, Evangelista (2002) sugere que seja realizada uma correção pela influência da gravidade sobre a força da mola do aparelho.

Conforme tratado nos tópicos anteriores, o ensaio esclerométrico é o mais utilizado atualmente, por suas diversas vantagens, sendo a principal, praticidade, porém, segundo Câmara (2006), o método ostenta a desvantagem de analisar apenas de modo superficial a resistência do elemento estrutural, aproximadamente 20 mm da superfície, de acordo com a NBR 7584 (ABNT, 2012). Desta forma, a norma sugere que o ensaio seja repetido, em uma grande quantidade de pontos, considerando também outros métodos de verificação.

A NBR 7584 (ABNT, 2012) recomenda que o ensaio seja executado, em superfície limpa e devidamente lixada, realizando 16 golpes, com espaçamentos mínimos de 3 cm, podendo ser descartado até um terço dos golpes que apresentarem os valores do índice esclerométrico excessivamente discrepantes da maioria.

Nos casos de leitura com o índice esclerométrico excessivo, pode-se afirmar que o aparelho atingiu algum agregado gráudo, presente no concreto, ao mesmo tempo que, se a

leitura do índice esclerométrico apresentar-se excessivamente baixa, se comparada aos outros pontos, entende-se que há presença de vazios ou bolhas de ar na massa. O restante dos pontos que apresentarem certa semelhança de índice são utilizados para a obtenção do I.E médio (RAUBER, 2015).

A NBR 7584 (ABNT, 2012) dispõe de alguns dos variados tipos de esclerômetros, sendo que devem ser escolhidos em função das características do elemento estrutural de concreto e do grau de precisão desejado:

- com energia de percussão de 30 N.m, recomendado para obras com grande volume de concreto;
- com energia de percussão de 2,25 N.m, com ou sem fita registradora automática, recomendado para obras comuns;
- com energia de percussão de 0,9 N.m, com ou sem aumento da área da calota esférica da ponta da haste, recomendado para concretos de baixa resistência;
- com energia de percussão de 0,75 N.m, com ou sem fita registradora automática, tipo mais adequado para peças de concreto.

2.3.2.1 Fatores que influenciam os resultados

Conforme já tratado anteriormente, a eficiência e confiabilidade dos ensaios não destrutivos dependem da experiência profissional de quem aplica o método (CARVALHO *et al.*, 2017). Com a esclerometria não é diferente, assim como em outros métodos de ensaios não destrutivos. Os resultados do ensaio esclerométrico, segundo Spíndola (2017), podem ser influenciados por diversos fatores, como a uniformidade da superfície, as propriedades geométricas da seção, a maturidade do concreto, a umidade, o tipo de agregado, o tipo de cimento, o tipo de moldagem, entre outros.

Focaoraru (1984 *apud* FERREIRA, 2011) relata que, para a curva de calibração, utilizada na estimativa da resistência do concreto, a correlação entre a resistência à compressão e o índice esclerométrico é única em cada caso, pois depende de diversos fatores.

A NBR 7584 (ABNT, 2012) especifica quais fatores influenciam no resultado do ensaio de dureza superficial, por meio do esclerômetro de reflexão; expõe, também, a explicação de tal interferência e as recomendações necessárias:

- tipo de cimento: é preciso considerar novas correlações todas as vezes em que o tipo de cimento for alterado;

- tipo de agregado: o tipo de agregado, comumente, não altera as características do concreto, no entanto podem apresentar variação significativa no índice esclerométrico;
- tipos de superfície: tal fator é um dos mais determinantes nos resultados de índices esclerométricos;
- condições de umidade da superfície: podem acarretar diminuição significativa à estimativa da resistência do concreto até 20% inferior ao resultado indicado para o concreto seco;
- carbonatação: pode provocar aumento significativo à estimativa da resistência do concreto, por conseguinte, faz-se necessária a adoção de coeficientes corretivos, a fim de reduzir a ação da carbonatação nos resultados do ensaio;
- idade: a diferença de cura, carbonatação, entre outros, distorce o resultado da correlação, se comparado a um concreto em condições normalizadas, logo devem ser considerados fatores específicos, em cada caso, fazendo uso de coeficientes de correção quando for necessário;
- operação do esclerômetro: deve-se atentar às pressões impressas na operação, as quais devem ser uniformes, por isso, o esclerômetro deve ser manuseado por um profissional competente.

A norma também recomenda outros fatores que podem interferir na estimativa da resistência superficial do elemento estrutural: massa específica do concreto, esbeltez da peça ensaiada, falhas no concreto, estado de tensões, temperatura do esclerômetro e do concreto, consumo de cimento, tipo de cura, superfícies calcinadas por altas temperaturas (incêndio).

Assim como a NBR 7584 (ABNT, 2012), Silva, Ferreira e Dias (2013) consideram a umidade da superfície um fator determinante no resultado do índice esclerométrico. O autor explica que a superfície úmida provoca um aumento na capacidade de absorção da energia do impacto provocado pelo aparelho.

Além desses fatores que influenciam no resultado da estimativa da resistência do concreto, observou-se a necessidade de analisar se o fato de a peça estrutural estar sob solicitações de esforços, tração e compressão, interfere no resultado do índice esclerométrico, o que será tratado no decorrer do presente trabalho.

2.3.2.2 Método de ensaio segundo a NBR 7584 (ABNT, 2012)

Estão dispostas na norma algumas recomendações quanto à realização do ensaio esclerométrico:

a) sobre a superfície

- as superfícies a serem experimentadas devem estar secas, limpas e preferivelmente planas, pois condições diferentes dessas podem fornecer resultados errôneos, assim como as superfícies carbonatada;

b) sobre a área de ensaio

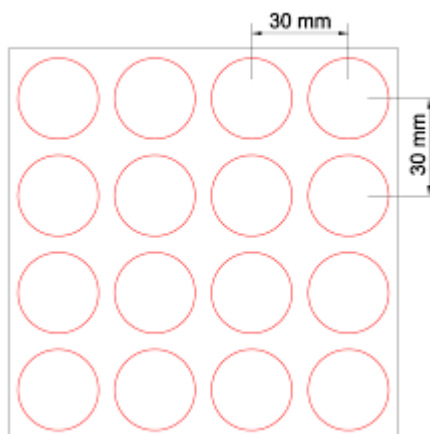
- as áreas de ensaio devem ser devidamente lixadas, e todo o pó superficial deve ser removido a seco;
- estar localizada de preferência nas faces verticais do elemento estrutural;
- estar livre de regiões visivelmente segregadas, exsudadas ou com alta concentração de armaduras, bem como estar devidamente afastada de cantos ou arestas;
- estar afastada, no mínimo, 50 mm dos cantos e arestas do elemento;
- estar compreendida entre 8000 mm² e 40000 mm², aproximadamente, 90x90 (mm) e 20x20 (mm), respectivamente;
- encontrar-se uniformemente distribuída pela região do elemento estrutural em análise;

c) sobre o Impacto

- é recomendado que sejam efetuados 16 impactos, em cada área de ensaio, devidamente afastados por, no mínimo, 30 mm, não podendo ser efetuado mais de um impacto sobre o mesmo ponto.

A Figura 6 representa um reticulado identificador de área, que, de preferência, deve ser desenhado na área ensaiada.

Figura 6 - Área ensaiada.



Fonte: NASCIMENTO, NASCIMENTO e LOPES, 2018.

d) sobre a aplicação do esclerômetro

A norma especifica as seguintes instruções de operação:

- o aparelho esclerométrico deve ser sempre manuseado com ângulo de 90° em relação à superfície;
- o aparelho deve ser pressionado contra o ponto a ser ensaiado. O martelo deverá ser liberado antes que a barra desapareça completamente no corpo do esclerômetro;
- a liberação do martelo deve ser efetuada pelo aumento gradativo de pressão no corpo do aparelho.
- após o impacto, o índice esclerométrico pode ser consultado, no ponteiro indicativo, localizado na escala do esclerômetro.
- não sendo possível a aplicação do aparelho na posição recomendada, o índice esclerométrico deve ser corrigido com os coeficientes fornecidos pelo fabricante do esclerômetro.

2.4 Análise Estrutural

O projeto estrutural de um edifício possui incontestável relevância para segurança e conforto dos usuários. Para sua execução, a princípio, é necessário definir as cargas solicitantes da estrutura, como peso próprio, carga de vento e sobrecarga, em que cada uma das partes da edificação fica encarregada de transmitir os esforços até que enfim chegue ao solo. As lajes transmitem as cargas para as vigas, as quais transmitem aos pilares e os pilares transmitem todas as cargas à fundação, que, por fim, distribui ao solo (FONTES, 2005).

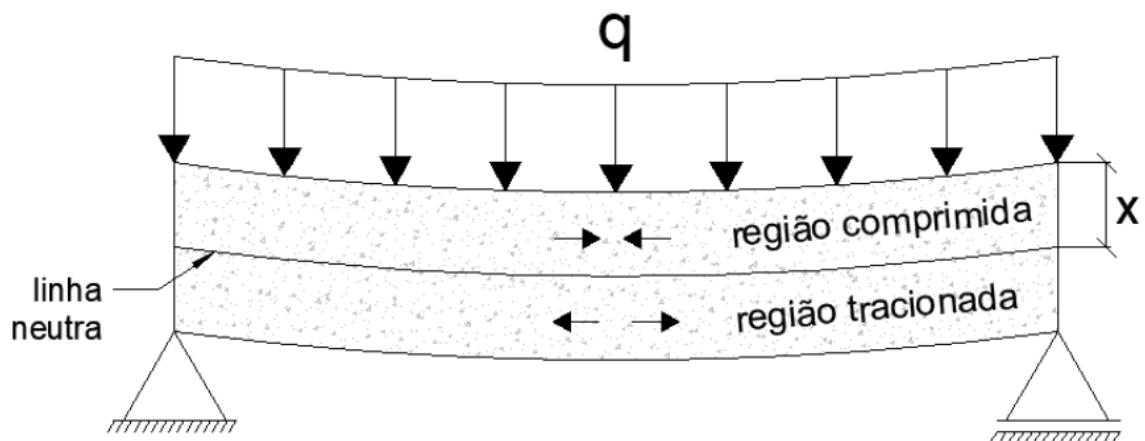
De acordo com Miotto (2002), é importante conhecer sobre o comportamento do sistema estrutural, visto que está diretamente ligado ao comportamento das ligações, responsáveis pela redistribuição dos esforços solicitantes.

As cargas, que atuam em um elemento estrutural, geram nele tensões normais e tensões cisalhantes ou tangenciais, perpendiculares e paralelos à seção, respectivamente (HALLACK *et al.*, 2013). Ainda, segundo os autores, esse mesmo elemento estrutural está sujeito a outros esforços, como ao momento fletores.

Com as cargas atuantes na estrutura, é possível conhecer os esforços normais, cisalhantes e o momento fletores, que, em geral, são colocados em forma de diagrama, a fim de ser analisado qual esforço atua em cada seção do elemento.

Em uma mesma seção da peça de concreto, pode haver mais de uma solicitação, a linha neutra, segundo Moura (2019), que separa a região comprimida da região tracionada conforme é mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Linha Neutra em viga.



Fonte: MOURA, 2019.

3 METODOLOGIA

A pesquisa tratada neste documento se fez, por meio de revisão bibliográfica e estudo em laboratório, por corpos de prova, bem como estudo de campo, analisando vigas com o auxílio de suas análises estruturais.

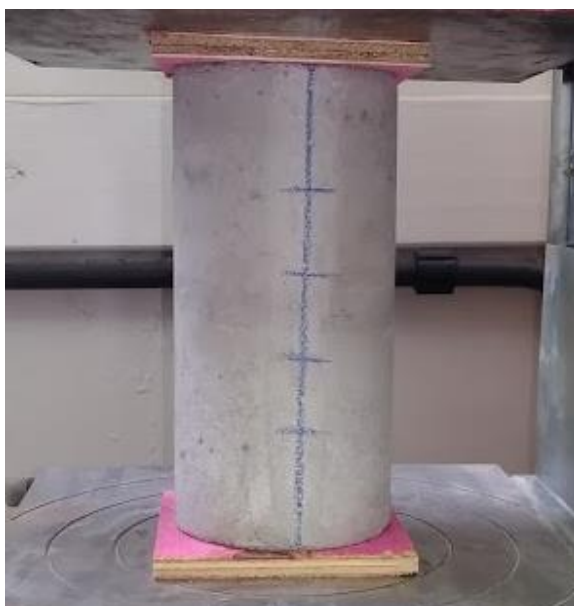
3.1 Ensaio Laboratorial

Para a realização do ensaio esclerométrico por meio da compressão axial, foram utilizados dois corpos de provas de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Para a concretagem, foram utilizadas areia média e brita 1, porém ressalta-se que a composição do traço, para este trabalho, é irrelevante, tendo em vista que o trabalho objetiva verificar a influência do tipo e intensidade da sollicitação e não da composição dos materiais. Portanto, para um mesmo corpo de prova, será possível obter dados variando a intensidade da carga.

Como a cura completa do concreto se dá aos 28 dias, os corpos de prova ficaram submersos em água até completar o prazo estabelecido.

Após a cura do concreto, mais especificamente aos 64 dias de idade, os corpos de prova foram lixados com uma pedra de carborundum, a fim de deixar a superfície experimentada livre de grandes imperfeições e irregularidades, e foram feitas as marcações dos pontos de ensaio. A Figura 8 representa os corpos de provas lixados e devidamente marcados, para o ensaio de compressão axial.

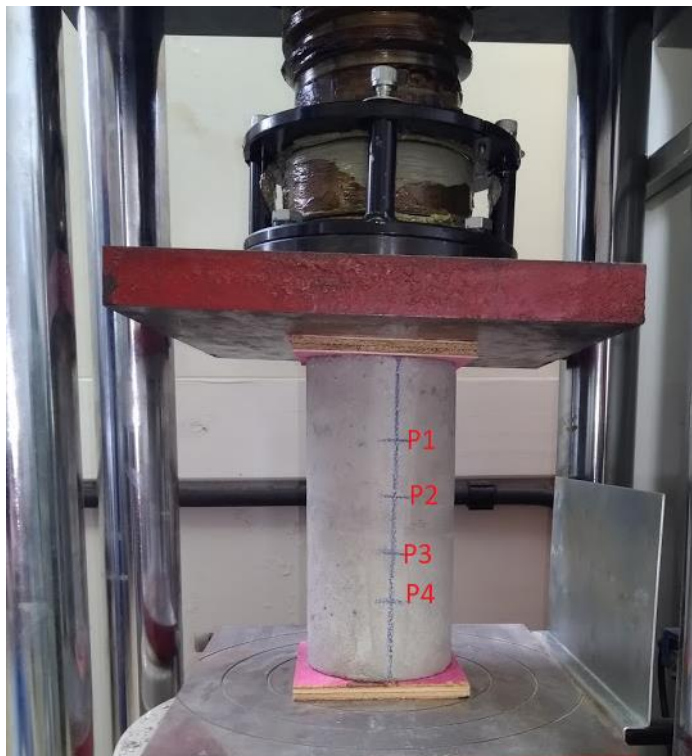
Figura 8 - Corpo de prova lixado e marcado para o ensaio de compressão axial.



Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

Os dois corpos de prova, destinados ao ensaio de compressão axial, foram colocados na prensa elétrica digital, de carga máxima 2000 kN, verticalmente, conforme é representado na Figura 9.

Figura 9 - Corpo de prova posicionado para o ensaio de compressão axial.



Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

De acordo com Pereira (2016), o uso da madeira compensada, em ensaios de compressão axial, possui bastante relevância, considerando o fato de que a madeira deforma com a aplicação da carga, sendo assim ocupa toda a irregularidade superficial, garantindo que a distribuição de carga axial seja igual por toda a face do elemento. Deste modo, foram utilizadas peças de madeirite de 12 cm x 12 cm x 1,5 cm.

Foram aplicadas cargas de 20 kN, 60 kN e 100 kN, de modo que, ao atingir as devidas forças, a máquina era pausada e, então, era realizado o ensaio esclerométrico, conforme é representado na Figura 10.

Figura 10 - Realização do ensaio esclerométrico, por meio da compressão axial.



Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

O ensaio esclerométrico foi realizado, em doze pontos, para cada corpo-de-prova, sendo que estes eram divididos em três grupos de quatro pontos cada e, para cada grupo, era feita a variação da carga aplicada, ou seja, quatro pontos para cada uma das cargas consideradas (20 kN, 60 kN e 100 kN). Não foi repetido o golpe em nenhum ponto e os pontos estavam devidamente espaçados, conforme recomendações da norma. Por conseguinte, eram anotados os valores do índice esclerométrico obtido em cada ponto e, em seguida, a carga de ruptura do corpo de prova.

3.2 Ensaaios em campo

Outra parcela da pesquisa foi realizada na obra de um sobrado, que pode ser visualizado na Figura 11, situado no bairro Pérola Negra 3, em Piumhi/MG.

Figura 11 - Obra ensaiada.



Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

Foram escolhidos seis elementos estruturais, sendo três vigas e três pilares, todos de mesmo material, de modo a obter o mínimo possível de variáveis que pudessem alterar o resultado dos ensaios.

Nos dois métodos ensaiados, esclerométrico e ultrassônico, foi necessário ter em mãos os diagramas de momentos fletores das vigas analisadas, a fim de analisar quais trechos estavam comprimidos e quais estavam tracionados e, por fim, calcular a linha neutra.

Para o cálculo da linha neutra, utilizou-se a (Equação 3).

$$X = 1,25 \cdot d \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{M_d}{0,425 \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \right)} \right) \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo:

X = altura da linha neutra;

d = altura útil da seção da viga;

M_d = momento fletor de cálculo;

b_w = base da viga;

f_{cd} = resistência de cálculo do concreto.

Com a impossibilidade de analisar a região comprimida em razão da altura da linha neutra, foi necessário analisar também a parte superior de três pilares, com o intuito de verificar a influência dos esforços de compressão na peça. A concretagem dos elementos estruturais do primeiro pavimento foi feita, utilizando o mesmo traço, para ser empregado o mesmo material

em todos eles. O concreto utilizado foi produzido, em central de concreto usinado, sendo seu lançamento realizado com o auxílio de bombas para concreto, portanto a influência dos agregados, cimento e relação água-cimento não influenciam significativamente os resultados aqui analisados.

3.2.1 Ensaio Esclerométrico

Inicialmente foi elaborado um gabarito com as medidas recomendadas pela NBR 7584 (ABNT, 2012), conforme representado na Figura 12, para facilitar o trabalho de demarcação das áreas a serem ensaiadas.

Figura 12 - Gabarito para demarcação da área a ser ensaiada.



Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

Então, após medir e localizar a seção de maior momento fletor, informação obtida pela análise do diagrama de Momento Fletor, a área a ser ensaiada foi devidamente lixada com a pedra de carborundum e limpa, para não deixar nenhum resíduo do processo de regularização da superfície. A Figura 13 representa a área lixada e formalmente demarcada, de acordo com as recomendações da NBR 7584 (ABNT, 2012).

Figura 13 - Viga 1 lixada e marcada para o ensaio esclerométrico.



Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

Por conseguinte, as vigas e os pilares puderam ser ensaiados. A Figura 14 representa o ensaio sendo realizado na Viga 1.

Figura 14 - Realização do ensaio esclerométrico na Viga 1.



Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

3.2.2 Ensaio Ultrassônico

Para o ensaio não destrutivo, utilizando o aparelho de ultrassom, foi utilizada a mesma marcação do ensaio esclerométrico, respeitando todas as recomendações da norma. A Figura 15 representa a localização dos pontos ensaiados pelo método ultrassônico.

Figura 15 - Localização dos pontos ensaiados no método ultrassônico.



Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

Foi realizado o método direto, em razão da possibilidade de acesso às duas faces do elemento estrutural, além de obter a vantagem de melhores resultados, segundo diversos autores.

Após a calibração do aparelho, os transdutores, já com a fina camada de acoplante, foram posicionados em faces opostas, em um mesmo alinhamento, para fazer a medição pelo método direto. Desta forma, foi possível obter e anotar o tempo gasto entre a emissão e a recepção da onda pelos transdutores. Para as vigas e pilares, o procedimento foi realizado em três pontos e, para cada ponto, foi realizado duas vezes. A Figura 16 representa a realização do ensaio de ultrassom, efetuado nas mesmas vigas do ensaio esclerométrico.

Figura 16 - Realização do ensaio ultrassônico na viga 2.



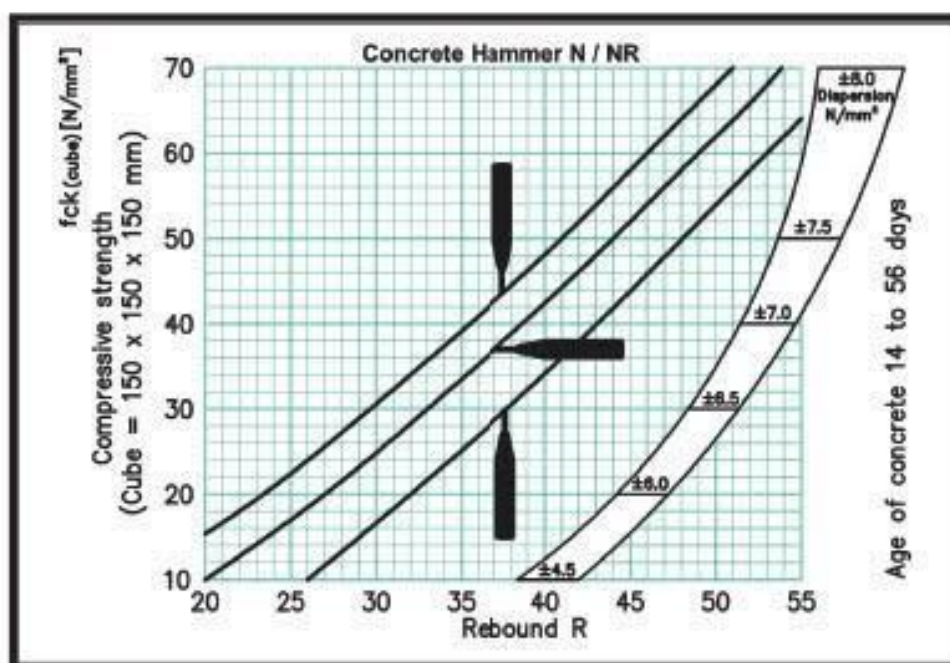
Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

4 RESULTADOS

Após a realização dos ensaios laboratoriais e em campo, os dados foram analisados de forma técnica e estatisticamente.

Nos ensaios, utilizando o esclerômetro, foi encontrado o valor do índice esclerométrico médio e, em seguida, estimada a resistência superficial do elemento estrutural, fazendo uso do gráfico representado pela Figura 17, no qual é esboçada a curva de correlação do índice esclerométrico, de acordo com a posição do aparelho no momento do experimento.

Figura 17 - Curva de correlação do índice esclerométrico com a resistência à compressão.



Fonte: NL SCIENTIFIC, 2019.

Com os dados obtidos no ensaio de ultrassom, que foi realizado apenas em campo, foi possível estimar a velocidade média do pulso ultrassônico no concreto, sendo que este valor foi correlacionado com o Quadro 1, para estimar a qualidade do concreto.

Quadro 1 - Relação entre a velocidade de impulso e a qualidade do concreto.

Velocidade de propagação linear (km/s)	Qualidade do concreto armado
$v > 4,5$	Excelente
$3,6 < v < 4,5$	Boa
$3,0 < v < 3,6$	Aceitável
$2,1 < v < 3,0$	Pobre
$v < 2,1$	Muito Pobre

Fonte: WHITEHURST, 1951 (*apud* SOEIRO *et al.*, 2018).

4.1 Ensaio laboratorial

O ensaio laboratorial, por meio da compressão axial, foi realizado segundo a metodologia descrita.

Seus valores foram anotados, conforme o aumento da carga, a fim de analisar se com o aumento do esforço solicitante de compressão axial ocorreria, assim, alteração nos dados de resistência superficial obtidos.

Com os dados do índice esclerométrico, obtidos no ensaio de compressão axial, fez-se uso do gráfico de correlação representado na Figura , a fim de estimar a resistência superficial da peça estrutural. Na Tabela 1, são apresentados os resultados do ensaio laboratorial de compressão axial, realizados no corpo de prova 1 (CP-C1). O mesmo se fez ao corpo de prova 2 (CP-C2) cujos resultados estão expostos na Tabela 2.

Tabela 1 - Compressão axial corpo de prova 1.

Compressão axial			
CP1	Índice Esclerométrico		
Ponto	20 kN	60 kN	100 kN
1	32	36	38
2	34	34	36
3	32	34	34
4	29	32	36
Média	31,75	34,00	36,00
Resistência superficial (N/mm²)	27,00	32,00	35,00
Variância	3,19	2,00	2,00
Desvio- Padrão	1,79	1,41	1,41
Coefficiente de Variação (%)	5,62	4,16	3,93

Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

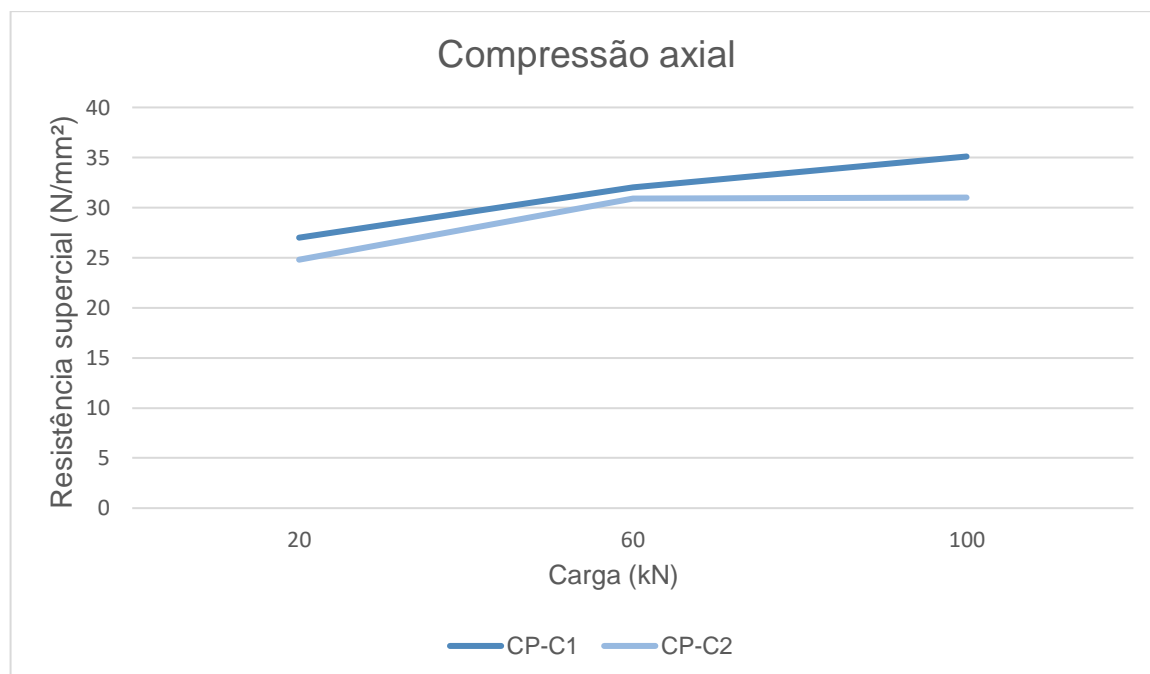
Tabela 2 - Compressão axial corpo de prova 2.

Compressão axial			
CP2	Índice Esclerométrico		
Ponto	20 kN	60 kN	100 kN
1	30	34	29
2	30	35	34
3	32	30	37
4	28	35	35
Média	30,00	33,50	33,75
Resistência superficial (N/mm²)	24,00	30,00	31,00
Variância	2,00	4,25	8,69
Desvio- Padrão	1,41	2,06	2,95
Coefficiente de Variação (%)	4,71	6,15	8,73

Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

O Gráfico 1 representa a comparação dos resultados do ensaio realizado nos dois corpos de prova.

Gráfico 1 - Comparação dos resultados do ensaio de compressão axial.



Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

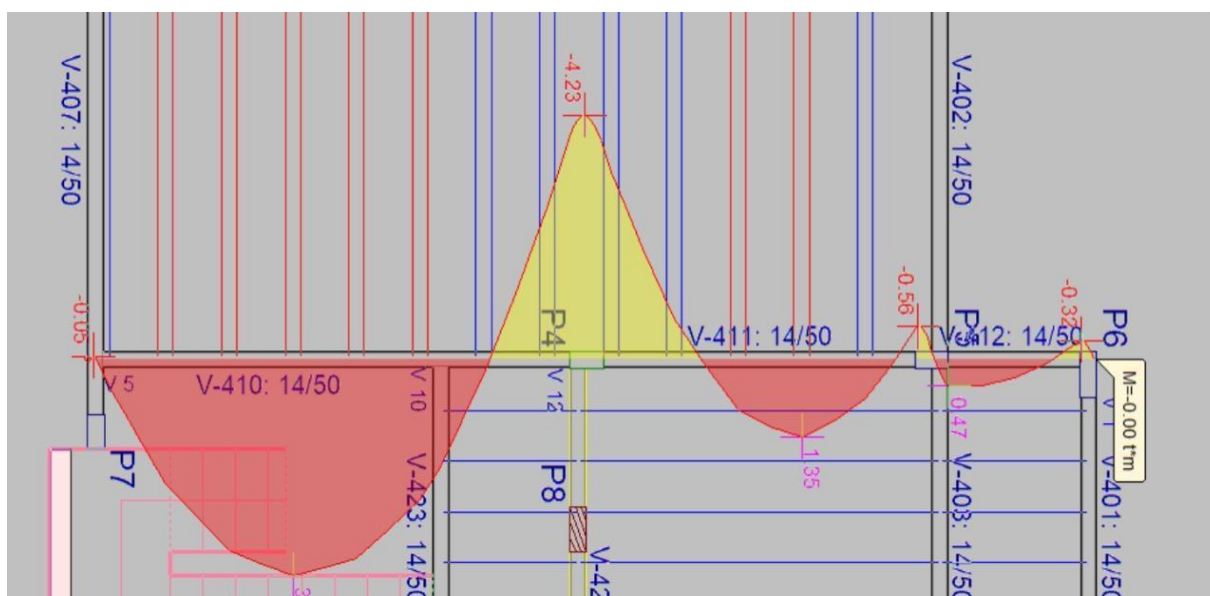
Com o auxílio do gráfico comparativo, observa-se que o corpo de prova 1 (CP-C1) aumentou sua resistência superficial, gradativamente, conforme ocorria o aumento da carga; já o corpo de prova 2 (CP-C2), apesar de apresentar o mesmo comportamento do período de 20 a 60 kN, apresentou um aumento desproporcional aos outros com o aumento da carga para 100 kN.

Contudo, mesmo havendo diferença no último trecho do corpo de prova 2 (CP-C2), pode-se afirmar que, de modo geral, houve aumento da resistência superficial, conforme a carga era aumentada.

4.2 Ensaio em campo

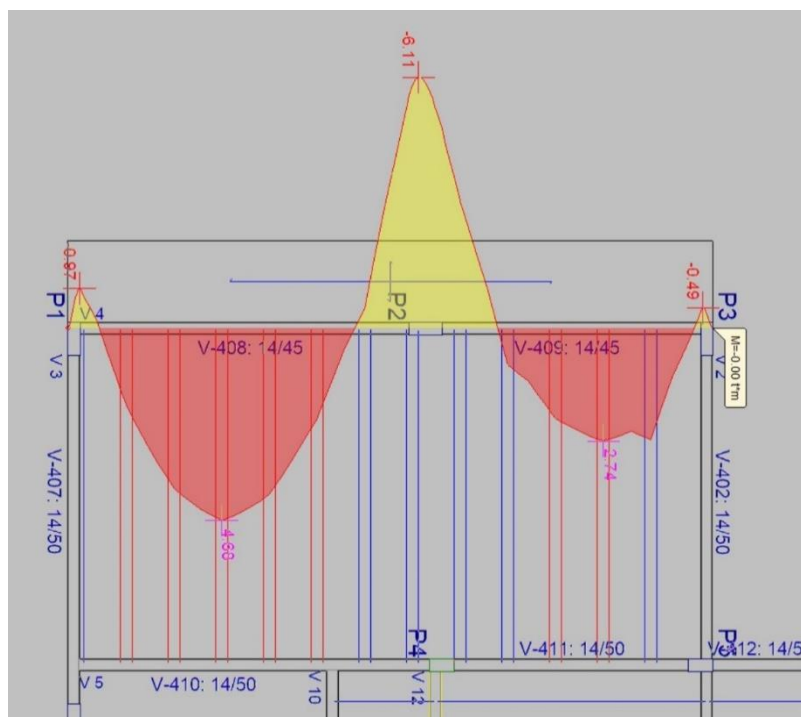
Nos ensaios realizados em campo, foi necessário fazer uso dos diagramas de momentos fletores, representados na Figura 18 e Figura 19, para localizar a seção de maior solicitação.

Figura 18 - Momentos fletores da Viga 1.



Fonte: PARISI, 2019.

Figura 19 - Momentos fletores da Viga 2.



Fonte: PARISI, 2019.

Com os dados de momentos fletores das vigas analisadas, foi possível calcular a linha neutra, utilizando a (Equação 3, e os resultados estão expostos na Tabela 3.

Tabela 3 - Profundidades estimadas para a Linha Neutra.

Vigas	Base (cm)	Altura (cm)	M_d (kN.cm)	Barra longitudinal (cm)	Estribo (cm)	Cobrimento (cm)	Altura útil (cm)	f_{cd} (kN/cm ²)	X (cm)
1	14,2	45	4680	1,6	0,5	2,5	41,2	1,79	7,07
2	14,5	50	3320	1,2	0,5	2,5	46,4	1,79	4,22
3	14,5	50	1350	1,2	0,5	2,5	46,4	1,79	1,68

Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

Com os dados calculados e expostos na tabela, pode-se perceber que a parte comprimida da seção era muito pequena, portanto, imprópria para realizar o ensaio segundo as recomendações das normas. Sendo assim, além de vigas, foram acrescentados ao experimento três pilares, tornando possível avaliar o esforço de compressão.

4.2.1 Ensaio esclerométrico

O ensaio esclerométrico foi realizado, em três vigas e três pilares, concretados no mesmo dia, utilizando o mesmo traço, por caminhão de concreto usinado, lançado por bomba. Em cada elemento estrutural, foram ensaiados 16 pontos, conforme recomendações da NBR 7584 (ABNT, 2012).

Como o tratamento dos dados, foi calculada a primeira média do índice esclerométrico dos pontos e descartados todos os pontos que obtiveram diferença de 10% da média. Por conseguinte, foi calculada uma nova média e, assim, fazendo uso do gráfico de correlação, representado pela Figura , foi possível estimar a resistência superficial do elemento de concreto.

A Tabela 4 e a Tabela 9 representam os dados obtidos e calculados do ensaio esclerométrico das vigas e pilares, representando o esforço de tração e compressão, respectivamente.

Tabela 4 - Análise esclerométrica da Viga 1.

I. E. dos Pontos da Viga 1			
38	36	38	37
40	32	33	35
36	38	38	42
38	49	40	36
1ª Média	37,88		
10% Média	3,79		
Intervalo	34	42	
38	36	38	37
40	32	33	35
36	38	38	42
38	X	40	36
2ª Média	37,5		
Resistência superficial (N/mm²)	38,00		
Variância	2,25		
Desvio-padrão	1,5		
Coefficiente de variação (%)	4		

Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

Tabela 5 - Análise esclerométrica da Viga 2.

I. E. dos Pontos da Viga 2			
34	36	40	36
38	38	34	34
38	38	40	39
36	38	36	37
1ª Média	37,00		
10% Média	3,7		
Intervalo	33	41	
34	36	40	36
38	38	34	34
38	38	40	39
36	38	36	37
2ª Média	37		
Resistência superficial (N/mm²)	37,00		
Variância	3,63		
Desvio- padrão	1,90		
Coefficiente de variação (%)	5,15		

Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

Tabela 6 - Análise esclerométrica da Viga 3.

I. E. dos Pontos da Viga 3			
38	35	34	35
37	38	38	37
32	37	37	37
37	36	42	33
1ª Média	36,44		
10% Média	3,64		
Intervalo	33	40	
38	35	34	35
37	38	38	37
32	37	37	37
37	36	42	33
2ª Média	36,36		
Resistência superficial (N/mm²)	35,00		
Variância	2,23		
Desvio- padrão	1,49		
Coefficiente de variação (%)	4,11		

Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

Tabela 7 - Análise esclerométrica do Pilar 1.

I. E. dos Pontos do Pilar 1			
40	40	34	36
32	32	32	34
33	30	33	34
34	36	34	34
1ª Média	34,25		
10% Média	3,42		
Intervalo	31	38	
40	40	34	36
32	32	32	34
33	30	33	34
34	36	34	34
2ª Média	33,69		
Resistência superficial (N/mm²)	30,00		
Variância	1,60		
Desvio- padrão	1,26		
Coefficiente de variação (%)	3,75		

Fonte: Arquivo pessoal (2020).

Tabela 8 - Análise esclerométrica do Pilar 2.

I. E. dos Pontos do Pilar 2			
36	36	37	40
46	36	38	34
38	34	38	42
36	38	39	40
1ª Média	38,00		
10% Média	3,8		
Intervalo	34,20	41,80	
36	36	37	40
46	36	38	34
38	34	38	42
36	38	39	40
2ª Média	37,67		
Resistência superficial (N/mm²)	36,00		
Variância	2,06		
Desvio- padrão	1,43		
Coefficiente de variação (%)	3,81		

Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

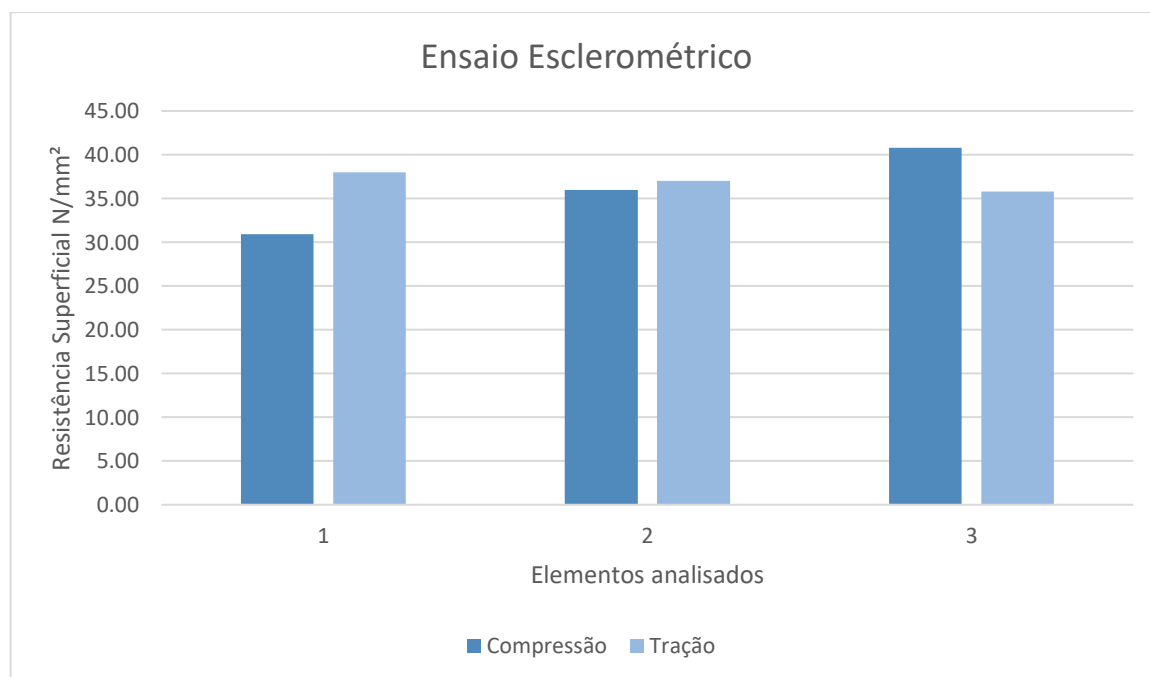
Tabela 9 - Análise esclerométrica do Pilar 3.

I. E. dos Pontos do Pilar 3			
40	38	38	41
42	36	38	39
42	38	38	37
44	43	39	36
1ª Média	39,31		
10% Média	3,931		
Intervalo	35	43	
40	38	38	41
42	36	38	39
42	38	38	37
44	43	39	36
2ª Média	39,00		
Resistência superficial (N/mm²)	40,00		
Variância	4,40		
Desvio- padrão	2,10		
Coefficiente de variação (%)	5,38		

Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

A fim de simplificar a apresentação dos resultados, são mostrados no Gráfico 2 as comparações dos valores finais obtidos.

Gráfico 2 - Comparação dos resultados dos elementos estruturais e ensaiados.



Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

Os dados mostram que os elementos estruturais um e dois apresentaram o mesmo comportamento, os elementos comprimidos possuíam resistência superficial menor que os elementos tracionados. No entanto o mesmo não ocorreu nos elementos de número três; aquele que estava sendo comprimido apresentou resistência superficial maior do que o que estava sendo tracionado; tal comportamento pode ser explicado por possíveis fatores que podem ter alterado os resultados, como condições da superfície, má vibração do concreto, umidade da peça e presença de agregado graúdo.

4.2.2 Ensaio ultrassônico

O ensaio ultrassônico foi realizado, em três vigas e três pilares, também executados com concreto de mesma dosagem. Em cada elemento estrutural, foram ensaiados três pontos, aplicando-se o método de ensaio direto.

Com o tratamento dos dados, foi calculada a média das velocidades de propagação das ondas, pelo dado de tempo dado pelo aparelho e a distância entre os transdutores.

Da Tabela 10 à Tabela 15 estão representados os dados obtidos e calculados, juntamente com a análise estatística dos resultados e a estimativa da qualidade do concreto.

Tabela 10 - Análise ultrassônica da viga 1.

Viga 1					
Ponto	1º Medida (µs)	2º Medida (µs)	Média (µs)	Velocidade (m/s)	Qualidade do concreto
1,00	37,40	38,20	37,80	3756,61	BOA
2,00	36,80	36,80	36,80	3858,70	BOA
3,00	37,90	38,20	38,05	3731,93	BOA
Velocidade Média (m/s)	3782,41				
Variância	0,29				
Desvio-padrão	0,54				
Coefficiente de variação (%)	1,44				

Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

Tabela 11 - Análise ultrassônica da viga 2.

Viga 2					
Ponto	1º Medida (µs)	2º Medida (µs)	Média (µs)	Velocidade (m/s)	Qualidade do concreto
1,00	34,50	34,50	34,50	4202,90	BOA
2,00	34,20	34,40	34,30	4227,41	BOA
3,00	32,40	32,50	32,45	4468,41	BOA
Velocidade Média (m/s)	4299,57				
Variância	0,85				
Desvio-padrão	0,92				
Coefficiente de variação (%)	2,73				

Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

Tabela 12 - Análise ultrassônica da viga 3.

Viga 3					
Ponto	1º Medida (µs)	2º Medida (µs)	Média (µs)	Velocidade (m/s)	Qualidade do concreto
1,00	32,00	30,40	31,20	4647,44	EXCELENTE
2,00	31,00	30,90	30,95	4684,98	EXCELENTE
3,00	30,60	30,60	30,60	4738,56	EXCELENTE
Velocidade Média (m/s)	4690,32				
Variância	0,06				
Desvio-padrão	0,25				
Coefficiente de variação (%)	0,80				

Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

Tabela 13 - Análise ultrassônica do pilar 1.

Pilar 1					
Ponto	1º Medida (µs)	2º Medida (µs)	Média (µs)	Velocidade (m/s)	Qualidade do concreto
1,00	32,00	32,20	32,10	4423,68	BOA
2,00	34,10	34,10	34,10	4164,22	BOA
3,00	31,20	31,10	31,15	4558,59	EXCELENTE
Velocidade Média (m/s)	4382,16				
Variância	1,51				
Desvio-padrão	1,23				
Coefficiente de variação (%)	3,79				

Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

Tabela 14 - Análise ultrassônica do pilar 2.

Pilar 2					
Ponto	1º Medida (µs)	2º Medida (µs)	Média (µs)	Velocidade (m/s)	Qualidade do concreto
1,00	28,80	29,10	28,95	5008,64	EXCELENTE
2,00	32,40	32,60	32,50	4461,54	BOA
3,00	31,70	31,50	31,60	4588,61	EXCELENTE
Velocidade Média (m/s)	4686,26				
Variância	2,27				
Desvio-padrão	1,51				
Coefficiente de variação (%)	4,86				

Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

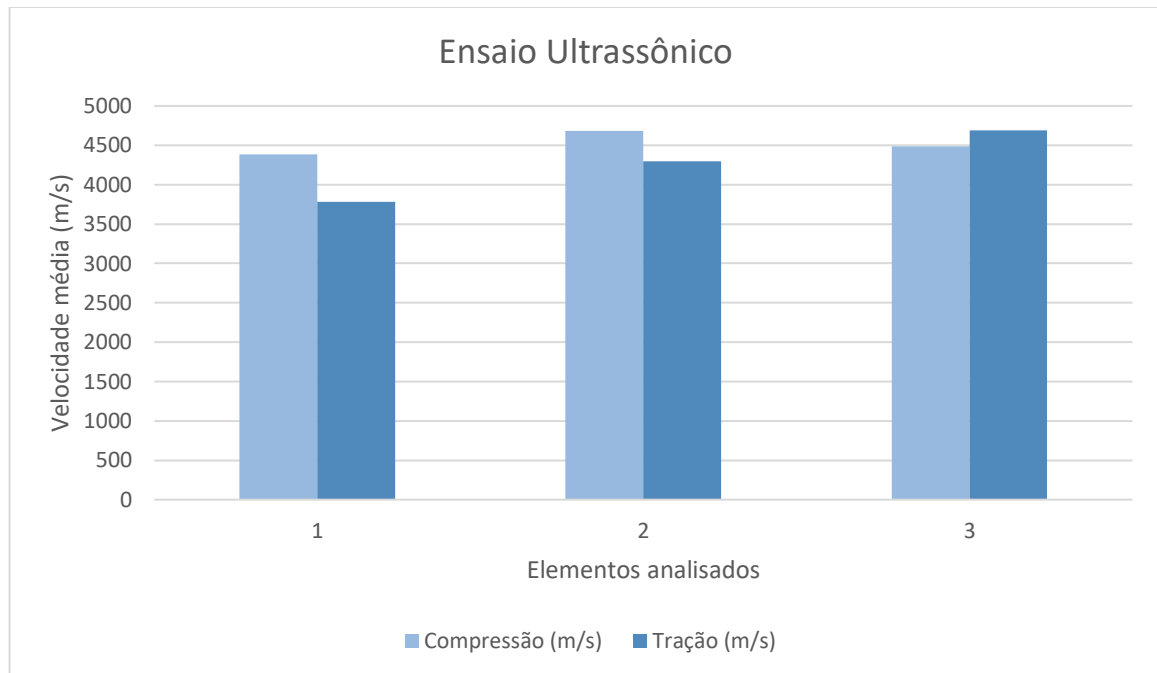
Tabela 15 - Análise ultrassônica do pilar 3.

Pilar 3					
Ponto	1º Medida (µs)	2º Medida (µs)	Média (µs)	Velocidade (m/s)	Qualidade do concreto
1,00	32,50	32,70	32,60	4447,85	BOA
2,00	31,80	32,20	32,00	4531,25	EXCELENTE
3,00	32,20	32,60	32,40	4475,31	BOA
Velocidade Média (m/s)	4484,80				
Variância	0,06				
Desvio-padrão	0,25				
Coefficiente de variação (%)	0,77				

Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

A fim de dar mais clareza e simplificar os dados, o Gráfico 3 representa os valores finais obtidos.

Gráfico 3 - Análise dos dados do ensaio ultrassônico.



Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

A partir do gráfico, pode-se perceber a falta de uniformidade e constância dos dados, considerando o fato de que, nos elementos 1 e 2, a parte comprimida do elemento estrutural apresentou resultados maiores que a parte tracionada, o que não acontece no elemento três, em que a parte comprimida apresentou resultados menores que as tracionadas. Esse comportamento pode ser explicado por possíveis fatores que podem ter alterado os resultados, como condições da superfície, má vibração do concreto, umidade da peça e presença de agregado graúdo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios não destrutivos têm se mostrado úteis e práticos por possibilitar análise de uma estrutura, sem danificá-la, empregando menor trabalho e custo possível. Mesmo apresentando diversas vantagens, é necessário deixar claro que estes ensaios somente são utilizados como complementação de outros ensaios, ou seja, eles não podem ser utilizados para análise completa das características da estrutura.

Considerando a importância dos resultados que os métodos não destrutivos detêm sobre a segurança, viabilidade e conforto dos usuários da edificação, faz-se primordial o investimento em conhecimento sobre cada detalhe e etapa desses processos.

Conhecer a influência de cada fator envolvido, durante a realização dos ensaios, gera maior confiabilidade aos resultados dos métodos utilizados, não só nos ensaios de esclerometria e ultrassom, mas a todos ensaios.

Durante a realização desta pesquisa, buscou-se garantir que outras variáveis não interferissem no experimento, como a umidade, diferença de material, rugosidade da superfície, entre outras, de modo a dar mais precisão e confiabilidade ao estudo.

No ensaio de compressão axial, pôde-se perceber a influência do esforço de compressão em seus resultados por meio do aumento da resistência com o aumento de carga.

Nos ensaios realizados em campo, tanto no ensaio esclerométrico como no ensaio ultrassônico, pôde-se concluir que a solicitação de esforços de tração e compressão não influenciam significativamente nos resultados. Para pesquisas futuras, sugere-se repetir os ensaios, considerando e analisando o porte da obra e analisando o porte da obra e analisando, e também, a magnitude dos esforços nos ensaios de esclerometria e ultrassom.

Alguns fatores, como presença de agregado graúdo, armadura, espaços vazios no concreto, entre outros, podem ter alterado os resultados dos ensaios os quais, dessa forma, não apresentaram consistência. Portanto sugere-se que sejam feitas pesquisas futuras, aprimorando ainda mais os métodos, como estudo de traço, taxa de armadura, controle de umidade, cautela na vibração do concreto, utilização de corpos de prova com maiores dimensões. Pode-se ainda verificar se elementos estruturais submetidos a elevadas tensões influenciam nos resultados de ensaio.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584**: concreto endurecido: avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012. 10 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8802**: concreto endurecido: determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2019. 11 p.
- BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto**. São Paulo: Departamento de Engenharia Civil, 2006. Disponível em: <http://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Introducao.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2019.
- CÂMARA, Everlei. **Avaliação da resistência à compressão de concretos utilizados na Grande Florianópolis através de ensaios não destrutivos**. 2006. 212 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- CARVALHO, E. *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**, Recife, v. 2, n. 3, p. 28-37, 28 ago. 2017.
- CHIES, Josué Argenta. **Ensaos não destrutivos em concreto**: detecção de falhas no interior de estruturas de concreto com o uso de ultrassom. 2014. 133 f. Dissertação (Mestrado em Curso de Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- CLÍMACO, João Carlos Teatini de Souza. **Estrutura de concreto armado**: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação. 2. ed. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 2013.
- CORREIA, Sérgio Filipe Ramos. **Catálogo de técnicas de diagnóstico em elementos estruturais de edifícios correntes em betão armado**. 2014. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Técnico Lisboa, Lisboa, 2014.
- DIAS, Aniel de Melo; SILVA, Thiago José Vieira; JACQUES, Flávia Spitale. O concreto sustentável brasileiro. **Revista Construindo**, Belo Horizonte, v. 8, n. 1, p. 84-97, jun. 2017.
- EVANGELISTA, Ana Catarina Jorge. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**. 2002. 239 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.
- FERREIRA, Gercindo. **Estudo sobre fatores influentes nos resultados de ensaios não destrutivos em concreto endurecido**. 2011. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

FONTES, Fernando Fernandes. **Análise estrutural de elementos lineares segundo a NBR 6118:2003**. 2005. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2005.

FRANSOZOI, Thiago Henrique; FERRARI, Vladimir José. Determinação da correlação entre o índice esclerométrico e a resistência à compressão simples de concretos produzidos com agregados da região de Maringá. **Revista Técnico-científica**, Maringá, v. 1, n. 10, p.1-20, maio 2018.

HALLACK, João Chafi *et al.* **Apostila de resistência dos materiais I**. Juiz de Fora: Mac, 2013. 197 p.

LORENZI, Alexandre *et al.* Análise de estruturas de concreto através de ensaios de velocidade de propagação do pulso ultra-sônico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 45., 2007, Porto Alegre. **Anais [...]** Porto Alegre: IBRACON, 2007. p. 1-12.

MEDEIROS, Arthur. **Aplicação do ultra-som na estimativa da profundidade de fendas superficiais e na avaliação da eficácia de injeções em elementos de concreto armado**. 2007. 200 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MIOTTO, Anamaria Malachini. **Ligações viga-pilar de estruturas de concreto pré-moldado: análise com ênfase na deformabilidade ao momento fletor**. 2002. 263 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

MOURA, Tiago Rodrigues Coelho de. Demonstração do cálculo da linha neutra em vigas submetidas à flexão. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, São Paulo, v. 4, n. 10, p. 99-115, out. 2019.

NASCIMENTO, Beatriz Andrade; NASCIMENTO, Arthur Rosinski do; LOPES, Antonio Aparecido. Ensaio de esclerometria para estimativa da resistência à compressão do concreto em obras da cidade de Maringá. **Journal of Exact Sciences**, Maringá, v. 19, n. 1, p. 20-25, dez. 2018.

NL SCIENTIFIC. **Martelo de teste de concreto**. Disponível em: <https://www.nl-test.com/ViewCatalog.asp?ID=614&MainId=16>. Acesso em: 20 nov. 2019.

PEREIRA, Thiago Pastre. **Estudo do concreto de alto desempenho com adição de borracha**. 2016. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, Universidade de São Paulo, 2016.

PRADO, Lucius de Albuquerque. **Módulo de deformação estático do concreto de baixa e alta relação a/c pelo método ultra-sônico**. 2006. 229 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

QUOOS, Cristiano André. **Contribuição ao estudo de parâmetros de resistência do concreto estrutural**. 2016. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2016.

RAUBER, Daniel. **Análise dos métodos teóricos e experimentais para a determinação das propriedades do concreto estrutural**. 2015. 104 f. TCC (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2015.

REGINATO, Lucas Alexandre; LORENZI, Alexandre; LORENZI, Lucas Somensi. Avaliação de pilares de concreto armado através de ensaios de pulso ultrassônico. **Revista de Engenharia Civil Imed**, Passo Fundo, v. 4, n. 1, p. 32-47, jun. 2017.

SILVA, Turibio José da; FERREIRA, Gercindo; DIAS, João Fernando. Influência de variáveis nos resultados de ensaios não destrutivos em estruturas de concreto armado. **Ciências & Engenharia**, Uberlândia, v. 22, n. 1, p. 103-113, jun. 2013.

SOEIRO, Joaquim Martins *et al.* Ensaio não destrutivo - Ensaio de ultrassom e pacômetro na avaliação da qualidade do concreto armado. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA CONTECC, 2018, 1., 2018, Maceió. **Anais [...]** Maceió: Soea, 2018. p. 1-5.

SPÍNDOLA, Guilherme Morais. Avaliação do concreto estrutural de pilares utilizando ensaios não destrutivos em comparação com resultados do controle tecnológico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 59., 2017, Bento Gonçalves. **Anais [...]** Bento Gonçalves: CBC, 2017. p. 1 - 28.