

**UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**AMANDA FERNANDES FERREIRA**

**ARMANDO V. ROSA CAMARGO**

**JOÃO VITOR NEVES**

**JONATHAN RODRIGUES DE OLIVEIRA**

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO A PARTIR  
DA VERIFICAÇÃO DO ENSAIO DE PACOMETRIA,  
ESCLEROMETRIA E TESTEMUNHO**

**ANÁPOLIS / GO**

**2022**

**AMANDA FERNANDES FERREIRA  
ARMANDO V. ROSA CAMARGO  
JOÃO VITOR NEVES  
JONATHAN RODRIGUES DE OLIVEIRA**

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO APARTIR DA  
VERIFICAÇÃO DO ENSAIO DE PACOMETRIA,  
ESCLEROMETRIA E TESTEMUNHO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: CARLOS EDUARDO FERNANDES**

**ANÁPOLIS / GO: 2022**

## FICHA CATALOGRÁFICA

FERREIRA, AMANDA FERNANDES/ CAMARGO, ARMANDO VICTOR ROSA/ NEVES, JOÃO VITOR/ OLIVEIRA, JONATHAN RODRIGUES

Análise da resistência do concreto a partir da verificação do ensaio de pacometria, esclerometria e testemunho.

45P (45), 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2022).

TCC - UniEVANGÉLICA

Curso de Engenharia Civil.

1. Concreto  
3. Engenharia  
I. ENC/UNI

2. Construção Civil  
4. Resistência  
II. Bacharel

### REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FERREIRA, Amanda Fernandes; CAMARGO, Armando Victor Rosa; NEVES, João Vitor; OLIVEIRA, Jonathan Rodrigues. Análise da resistência do concreto a partir da verificação do ensaio de pacometria, esclerometria e testemunho. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 45p. 2022.

### CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Amanda Fernandes Ferreira

Armando Victor Rosa Camargo

João Victor Neves

Jonathan Rodrigues de Oliveira

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: análise da resistência do concreto a partir da verificação do ensaio de pacometria, esclerometria e testemunho.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil      ANO: 2022

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Amanda Fernandes Ferreira

Amanda Fernandes Ferreira

E-mail: [amandaffcivil@gmail.com](mailto:amandaffcivil@gmail.com)

Armando Victor R. Camargo

Armando Victor Rosa Camargo

E-mail: [armandovictor53@gmail.com](mailto:armandovictor53@gmail.com)

João Vitor Neves

João Vitor Neves

E-mail: [joaocvpcc.jvn@gmail.com](mailto:joaocvpcc.jvn@gmail.com)

Jonathan Rodrigues de Oliveira

Jonathan Rodrigues de Oliveira

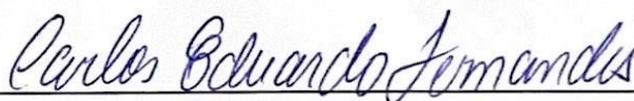
E-mail: [eng.oliveira1307@gmail.com](mailto:eng.oliveira1307@gmail.com)

AMANDA FERNANDES FERREIRA  
ARMANDO V. ROSA CAMARGO  
JOÃO VITOR NEVES  
JONATHAN RODRIGUES DE OLIVEIRA

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO APARTIR DA VERIFICAÇÃO  
DO ENSAIO DE PACOMETRIA, ESCLEROMETRIA E TESTEMUNHO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
BACHAREL

APROVADO POR:



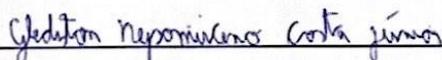
---

CARLOS EDUARDO FERNANDES, Mestre (UniEVANGÉLICA)  
(ORIENTADOR)



---

ROGERIO SANTOS CARDOSO, Mestre (UNIVERSIDADE  
EVANGÉLICA DE GOIÁS)  
(EXAMINADOR INTERNO)



---

GLEDISTON NEPOMUCENO COSTA JÚNIOR, Mestre  
(UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS)  
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 31 de Maio de 2022.



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele nada seria possível. Agradeço pela coragem e fé dada, e por ser o motivo pelo qual nunca me deixei abater com os problemas do dia-a-dia, procurando sempre mais forças para continuar e concluir esse projeto tão grandioso.

Gratidão também à minha família, que me apoiou e sempre me incentivou para a realização desse sonho.

Amanda Fernandes Ferreira, Armando V Rosa,  
João Victor Neves e Joathan Rodrigues.

## RESUMO

As edificações possuem uma vida útil, e que com o passar dos anos devido a desgastes naturais, efeitos de sobrecarga e ataques do meio ambiente, perdem sua durabilidade. As edificações devem passar por manutenções preventivas e corretivas, para que sua vida útil prolongue ao invés de ser reduzida. Os ensaios não destrutivos são de grande importância para uma análise diagnóstica de como se encontra a estrutura do empreendimento e é altamente recomendado por ser um ensaio que não danifica a estrutura. Alguns dos principais ensaios não destrutivos são: Pacômetria, Ultrassonografia, Esclerometria e Termografia. O presente e atual trabalho objetiva a apresentação dos métodos de pacômetria, esclerometria e testemunho como ensaios não destrutivos, aplicados em edificação existente, com aproximadamente 5 anos de vida de utilização para avaliação em função da rigidez residual exposta durante o uso, dependendo da integridade física e geométrica conforme projeto das peças estruturais de concreto armado. A ABNT NBR 15575 (2013) norteará sobre a avaliação a durabilidade e a vida útil em função da classe de agressividade ambiental, conforme obrigações expostas pela normas e ABNT NBR 6118 (2014). Os principais métodos ou ensaios utilizados são: Ensaio de esclerometria para determinação do índice esclerométrico (IE) na norma ABNT NBR 7584 (2012), ensaio de extração de testemunho na norma NBR 7680/2015 – ABNT e o Ensaio de Pacometria no código ACI 228 2R (2004). Para conclusão da utilização desses métodos está alguns pontos que apresentam maiores vantagens dentre outras técnicas e ensaios, visto que sem dúvidas pela agilidade, a rapidez e custo adequado para a realização de um ou mais ensaios em estruturas de concreto armado edificadas e em uso.

**PALAVRAS-CHAVE: Ensaios não destrutivos, Concreto, Armadura, Esclerometria, Pacômetria.**

## ABSTRACT

Buildings have a useful life, and over the years, due to natural wear and tear, overload effects and environmental attacks, they lose their durability. Buildings must undergo preventive and corrective maintenance, so that their useful life is extended rather than reduced. Non-destructive testing is of great importance for a diagnostic analysis of the structure of the enterprise and is highly recommended as it is a test that does not damage the structure. Some of the main non-destructive tests are: Pacometry, Ultrasonography, Sclerometry and Thermography. The present and current work aims to present the pachometry, sclerometry and core methods as non-destructive tests, applied in an existing building, with approximately 5 years of use life for evaluation according to the residual stiffness exposed during use, depending on the physical integrity and geometric according to the design of the structural parts of reinforced concrete. ABNT NBR 15575 (2013) will guide the evaluation of durability and useful life depending on the environmental aggressiveness class, according to the obligations set out by the standards and ABNT NBR 6118 (2014). The main methods or tests used are: Reflector test to determine the resclerometric index (IE) in the ABNT NBR 7584 (2012) standard, the core extraction test in the NBR 7680/2015 - ABNT standard and the Pacometry Test in the ACI 228 code 2R (2004). To conclude the use of these methods, there are some points that present the greatest advantages among other techniques and tests, since without doubt due to the agility, speed and adequate cost for carrying out one or more tests on reinforced concrete structures built and in use.

**KEYWORDS:** Non-destructive testing, Concrete, Reinforcement, Sclerometrics, Pacometrics.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Coliseu romano na Itália .....	18
Figura 2 - Pantheon em Paris. ....	18
Figura 3 - Edifício Hennebique. ....	19
Figura 4 - Concreto usinado. ....	21
Figura 5 - Concreto armado. ....	21
Figura 6 - Modelo de concreto protendido. ....	22
Figura 7 - Concreto auto adensável. ....	23
Figura 8 - Funcionamento do equipamento. ....	25
Figura 9 - Uso do equipamento. ....	26
Figura 10 - Funcionamento da pistola de pino. ....	27
Figura 11 - Uso real do método de penetração de pinos .....	28
Figura 12 - Pacômetro. ....	29
Figura 13 - Gráfico do relatório do ensaio de pacometria. ....	29
Figura 14 - Ensaio de extração por testemunho. ....	30
Figura 15 - Edifício iluminato residence .....	31
Figura 16 - Definição do local de ensaio (Fase 1). ....	32
Figura 17 - Instalação do equipamento (Fase 2). ....	33
Figura 18 - Execução da demarcação do corpo de prova (Fase 3). ....	33
Figura 19 - Desinstalação do equipamento. ....	34
Figura 20 - Croqui de locação dos testemunhos .....	39
Figura 21 - Corpos de prova para ensaio de testemunho. ....	39

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - VALORES DO ENSAIO DE ESCLEROMETRIA EM CADA PEÇA ESTRUTURAL .....	35
TABELA 2 - LEITURAS DO ENSAIO DE PACOMETRIA .....	37

## **LISTA DE QUADROS**

QUADRO 1 - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO.....	40
--	----

## **LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA**

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
EUA	ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA
NBR	NORMA BRASILEIRA

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVOS .....	14
<b>1.2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>14</b>
1.3 METODOLOGIA .....	14
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
<b>2 CONSTRUÇÃO CIVIL .....</b>	<b>16</b>
2.1 DEFINIÇÃO .....	16
2.2 CONCRETO .....	17
<b>2.2.1 Definição.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2.2 História.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2.3 Principais tipos de concreto.....</b>	<b>20</b>
2.3 FATORES QUE INFLUENCIAM NA RESISTENCIA DO CONCRETO.....	23
2.4 METODOS PARA AVALIAÇÃO DA RESISTENCIA.....	24
2.5 MÉTODO DO ESCLEROMETRIA .....	25
<b>2.5.1 Vantagens .....</b>	<b>26</b>
2.6 MÉTODO DE PENETRAÇÃO DE PINOS .....	27
<b>2.6.1 Vantagens .....</b>	<b>28</b>
2.7 MÉTODO DE ENSAIO DE PACOMETRIA .....	28
2.8 MÉTODO DE ENSAIO DE TESTEMUNHO .....	30
<b>3 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>31</b>
<b>4 RESULTADOS DOS ENSAIOS.....</b>	<b>34</b>
4.1 ENSAIO DE ESCLEROMETRIA.....	34
4.2 ENSAIO DE PACOMETRIA.....	37
4.3 ENSAIO DE TESTESMUNHO DE CONCRETO.....	39
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O concreto é o material mais utilizado na construção civil e em geral é basicamente um composto originado da mistura de pelo menos um aglomerante, no caso o cimento e, também, água, pedra e areia, além de outros materiais eventuais, os aditivos.

O cimento ao ser hidratado pela água forma uma pasta que adere aos fragmentos agregados, formando uma mistura resistente e de fácil modelagem, possuindo alta resistência a compressão, assim quando endurecida forma um bloco monolítico se adequando as exigências necessárias. O cimento originou no Egito antigo onde era usado gesso calcinado para execução das pirâmides, após isso Roma e Grécia utilizaram hidratação de cinzas vulcânicas em seus monumentos simulando o que seria o início das bases do concreto. O mesmo foi usado na construção dos muros de uma cidade romana no século IV a.C. situada a 64 km de Roma, no século II a.C. A Idade Média não trouxe inovações expressivas no emprego de argamassas e concretos. Pelo contrário, a qualidade dos materiais cimentícios em geral decaiu, perdendo-se o uso da cal pozolânica.

Esse cimento foi se aperfeiçoando e no ano de 1776 com Smeaton o concreto foi desenvolvido através da mistura da massa cimentícia com agregados miúdos e graúdos. Porém desde os experimentos pouco se evoluiu o desenvolvimento de uma teoria que explicasse o comportamento e as propriedades, somente em 1818 (Vicat) investigou os fatores que poderiam resultar em uma argamassa capaz de endurecer abaixo da água. Misturando cal, gesso e argilas de diferentes tipos e em diferentes proporções, Vicat preparou pequenos blocos dos materiais testados, de maneira bastante simples, ele concluiu que “não há argamassa hidráulica perfeita sem sílica e que toda cal que pode ser denominada hidráulica contém certa quantidade de argila. Em 1824 o inglês Aspidin desenvolveu o cimento Portland com calcário, argila e agregados miúdos misturados a altas temperaturas até que essa mistura evaporasse todo o dióxido de carbono gerando assim um cimento mais resistente.

Somente em 1824 que esse material foi perfeiçoado aumentando assim sua versatilidade e resistência sendo feita a primeira rua de concreto em Ohaio (EUA). Nos anos 20 a qualidade desta mistura é melhor controlada e o concreto começa a ser preparado em usinas e hoje é o material mais utilizado para realização de construções no Brasil (90%) e no mundo, sendo basicamente a mistura de cimento, água, pedra e areia, sendo que o cimento ao ser hidratado pela água, forma uma pasta resistente e aderente aos fragmentos de agregados (pedra e areia), formando um bloco monolítico. Com o passar do tempo e a evolução das tecnologias o concreto foi aperfeiçoado conforme a necessidade de cada construção e suas limitações. As

variações são inúmeras que se ajustam conforme cada obra, alguns exemplos são concreto convencional, armado, protendido, bombeável, projetado, alto desempenho dentre outros. Embora não seja a única opção, o concreto armado é a técnica mais utilizada em todo o mundo para construção de estruturas.

Ao formar o concreto, os espaçamentos entre suas moléculas se contraem, preenchendo todos os espaços e, ficando com a distribuição granulométrica perfeita, tendendo as devidas necessidades por ser um material resistente e, também, maleável antes de seu endurecimento, tornando-se um material propício para as bases estruturais das construções.

Devido ao crescimento da construção civil o concreto vem sendo bastante utilizado, pois é um material de grande resistência, sendo capaz de suportar toda estrutura da edificação.

Diante da grande variedade dos tipos deste material, ele garante uma boa eficácia importância no meio da construção civil, podendo exercer diferentes funções dependendo da necessidade exposta.

Esta solução surgiu da necessidade de mesclar a resistência à compressão e durabilidade da pedra com as características do aço, o resultado é um material que tem como vantagens o poder de assumir qualquer forma com rapidez e facilidade, além de proporcionar ao metal proteção contra a corrosão.

Porém, junto com esses benefícios apareceram as patologias provenientes de má preparação, descuido, falta de conhecimento na construção, causas químicas e agentes externos tornando necessário um maior controle e análise desde concreto.

Para a elaboração do trabalho utilizou-se a pesquisa bibliográfica, utilizando livros, artigos científicos, dissertações. Para tanto, adotou-se uma abordagem qualitativa, pois não foram empregados dados estatísticos como centro do processo de análise do nosso problema, e sim uma série de leituras sobre o assunto, elaborando resenhas que descrevem minuciosamente o que os autores ensinam, e a partir daí estabeleceu-se uma série de correlações.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A necessidade de executar construções cada vez mais resistentes e imponentes na sociedade tornou fundamentais os estudos e por consequência a evolução do concreto. O mesmo é o insumo mais utilizado na construção civil. A tecnologia envolvida para garantir melhorias no concreto são importante instrumento de garantia de economia e segurança. O controle da resistência e qualidade do concreto passam por diversas técnicas que podem ser aplicadas de acordo com a necessidade da evidência. Essa aplicação correta permite a adoção de medidas

certas para correção e diagnóstico. A proposta desse trabalho permite registrar a aplicação da técnica para que possam ser adotadas em outras necessidades além de apresentar seus resultados para que possam ser avaliados dentro de cada indigência.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral demonstrar como o concreto foi formulado, suas evoluções e aplicações do mesmo nos ensaios de pacometria, esclerometria e testemunho.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Apresentar a aplicação do concreto na construção civil;
- Descrever as variações para aplicação nem edificações de concreto armado;
- Relacionar as patologias causadas pelo mau uso e formulação do concreto.
- Descrever os resultados dos ensaios por meio do apoio de empresa especializada com a apresentação e discussão dos resultados.

## 1.3 METODOLOGIA

A metodologia empregada para a elaboração deste trabalho segue por pesquisa bibliográfica, aplicação prática, reunir alguns laudos e relatórios de resistência do concreto e verificar a evolução em função do tempo. Os ensaios foram feitos no laboratório LTEC CENTRAL DE TECNOLOGIA DE ANÁPOLIS-GO LTDA, em Anápolis-GO. Partindo de uma revisão bibliográfica composta pelos principais autores e técnicos da área. A finalidade foi traçar um uma linha do tempo da evolução desse concreto aos dias atuais e por meio de referencial teórico através de trabalhos e teses que tratam da temática e das normas que relacionam sua aplicação.

## 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura deste trabalho é composta por 4 capítulos.

O capítulo 1 trata-se de todo o conceito, histórico, metodologias e aplicações do concreto.

O capítulo 2 apresenta os tipos de ensaios para verificação da resistência do concreto.

O capítulo 3 demonstra o estudo de caso e resultados do trabalho.

O capítulo 4 apresenta as considerações finais do trabalho.

## 2 CONSTRUÇÃO CIVIL

### 2.1 DEFINIÇÃO

A construção civil está sempre em crescimento, desse modo, a geração de entulho proveniente dos restos de materiais também cresce de forma exorbitante, interferindo na eficiência da edificação de forma negativa quanto à questão de organização, além disso, se não descartado corretamente, esses sedimentos podem gerar impactos ambientais graves (SOARES; MARTINS, 2019).

No Brasil, a inovação é vista com desconfiança por grande parte das empresas, que preferem optar pelo conservadorismo. Na construção civil, a utilização de container como ambiente construído não é diferente. Apesar disso, existem investimentos nesse tipo de construção que visam a otimização e reaproveitamento de recursos empregados e tem a oportunidade de reformular pensamentos e introduzir novas culturas na construção civil (SOARES; MARTINS, 2019).

A história do mundo mostra que a construção civil existiu desde a antiguidade para atender as necessidades básicas e imediatas do homem sem preocupar com a técnica aprimorada em um primeiro momento. O homem pode ser qualificado diferencialmente dos demais seres vivos por inúmeras características, entre elas se inclui o dinamismo de produzir e transformar continuamente suas técnicas através de aperfeiçoamento e estudo contínuo dos resultados. A construção das cidades exigiu qualificação, técnicas mais apropriadas e vantajosas para se construir edifício cada vez mais sustentável. Surgem as edificações concebidas com responsabilidade social. É urgente a identificação das características técnicas que propiciem a execução de um edifício ecologicamente correto tais como: condicionamento de ar, posicionamento de fachada em relação à nascente/poente do sol, destinação de resíduos sólidos, reuso de água dentre outros, portanto é notória a importância da construção civil (UTZIG, 2017).

## 2.2 CONCRETO

### 2.2.1 Definição

Na mistura do concreto, o Cimento Portland, juntamente com a água, forma uma pasta mais ou menos fluida, dependendo do percentual de água adicionado. Essa pasta envolve as partículas de agregados com diversas dimensões para produzir um material, que, nas primeiras horas, apresenta-se em um estado capaz de ser moldado em fôrmas das mais variadas formas geométricas. Com o tempo, a mistura endurece pela reação irreversível da água com o cimento, adquirindo resistência mecânica capaz de torná-lo um material de excelente desempenho estrutural, sob os mais diversos ambientes de exposição (HELENE; ANDRADE, 2005).

Ele é o material estrutural de maior uso na atualidade, não é nem tão resistente nem tão tenaz quanto o aço, mas possui excelente resistência à água. Ao contrário da madeira e do aço comum, a capacidade do concreto de resistir à ação da água, sem deterioração séria, faz dele um material ideal para estruturas destinadas a controlar, estocar e transportar água. De fato, uma das primeiras aplicações conhecidas do concreto consistiu em aquedutos e muros de contenção de água, construídos pelos romanos. As razões para o uso tão difundido do concreto são: a facilidade com que elementos estruturais de concreto podem ser executados, numa variedade de formas e tamanhos; mais barato e mais facilmente disponível no canteiro de obra (BAUER, 2009).

Para se obter um concreto resistente, durável, econômico e de bom aspecto, deve-se estudar: as propriedades de cada um dos materiais componentes; as propriedades e os fatores que podem alterá-las o proporcionalmente correto e execução cuidadosa da mistura, o concreto deve ser transportado, lançados nas fôrmas e adensado corretamente; cura cuidadosa, a hidratação do cimento continua por um tempo bastante longo e é preciso que as condições ambientes favoreçam as reações que se processam. Desse modo, deve-se evitar a evaporação prematura da água necessária à hidratação do cimento. É o que se denomina cura do concreto; o modo de executar o controle do concreto durante a fabricação e após o endurecimento (GOTT, 2021).

### 2.2.2 História

É no Império Romano (300 anos antes de Cristo) que nasce a primeira concepção do concreto. O concreto romano é uma composição de agregados (cacos de pedras calcárias como

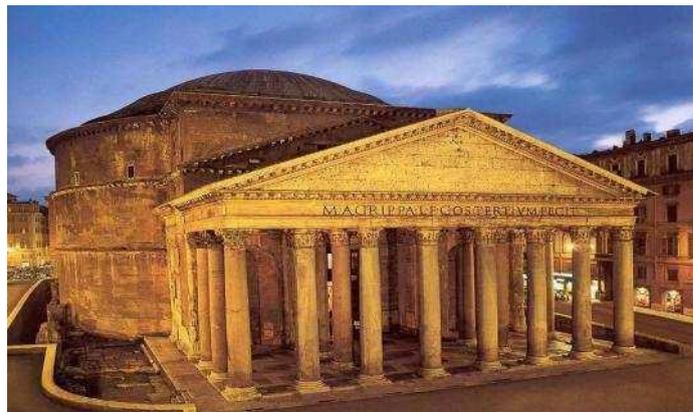
mármore), areia, cal, Pozzolana e água. A Pozzolana, como já dito anteriormente, é um material silicioso (rocha) de origem vulcânica encontrada em abundância na época, em Pozzuoli, região do vulcão Vesúvio. O Coliseu Romano (Figura 1) é marcado por grande evolução construtiva com surgimento de novas formas abobadadas, intensa utilização de arcos além de plataformas de concreto como fundações e fôrmas de madeira para o concreto romano. O grande destaque é a construção do Pantheon (Figura 2), datada entre 118 e 128 depois de Cristo, com uma cúpula de 45 metros de diâmetro, executada em concreto romano e revestida com mármore e tijolos (CARVALHO, 2008).

**Figura 1 - Coliseu romano na Itália.**



Fonte: Carvalho, 2008.

**Figura 2 - Pantheon em Paris.**



Fonte: Carvalho, 2008.

Após o desenvolvimento do concreto estrutural, as construções não utilizaram mais esse tipo de concreto como material de importância estrutural em obras médias e grandes e pelas novas edificações da época caíram no esquecimento por vários séculos devido a robustez e perda de tempo para execução. As obras utilizando a formulação do atual concreto teve início somente após a patente do cimento Portland por um grande revolucionário chamado John Aspdin em 1824 na Inglaterra. Houve aplicação do concreto nas primeiras décadas, mesmo os países da América principalmente o Estados Unidos, da Europa compostos pelos mais

desenvolvidos como França e Inglaterra, que eram as mais desenvolvidas e industrializadas da época, destacando-se as patentes francesas do francês Joseph-Louis Lambot, em 1855, focando na construção de barcos, e, de Joseph Monier aplicando em esculturas de vasos em 1867 (e postes e vigas em 1878), utilizando de forma básica em argamassa armada. Em 1875 a Monier também é inaugurada como o projeto e construção da primeira ponte de argamassa armada, no Castelo de Chazelet (HELENE; ANDRADE, 2005).

O engenheiro alemão Gustav Adolf Wayss compra a patente de Monier, verificando o grande potencial desse novo insumo estrutural para as construções de todas as formas e desenvolveu o uso do concreto armado, impulsionando a sua grande empresa Wayss & Freytag a partir de 1875, sua empresa essa que nos inícios de 1900 teve grande desenvolvimento e influência no Brasil, Uruguai e Argentina. Apartir de 1878, Thaddeus Hyatt, patentia nos Estados Unidos a formulação do concreto armado, alguns anos depois constrói o primeiro edifício na Califórnia, em 1893, porém perde em agilidade para venda de novas patentes do concreto para os demais países, ficando atrás dos alemães e franceses (HELENE; ANDRADE, 2005).

Um grande marco histórico também ocorreu em 1901, quando foi construído em Paris à Rua Donton, 1, no bairro de Quartier Latin, um edifício de sete pavimentos, com instalação da empresa e residência de François Hennebique. Esta obra é considerada o primeiro Edifício de concreto armado, construído com pilares, vigas e lajes, demonstrando (na época) ser seguro o novo sistema construtivo (PEDROSO, 2009).

**Figura 3 - Edifício hennebique.**



Fonte: Pedroso, 2009.

No início do século XX com enorme expansão do uso do concreto armado, junto com esta nova tecnologia cresciam também acidentes e falhas construtivas decorrentes de projetos

inadequados, falhas de execução e materiais de baixa qualidade. As primeiras publicações de normas de projeto e execução de estruturas em concreto armado ocorreram em 1903 na Suíça e na Alemanha, em 1906 na França, em 1907 na Inglaterra, em 1910 nos Estados Unidos e em 1931 no Brasil. É durante os anos 1920 e 1930 que surgem as primeiras usinas de concreto. Com a introdução do concreto pré-misturado nas obras, a qualidade do concreto passa ser mais controlada ajudando obter também mais qualidade construtiva das grandes obras da época (LOTTERMANN, 2013).

O primeiro arranha-céu do Brasil foi o Edifício Sampaio Moreira, com 50 metros de altura, construído em São Paulo à Rua Líbero Badaró. Datado de 1924, ele foi projetado pelos arquitetos Christiano Stockler e Samuel das Neves. Seu título durou até 1929, quando o Edifício A Noite com 102 metros de altura, tomou sua posição no Rio de Janeiro. O Edifício A Noite foi projetado pelo arquiteto Joseph Gire e sua estrutura calculada pelo engenheiro Emilio H. Baugart (LIMA et al., 2014).

### **2.2.3 Principais tipos de concreto**

A princípio o concreto no seu estado fresco permite ser moldado nas mais diversas formas, texturas e finalidades. Contudo, um concreto com qualidade necessita de diversos cuidados, que vão desde a escolha de materiais, a elaboração do projeto de dosagem (traço) que garanta as propriedades informadas ao cliente, a homogeneização da mistura por meio dos caminhões betoneiras, e sua correta aplicação, o adensamento realizado de forma adequada e a cura correta da estrutura, assim, resultando em um produto de qualidade que atenderá a específicas situações, dependendo das exigências que forem expostas (GONÇALVES, 2015).

Existe uma grande variedade de tipos de concreto, cada um atende a um tipo de exigência nas construções, dentre os principais pode-se citar:

- Concreto convencional é o tipo de concreto mais utilizado nas obras de construções. No uso deste concreto é necessário o uso de vibrador para que o adensamento seja realizado da forma correta, devido a baixa trabalhabilidade e sua consistência seca. Por outro lado, não se deve utilizar bombas para o lançamento do concreto convencional. Esta etapa deve ser executada com o auxílio de carrinhos de mão, gericas, guias ou outro meio de transporte manual (PINHEIRO, 2019).
- Concreto usinado (Figura 4) ou dosado em central é aquele produzido com rigoroso controle tecnológico da qualidade do concreto com a quantidade dos

materiais constituintes da mistura (cimento, brita, areia, água e aditivos) definidas por meio da necessidade do cliente. Este tipo de concreto tem como principal vantagem, a garantia por parte do fornecedor quanto à segurança e à obtenção da resistência característica do concreto solicitado para os elementos da obra (PEREIRA, 2019).

**Figura 4 - Concreto usinado.**



Fonte: Pereira, 2019.

- Concreto armado (figura 5) é uma estrutura que adiciona armações de aço ao concreto afim de aumentar sua resistência a forças de compressão e tração. Ele é bastante utilizado em pilares, vigas, dentre outros componentes estruturais. A utilização desse tipo de material traz alguns benefícios como: baixo custo com manutenção das estruturas, necessita de mão de obra menos qualificada se comparado a estruturas metálicas, pode ser moldada de diversas formas e é extremamente durável e resistente (PEREIRA, 2019).

**Figura 5 - Concreto armado.**



Fonte: Pereira, 2019.

- Concreto Protendido é usado quando a estrutura tem a maior razão para a protensão do concreto se dá ao fato de existirem situações em que esse material é submetido a grandes esforços de flexão. Dessa forma, essa técnica se mostra bastante aproveitável também ao seu custo benefício já que, se for feito o correto controle tecnológico, dispensa a manutenção ao longo de sua vida útil. Além disso, é possibilitada a construção de grandes vãos, a utilização do concreto em ambientes agressivos, fabricação de pré-moldados (como as lajes pré-moldadas), reforço de estruturas, entre outros. A técnica da protensão (Figura 6) corre com a inserção de cabos de aço de alta resistência (ancoramento) no concreto e são aplicadas tensões de compressão nas partes da seção tracionadas pelas solicitações dos carregamentos. Com a manipulação das tenções internas, obtém-se a contribuição da área total da seção da do elemento estrutural para a inércia da mesma (PINHEIRO, 2019).

**Figura 6 - Modelo de concreto protendido.**



Fonte: Pinheiro, 2019.

- Concreto de alta resistência é o concreto que possui resistência superior ao convencional à compressão como, por exemplo, de 149 Mpa aos 28 dias. Sua utilização se destina principalmente em fundações, lajes de piso, pilares e vigas de edifícios altos, porém devido suas características de baixa fluência e alta deformação por retração, tende a fissurar na presença de águas agressivas, aquecimento e resfriamento e congelamento e degelo (PINHEIRO, 2019).
- Concreto auto adensável (figura 7) possui uma enorme fluidez, por isso, o seu slump é elevado, sendo superior a 200 mm e para assegurar uma alta homogeneidade, resistência, durabilidade e facilidade de bombeamento são utilizadas aditivos superplastificantes. O que garante a ausência de segregações durante a concretagem, desse modo, não são necessárias ferramentas como

vibradores para realizar o adensamento, diminuindo, significativamente, a mão de obra para realizar essa atividade (PINHEIRO, 2019).

**Figura 7 – Concreto auto adensavel.**



Fonte: Pinheiro, 2019.

### 2.3 FATORES QUE INFLUENCIAM NA RESISTENCIA DO CONCRETO

Segundo Gonçalves (2015), os principais fatores que influenciam a resistência do concreto são:

- Os componentes do cimento, tipos e qualidade;
- Aplicação de aditivos químicos (plastificantes, super-plastificantes, etc) e adições (fibra de aço, fibra de polipropileno, etc), bem como quantidade destes;
- A qualidade de cada um dos materiais que vai compor a mistura (granulometria dos agregados, resistências dos agregados, densidade dos mesmos entre outras);
- Proporções de dosagem: deve-se considerar a relação entre as quantidades de cimento e de agregados, agregados graúdo e miúdo, de água, aditivos e adições se necessário;
- A qualidade final da mistura (concreto) e os fatores que podem alterá-la, ou seja, o clima e a umidade no local;
- Cura: a hidratação do cimento continua por um tempo bastante longo.

A resistência do concreto das estruturas é controlada por meio de ensaios de corpos de prova cilíndricos ou cúbicos, sendo estes moldados, curados e rompidos de acordo com as normas técnicas de cada país. No entanto, sabe-se que as propriedades do concreto em sito variam de acordo com o elemento estrutural (laje, viga, pilar), devido principalmente às

diferenças de compactação, cura e exudação, sendo a resistência do concreto na estrutura menor do que a obtida de ensaios em corpos de prova – padrão.

Segundo Pereira (2008), as variações da resistência em sítio de uma estrutura de concreto devem-se às: variações inerentes a cada betonada, variações entre betonadas, variações próprias de cada elemento estrutural e variações entre os elementos estruturais. A variação entre betonadas pode aumentar a variação da resistência do elemento estrutural se cada um for moldado empregando-se várias betonadas, ou aumentar a variação entre elementos se cada um for moldado com uma única betonada. Assim, para uma avaliação global da resistência do concreto numa estrutura é necessário conhecer o número de betonadas representadas pela amostragem de cada local selecionado.

## 2.4 METODOS PARA AVALIAÇÃO DA RESISTENCIA

Dentre as propriedades do concreto que podem ser avaliadas por meio de ensaios não destrutivos, tem-se: massa específica, módulo de elasticidade e resistência. Ainda podem ser investigadas a dureza superficial, absorção, permeabilidade, condições de umidade, e também a localização das armaduras, existência de vazios e fissuração.

Os ensaios considerados não destrutivos são aqueles que não causam nenhum dano no elemento ensaiado ou deixam pequenos danos para serem reparados após o ensaio. Eles não provocam perda na capacidade resistente do elemento.

Objetivos para realização de ensaios em concreto:

- controle tecnológico em pré-moldados ou construções em sítio;
- aceitação, ou não, de materiais fornecidos;
- esclarecimento de dúvidas a respeito da mão de obra envolvida em mistura, lançamento, compactação ou cura do concreto, transporte;
- monitoramento do desenvolvimento da resistência visando remoção de fôrmas, duração da cura, aplicação de protensão ou de cargas, remoção de escoramento;
- localização e determinação da extensão de fissuras, vazios e falhas de concretagem;
- determinação da posição, diâmetro ou condições das armaduras;
- determinação da uniformidade do concreto;
- aumento do nível de confiança de um pequeno número de ensaios destrutivos;
- verificar a deterioração do concreto resultante de sobrecarga, fadiga, fogo, ataque do meio ambiente;

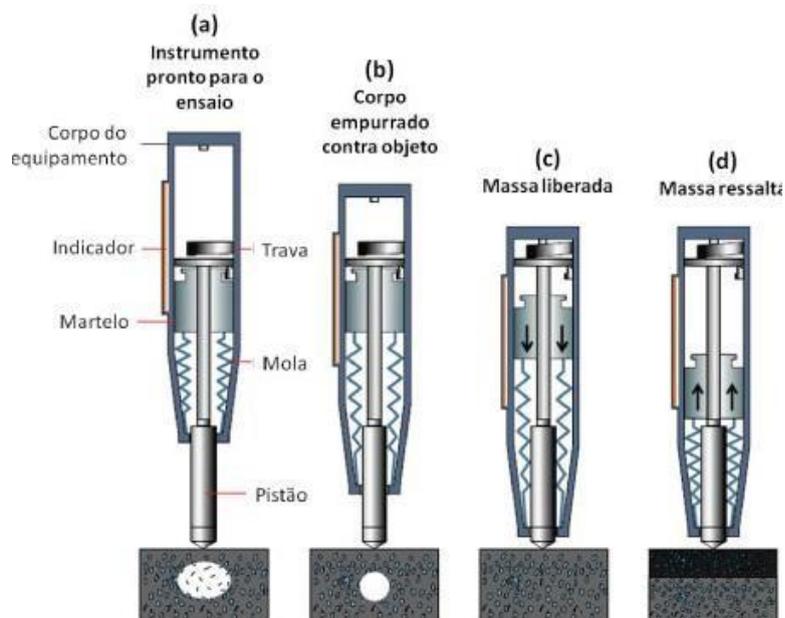
- avaliação do potencial de durabilidade do concreto;
- monitoramento de mudanças das propriedades do concreto ao longo do tempo;
- fornecimento de informações para que se verifique se é possível mudar a utilização de uma estrutura.

São vários os ensaios não destrutivos aplicados na avaliação de estruturas de concreto, tais como: ensaio de arrancamento de pino, ensaio de penetração de pino, método da maturidade, ensaio de esclerometria, ultra-som, eco-impacto, entre outros, Tais métodos de avaliação estão associados às questões técnicas, econômicas e práticas.

## 2.5 MÉTODO DO ESCLEROMETRIA

Este método é conhecido como “rebound hammer method”. O método consiste em submeter a superfície do concreto a um impacto de uma forma padronizada, usando-se uma determinada massa com uma dada energia, medindo-se o valor do ricochete, ou seja, o índice esclerométrico (Figura 8) (I.E.). O ricochete depende do valor da energia cinética antes do impacto e quanto desta energia é absorvida durante o impacto, pois parte da energia é absorvida na fricção mecânica do equipamento, e a outra parte na interação entre a barra de percussão e o concreto. A energia absorvida está relacionada à resistência e à rigidez do concreto (ACI 228, 1989).

**Figura 8 - Funcionamento do equipamento.**



Fonte: Pedroza, 2018.

A resistência do concreto é estimada por meio de curvas de calibração. Tem-se verificado que não há uma correlação única entre o valor do índice esclerométrico (Figura 9) e a resistência à compressão, devido à influência de vários fatores nessa relação: tipo e quantidade de cimento, natureza do agregado, maturidade e teor de umidade do concreto (UTZIG, 2017).

**Figura 9 - Uso do equipamento.**



Fonte: Pedroza, 2018.

Com a utilização deste método, pode-se comparar a qualidade do concreto em diferentes áreas da estrutura sem necessidade de danificar o concreto, o que exigiria pequenos reparos, e também estimar a sua resistência com base em curvas de correlação, porém com acurácia limitada (ACI-364, 1993 ).

### **2.5.1 Vantagens**

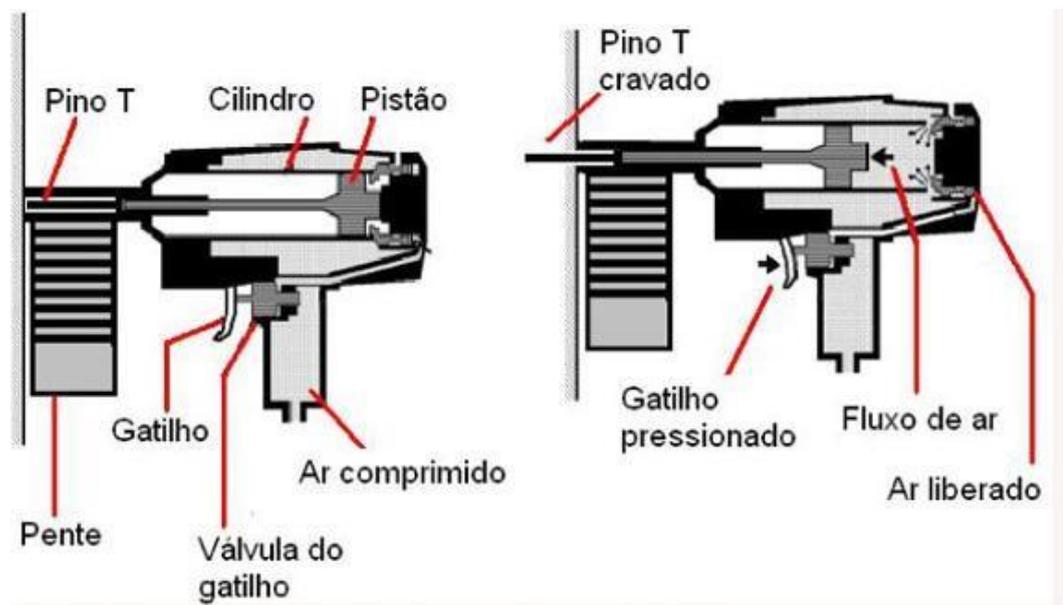
O equipamento é leve, simples de operar e barato, sendo que uma grande quantidade de dados pode ser obtida rapidamente. Os danos que podem ser causados na superfície são praticamente nulos. O método é bom para avaliação da uniformidade do concreto, monitoramento do desenvolvimento da resistência ao longo do tempo, e também estimar a resistência do concreto. Pequenas marcas podem ser causadas nas avaliações em concretos novos ou de baixa resistência (BS1881:Part202, 1986). Como limitação tem-se que os

resultados estão relacionados a uma determinada zona superficial de concreto (profundidade de cerca de 30mm), sendo que após 3 meses há influência da carbonatação do concreto (BS1881:Part 202,1986). De acordo com Teodoru (1988), os resultados são representativos de uma camada de 30mm a 50mm.

## 2.6 MÉTODO DE PENETRAÇÃO DE PINOS

O método consiste no disparo de pinos com uma pistola, que penetram no concreto. Segundo o ACI 228 (1989), a essência do método envolve a energia cinética inicial do pino e a absorção de energia pelo concreto. O pino penetra no concreto até que sua energia cinética inicial seja totalmente absorvida pelo concreto. Parte da energia é absorvida pela fricção entre o pino e o concreto, e outra parte na fratura do concreto como pode ser ilustrado na Figura 10.

Figura 10 - Funcionamento da pistola de pino.



Fonte: Fonseca et al., 2021.

A profundidade da penetração dos pinos é usada para estimar a resistência do concreto usando-se curvas de calibração. O sistema disponível internacionalmente denomina-se “Windsor Probe”.

No Brasil faz-se uma adaptação do método, utilizando-se pistola e pinos da marca WALSYWA. Este método foi inicialmente usado por Vieira (1978). De acordo com a BS 1881 :Part 201 (1986), este método pode ser empregado em concreto com agregado de dimensão máxima de até 50 mm, com a superfície lisa ou áspera, e através das fôrmas de madeira. Com ele pode-se avaliar o concreto entre 25 mm a 75 mm abaixo da superfície (Figura 11).

**Figura 11 - Uso real do método de penetração de pinos.**



Fonte: Fonseca et al., 2021.

O método é influenciado principalmente pelo tipo de agregado, não sendo sensível a fatores como teor de umidade, tipo de cimento e cura (BS 1881 : Part 201,1986).

O método é usado para estimar a resistência à compressão e uniformidade do concreto. Como o ensaio pode ser feito com disparos através da madeira, pode-se estimar a resistência antes da retirada das fôrmas (ACI-364,1993).

### 2.6.1 Vantagens

O equipamento usado neste método é simples e durável; e também não muito sensível à experiência do operador. O método é útil no monitoramento da resistência do concreto, causando danos reduzidos na peça estrutural. (Malhotra,1984, ACI364,1993).

Para realização do ensaio é necessário o acesso apenas a uma face da estrutura. É necessário evitar as barras de aço, no caso do concreto armado, e tomar os cuidados inerentes à utilização de uma arma de fogo. Após as medições, devem ser retirados os pinos, deixando um dano na superfície em torno de 75mm de diâmetro (BS1881:Part 201,1986).

## 2.7 MÉTODO DE ENSAIO DE PACOMETRIA

O ensaio de pacometria é o ensaio não destrutivo que consegue detectar a localização, o diâmetro e cobrimento das barras de aço em estruturas de concreto armado por meio de indução magnética. Também é muito recomendado a utilização do pacômetro (Figura 12) antes

da realização dos ensaios de esclerometria, ultrassonografia e extração de corpos de provas, visto que estes ensaios não podem ser realizados em áreas sobre as armaduras do concreto armado (TOSETTO, 2017).

**Figura 12 - Pacômetro.**

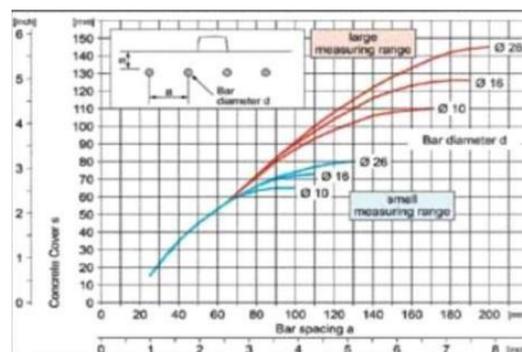


Fonte: Pedroza, 2018.

Para que possa detectar as armaduras o operador vai passando suavemente pela peça de concreto armado, seguindo de anotações e marcações auxiliares na própria peça para identificar bitola de cada armadura, distância e espessura de cobrimento. Alguns dispositivos mais desenvolvidos utilizam o sistema de escaneamento por radar (MOREIRA, 2020).

Além de sua importância no levantamento de dados para a análise estrutural, este ensaio tem importância para guiar outros ensaios que são realizados (esclerometria, ultrassonografia e extração de testemunhos) (TOSETTO, 2017).

**Figura 13 - Gráfico do relatório do ensaio de pacometria.**



Fonte: Pedroza, 2018.

Para que as barras possam ser individualmente identificadas e verificadas de forma correta, o diagrama da Figura 13 mostra o espaçamento mínimo entre as barras (abscissa) e em função da camada de concreto (ordenada).

## 2.8 MÉTODO DE ENSAIO DE TESTEMUNHO

Extração de testemunhos é aplicável quando a resistência característica à compressão do concreto não for atingida a partir dos critérios previstos na ABNT NBR 12655 para aceitação automática do concreto no estado endurecido (PEREIRA, 2008).

O ensaio ilustrado na Figura 14 é determinado pela NBR 7680/2015 – ABNT – “Concreto — Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto”.

**Figura 14 - Ensaio de extração por testemunho.**



Fonte: Gott, 2022.

Segundo Gott (2022), para extrair testemunhos cilíndricos, deve ser empregado um conjunto de extratora provido de cálice e coroa diamantada, ou outro material abrasivo equivalente, que possibilite realizar o corte dos testemunhos com as dimensões estabelecidas, sem danificar excessivamente a estrutura.

O equipamento deve possibilitar refrigeração à água do local do corte do concreto e minimizar vibrações, que devem ser evitadas para se obter paralelismo entre as geratrizes dos testemunhos extraídos e evitar ondulações em sua superfície (PEREIRA, 2008).

O lote deve abranger um volume de concreto que possibilite decidir sobre a segurança da estrutura, mas a extração de testemunhos deve ser tão reduzida quanto possível, para evitar maiores danos aos elementos estruturais analisados. No caso de estruturas sem histórico do controle tecnológico, ou os lotes não identificados por mapeamento durante a concretagem, estas devem ser divididas em lotes, identificados em função da importância dos elementos estruturais que as compõem e da homogeneidade do concreto, que deve ser avaliada por meio de ensaios não destrutivos (FONSECA, 2021).

Conforme Gott (2022), esse é um ponto crucial na análise dos resultados. Primeiramente, vamos comparar os testemunhos extraídos com os corpos de prova moldados

durante o lançamento do concreto. Neste caso, é coletada uma amostra representativa do caminhão betoneira, devidamente homogeneizado, com a qual será moldada uma série de corpos de prova, constituídos por exemplares de pelo menos 2 corpos de prova, que serão rompidos a uma idade pré-determinada.

Portanto, teoricamente, um testemunho nunca terá a resistência do corpo de prova moldado e curado em condições ideais. Quando isso não acontece, provavelmente deve ter ocorrido alguma anormalidade no preparo ou na cura, ou mesmo na ruptura dos corpos de prova; ou seja, há uma não conformidade nos ensaios de controle do concreto (FONSECA, 2021).

Portanto, embora o procedimento de ensaio seja relativamente simples (veja a norma NBR 7680/07 - Extração, Preparo e Ensaio de Testemunhos de Concreto), a análise e interpretação dos resultados e as decisões tomadas a partir deles devem ser feitas criteriosamente e não apenas olhando o resultado da resistência obtido (GOTT, 2022).

### 3 ESTUDO DE CASO

Para a realização do trabalho de conclusão de curso de engenharia civil da UNIEVANGELICA, foi contratado um laboratório especializado para realização de todo processo de extração dos corpos de prova de concreto, ensaio, análise e parecer técnico, a fim de determinar e verificar o cobrimento e o posicionamento das armaduras de aço através do ensaio não destrutivo de pacometria. O local do ensaio é verificado na figura 15.

**Figura 15 - Edifício iluminato residence.**



Fonte: Próprio Autor, 2022.

O ensaio (Figura 16, 17, 18 e 19) foi realizado no edifício residencial, executado em concreto armado, possuindo 5 pavimentos, construído aproximadamente em 2017, localizado no bairro Jardim Belo Horizonte, na cidade de Aparecida de Goiânia-GO.

Foram realizados 3 tipos de ensaios:

- 1) Ensaio de Esclerometria, conforme NBR 7584/2012.
- 2) Ensaio de Pacometria, conforme NBR 6118/2014.
- 3) Ensaio de Testemunho, conforme NBR 7680-1/2015.

Na fase 1 (Figura 16), foi definido e verificado o local onde o equipamento ficaria locado para extração do corpo de prova de concreto.

**Figura 16 - Definição do local de ensaio (Fase 1).**



Fonte: Próprio Autor, 2022.

Na fase 2 (Figura 17), foi instalado o equipamento para extração do corpo de prova de concreto.

**Figura 17 - Instalação do equipamento (Fase 2).**



Fonte: Próprio Autor, 2022.

Na fase 3 (Figura 18), o equipamento está fazendo a extração do corpo de prova de concreto.

**Figura 18 - Execução da demarcação do corpo de prova (Fase 3).**



Fonte: Próprio Autor, 2022.

Na fase 4 (Figura 19), o responsável técnico está fazendo a desinstalação do equipamento.

**Figura 19 - Desinstalação do equipamento.**



Fonte: Próprio Autor, 2022.

## **4 RESULTADOS DOS ENSAIOS**

### **4.1 ENSAIO DE ESCLEROMETRIA**

Foram realizados 16 golpes em 15 peças para avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão conforme preconizado pela ABNT NBR 7584:2012.

*E = Índice Esclerométrico Médio (valor obtido através do impacto do esclerômetro de reflexão sobre a área de ensaio);*

*K = Coeficiente de Correção do Índice Esclerométrico;*

*I<sub>ea</sub> = Índice Esclerométrico Médio Efetivo;*

Considera-se o índice Esclerométrico Médio Efetivo como resultado de resistência à compressão, referente às resistências médias prováveis em diversos elementos estruturais. Neste sentido, os resultados representam uma estimativa da resistência pela dureza superficial.

O principal objetivo deste ensaio foi verificar a resistência do concreto na superfície da peça dos elementos estruturais.

TABELA 1 - VALORES DO ENSAIO DE ESCLEROMETRIA EM CADA PEÇA ESTRUTURAL.

PONTOS DE ENSAIO				PONTOS DE ENSAIO			
<b>1. PEÇA:</b>		<b>(SUBSOLO) Pilar 10</b>		<b>2. PEÇA:</b>		<b>(SUBSOLO) Pilar 25</b>	
<b>POSIÇÃO DO ENSAIO:</b>		<b>0°</b>		<b>POSIÇÃO DO ENSAIO:</b>		<b>0°</b>	
Valores individuais de impacto				Valores individuais de impacto			
37	36	40	38	38	42	36	33
35	42	35	39	35	38	34	35
35	35	39	35	35	35	35	48
35	36	38	40	40	35	35	40
Valor Médio		37,19		Valor Médio		37,13	
Tolerância Superior		40,91		Tolerância Superior		40,84	
Tolerância Inferior		33,47		Tolerância Inferior		33,41	
$I_E$		36,87		$I_E$		36,80	
$k$		0,93		$k$		0,93	
$I_{ea}$ (MPa)		34,29		$I_{ea}$ (MPa)		34,22	
<b>5. PEÇA:</b>		<b>(SUBSOLO) VT2</b>		<b>6. PEÇA:</b>		<b>(TÉRREO) Pilar 31</b>	
<b>POSIÇÃO DO ENSAIO:</b>		<b>0°</b>		<b>POSIÇÃO DO ENSAIO:</b>		<b>0°</b>	
Valores individuais de impacto				Valores individuais de impacto			
42	38	44	38	42	40	42	36
38	40	40	40	38	40	40	38
42	42	40	42	35	42	38	44
40	44	42	44	33	40	35	40
Valor Médio		41,00		Valor Médio		38,94	
Tolerância Superior		45,10		Tolerância Superior		42,83	
Tolerância Inferior		36,90		Tolerância Inferior		35,04	
$I_E$		41,00		$I_E$		39,67	
$k$		1,04		$k$		1,00	
$I_{ea}$ (MPa)		42,64		$I_{ea}$ (MPa)		39,67	
<b>3. PEÇA:</b>		<b>(SUBSOLO) Viga VT7</b>		<b>4. PEÇA:</b>		<b>(SUBSOLO) VT11</b>	
<b>POSIÇÃO DO ENSAIO:</b>		<b>0°</b>		<b>POSIÇÃO DO ENSAIO:</b>		<b>0°</b>	
Valores individuais de impacto				Valores individuais de impacto			
40	38	42	38	40	38	40	36
44	36	42	42	30	40	42	40
44	34	38	44	30	40	40	40
42	42	40	32	32	36	42	39
Valor Médio		39,88		Valor Médio		37,81	
Tolerância Superior		43,86		Tolerância Superior		41,59	
Tolerância Inferior		35,89		Tolerância Inferior		34,03	
$I_E$		36,67		$I_E$		39,00	
$k$		0,92		$k$		0,99	
$I_{ea}$ (MPa)		33,73		$I_{ea}$ (MPa)		38,61	
<b>7. PEÇA:</b>		<b>(TÉRREO) Pilar 11</b>		<b>8. PEÇA:</b>		<b>(TÉRREO) V16</b>	
<b>POSIÇÃO DO ENSAIO:</b>		<b>0°</b>		<b>POSIÇÃO DO ENSAIO:</b>		<b>0°</b>	
Valores individuais de impacto				Valores individuais de impacto			
42	45	42	40	30	32	32	32
42	45	42	45	32	30	29	30
40	42	40	42	38	34	32	38
44	40	45	48	42	32	38	40
Valor Médio		42,75		Valor Médio		33,81	
Tolerância Superior		47,03		Tolerância Superior		37,19	
Tolerância Inferior		38,48		Tolerância Inferior		30,43	
$I_E$		42,40		$I_E$		28,25	
$k$		1,08		$k$		0,72	
$I_{ea}$ (MPa)		45,79		$I_{ea}$ (MPa)		20,34	

**9. PEÇA:** (TÉRREO) V20  
**POSIÇÃO DO ENSAIO:** 0°

Valores individuais de impacto			
30	38	34	40
30	32	34	30
40	38	32	38
35	32	38	32

Valor Médio	34,56
Tolerância Superior	38,02
Tolerância Inferior	31,11
$I_E$	34,82
$k$	0,88
$I_{ea}$ (MPa)	30,64

**11. PEÇA:** (4º PAV) V14 Fundo do Elevador  
**POSIÇÃO DO ENSAIO:** 0°

Valores individuais de impacto			
22	25	28	28
25	22	28	28
23	19	22	25
12	18	16	19

Valor Médio	22,50
Tolerância Superior	24,75
Tolerância Inferior	20,25
$I_E$	17,80
$k$	0,45
$I_{ea}$ (MPa)	8,01

**13. PEÇA:** (2º PAV) P21  
**POSIÇÃO DO ENSAIO:** 0°

Valores individuais de impacto			
22	25	25	25
25	28	28	30
25	28	25	28
22	22	28	30

Valor Médio	26,00
Tolerância Superior	28,60
Tolerância Inferior	23,40
$I_E$	26,36
$k$	0,67
$I_{ea}$ (MPa)	17,66

**15. PEÇA:** (TÉRREO) P15  
**POSIÇÃO DO ENSAIO:** 0°

Valores individuais de impacto			
48	40	42	42
44	44	44	44
44	40	40	40
42	46	42	45

Valor Médio	42,94
Tolerância Superior	47,23
Tolerância Inferior	38,64
$I_E$	42,60
$k$	1,08
$I_{ea}$ (MPa)	46,01

**10. PEÇA:** (TÉRREO) V17  
**POSIÇÃO DO ENSAIO:** 0°

Valores individuais de impacto			
35	40	32	42
35	40	35	40
38	38	39	36
40	39	40	44

Valor Médio	38,31
Tolerância Superior	42,14
Tolerância Inferior	34,48
$I_E$	38,36
$k$	0,97
$I_{ea}$ (MPa)	37,21

**12. PEÇA:** (3º PAV) P15  
**POSIÇÃO DO ENSAIO:** 0°

Valores individuais de impacto			
25	28	28	25
28	29	28	28
25	25	25	32
30	25	30	28

Valor Médio	27,44
Tolerância Superior	30,18
Tolerância Inferior	24,69
$I_E$	27,13
$k$	0,69
$I_{ea}$ (MPa)	18,72

**14. PEÇA:** (1º PAV) V9  
**POSIÇÃO DO ENSAIO:** 0°

Valores individuais de impacto			
20	20	25	23
20	25	22	24
22	22	25	25
25	25	26	24

Valor Médio	23,31
Tolerância Superior	25,64
Tolerância Inferior	20,98
$I_E$	23,92
$k$	0,60
$I_{ea}$ (MPa)	14,35

FONTE: PRÓPRIO AUTOR (2022).

## 4.2 ENSAIO DE PACOMETRIA

Foram realizados neste enquadramento 3 leituras em cada barra encontrada com o intuito de verificar o comportamento da profundidade.

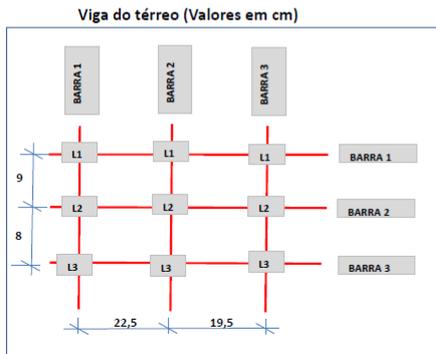
Para verificação do cobrimento da armação nas peças analisadas foram consideradas um equipamento padrão para cada elemento estrutural, para os pilares e vigas foram escaneados levados em considerados uma dimensão de sua seção e 1 metro para outra dimensão. Os blocos, lajes e demais (peças com volumes geométricos grandes) foram considerados um enquadramento de 1 metro x 1 metro (1,00 metro quadrado) de varredura para cada face analisada.

**TABELA 2 - LEITURAS DO ENSAIO DE PACOMETRIA.**

Inspeção - Leituras realizadas Longitudinais/Transversais			
Leituras	Barra 1	Barra 2	Barra 3
L1 (mm)	10	8	10
L2 (mm)	11	9	9
L3 (mm)	10	10	11

Resultados		
Leitura mínima (mm)	Lmi	8
Leitura máxima (mm)	Lmax	11
Profundidade média (mm)	Pm	10

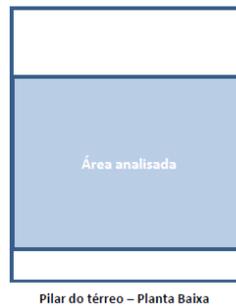
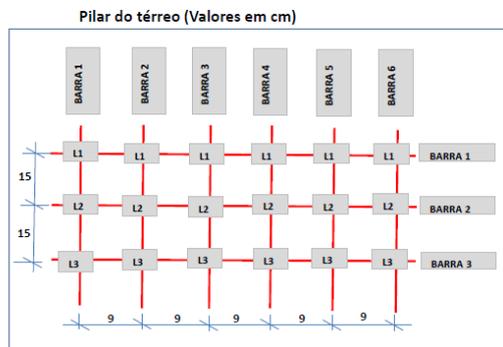
Coqui do elemento inspecionado - cota de profundidade da armação



Inspeção - Leituras realizadas Longitudinais/Transversais						
Leituras	Barra 1	Barra 2	Barra 3	Barra 4	Barra 5	Barra 6
L1 (mm)	20	22	21	21	20	21
L2 (mm)	22	20	21	21	21	21
L3 (mm)	22	23	20	20	20	22

Resultados		
Leitura mínima (mm)	Lmi	20
Leitura máxima (mm)	Lmax	23
Profundidade média (mm)	Pm	21

Coqui do elemento inspecionado - cota de profundidade da armação

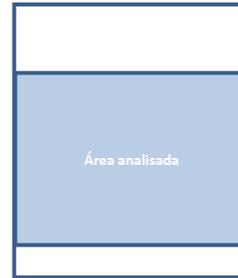
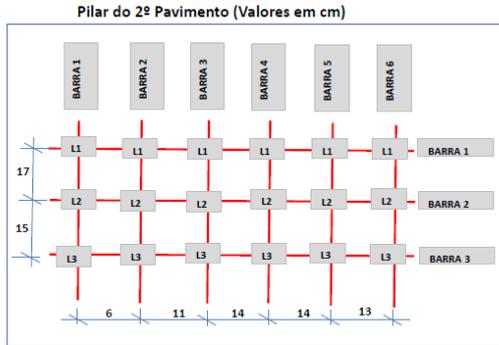


**Inspeção - Leituras realizadas Longitudinais/Transversais**

Leituras	Barra 1	Barra 2	Barra 3	Barra 4	Barra 5	Barra 6
L1 (mm)	23	22	24	21	25	26
L2 (mm)	26	25	25	21	28	27
L3 (mm)	22	23	21	25	27	26

Resultados		
Leitura mínima (mm)	Lmi	21
Leitura máxima (mm)	Lmax	28
Profundidade média (mm)	Pm	24

**Coqui do elemento inspecionado - cota de profundidade da armação**



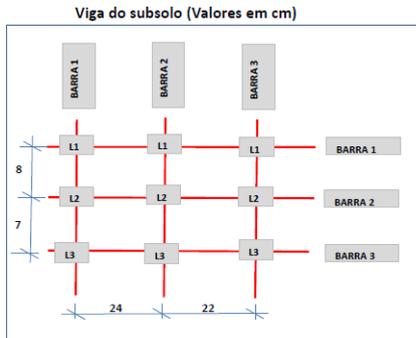
Pilar do 2º Pavimento – Planta Baixa

**Inspeção - Leituras realizadas Longitudinais/Transversais**

Leituras	Barra 1	Barra 2	Barra 3
L1 (mm)	9	8	10
L2 (mm)	7	9	9
L3 (mm)	9	10	11

Resultados		
Leitura mínima (mm)	Lmi	7
Leitura máxima (mm)	Lmax	11
Profundidade média (mm)	Pm	9

**Coqui do elemento inspecionado - cota de profundidade da armação**



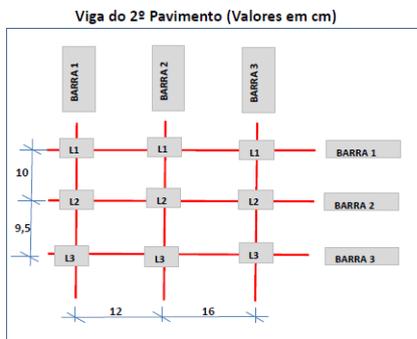
Viga do subsolo – Planta Baixa

**Inspeção - Leituras realizadas Longitudinais/Transversais**

Leituras	Barra 1	Barra 2	Barra 3
L1 (mm)	20	21	20
L2 (mm)	21	22	22
L3 (mm)	20	21	21

Resultados		
Leitura mínima (mm)	Lmi	20
Leitura máxima (mm)	Lmax	22
Profundidade média (mm)	Pm	21

**Coqui do elemento inspecionado - cota de profundidade da armação**



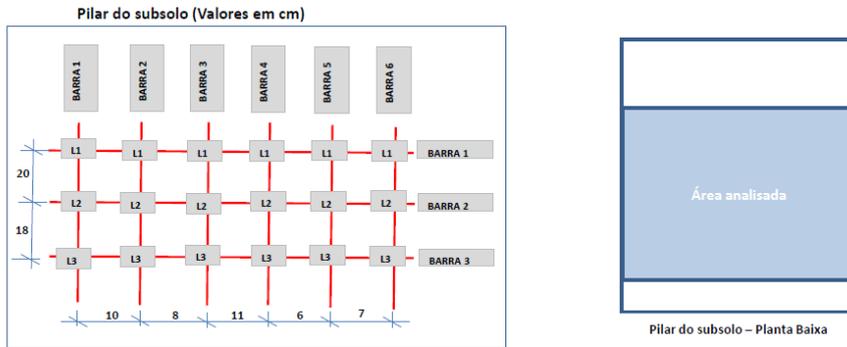
Viga do 2º Pavimento – Planta Baixa

**Inspecção - Leituras realizadas Longitudinais/Transversais**

Leituras	Barra 1	Barra 2	Barra 3	Barra 4	Barra 5	Barra 6
L1 (mm)	16	22	17	15	15	15
L2 (mm)	14	20	18	18	15	16
L3 (mm)	15	18	20	17	20	19

Resultados		
Leitura mínima (mm)	Lmi	14
Leitura máxima (mm)	Lmax	22
Profundidade média (mm)	Pm	17

**Croqui do elemento inspecionado - cota de profundidade da armadura**



Fonte: Próprio Autor, 2022.

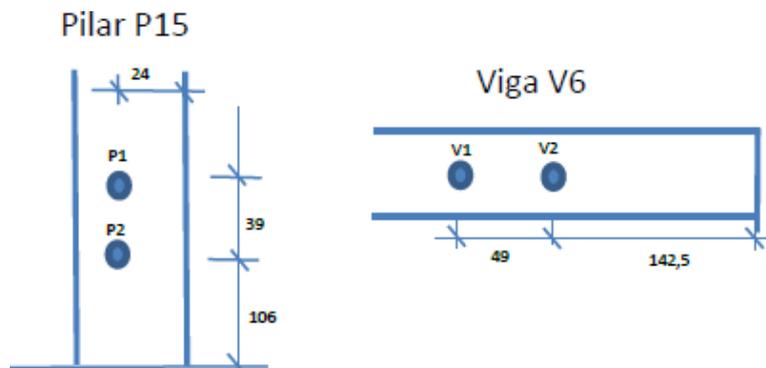
Conforme tabela 2, o principal objetivo foi verificar a localização, o diâmetro e o cobrimento das barras de aço em estruturas de concreto armado para confirmação do aço conforme projeto.

#### 4.3 ENSAIO DE TESTESMUNHO DE CONCRETO

O objetivo principal é avaliar a resistência à compressão de testemunhos extraídos de concreto em diferentes diâmetros.

Foram realizadas extração de 4 corpos de prova com dimensões diferentes, 2 corpos de prova do pilar P15 e outros 2 corpos de prova da viga V6. A resistência de projeto é de no mínimo 25Mpa.

**FIGURA 20 - Croqui de localização dos testemunhos.**



Fonte: Próprio Autor, 2022.

**FIGURA 21 - Corpos de prova para ensaio de testemunho.**



Fonte: Próprio Autor, 2022.

Conforme figura 21, os testemunhos possuem diâmetros diferentes conforme descrito na NBR.

**QUADRO 1 - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO.**

Identificação do testemunho	Diâmetro Médio (mm)	Altura média (mm)	Massa Específica (Kg/m <sup>3</sup> )	Carga KN	f <sub>ci,ext,inicial</sub>	Coeficiente de correção				f <sub>ci,ext</sub> (MPa)
						K1	K2	K3	K4	
P1 (Pilar P15)	63,5	100,6	2122,7	45,55	14,4	0,00	0,09	0,05	-0,04	15,8
P2 (Pilar P15)	63,4	96,5	2263,6	64,75	20,5	0,00	0,09	0,05	-0,04	22,6
V1 (Viga V6)	64,0	128,5	2151,6	53,33	16,6	0,00	0,09	0,00	-0,04	17,4
V2 (Viga V6)	63,5	126,3	2291,2	56,47	17,9	0,00	0,09	0,00	-0,04	18,8

Fonte: Próprio Autor, 2022.

Na tabela acima, pode ser verificado que os testemunhos não atingiram a resistência mínima conforme solicitado em projeto.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No geral os resultados obtidos com os ensaios mostram que a atual estrutura está em boas condições de uso, porém apresenta pontos que irão ao curto prazo precisa de reforço estrutural de acordo com a inspeções e parecer técnico.

Conforme a verificação e avaliação computacional dos ensaios realizados, as vigas e pilares possuem resistência insatisfatória conforme a resistência esperada em projeto para absorverem os esforços máximos de flexão, necessitando de execução de um reforço estrutural.

A amostra de corpos de provas extraídos de pilares e vigas possuem deformações influências na estabilidade da estrutura e armaduras suficientes para resistir ao esforço de flexão, conforme análise computacional. É possível verificar apartir dos relatórios deste trabalho que as armaduras empregadas na estrutura das vigas e pilares condizem conforme projeto, porém durante a execução e aplicação de concreto nos elementos estruturais foi feita de forma indevida, por alguns dos motivos como: excesso de água, maior quantidade de agregados perante o cimento, demora na aplicação do concreto, entre outros fatores. O correto deveria ter sido feito o controle tecnológico durante a execução, acompanhamento e verificação dos serviços estruturais por profissional habilitado. Pois esses itens afetam diretamente a resistência e desenvolvimento da vida útil da construção.

A execução correta evita patologias e aumenta a vida útil da construção. No caso do estudo de caso deste trabalho, será necessário reforço estrutural nos elementos estruturais, visto que não atingiram os limites mínimos de resistência para uma edificação que possui apenas 5 anos de vida, quando o certo seria reforços apartir dos 50 anos de vida útil da construção.

Se caso quiser realizar uma expansão no prédio como um novo pavimento superior ou uma estrutura que exija um sobrepeso, deve-se avaliar e estudar a necessidade de reforço em diversos elementos. Sendo recomendado a contratação de empresa especializada ou profissional habilitado para a elaboração de projetos estruturais.

Para trabalhos futuros fica as seguintes sugestões: para aplicação dos ensaios de pacômetria, esclerometria e testemunho em fundações como blocos de concreto, sapatas e estacas. Seria interessante o estudo comparativo de resistências aplicando os ensaios em estruturas de concreto usinado e concreto executado in loco, entre outros.

## REFERÊNCIAS

- ARANTES, Ismara Simão Curi. **MONITORAMENTO DA EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO POR MEIO DA TÉCNICA DE IMPEDÂNCIA ELETROMECHANICA**. 2021. 217 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.480>.
- ARIVABENE, Antonio Cesar. **PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO ESTUDO DE CASO**. 2015. 22 f. Monografia (Especialização) - Curso de Mba Gerenciamento de Obras, Tecnologia e Qualidade da Construção, Instituto de Pós-Graduação – Ipog, Vitória, 2015.
- BARBOSA, Uende da Silva; SALOMÃO, Pedro Emílio Amador; LAUAR, Guilherme Taroni; RIBEIRO, Paulo Toledo. **REUTILIZAÇÃO DO CONCRETO COMO CONTRIBUIÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro – Unipac Issn 2178-692, Teófilo Otoni, v. 1, n. 1, p. 1-15, dez. 2018.
- BAUER, L. A. F. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO: NOVOS MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL**. v.1. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009, p. 409.
- BUNDER, Jeferson. **O CONCRETO: SUA ORIGEM, SUA HISTÓRIA**. 2016. 20 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós-Graduação – Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
- CARREIRO, Filipe Morais Borges e Tarianne Tavares. **MÉTODOS DE DOSAGENS USUAIS DOS PRINCIPAIS TIPOS DE CONCRETO: UMA REVISÃO TEÓRICA**. 2017. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2017.
- CARVALHO, João Dirceu. **UM POUCO SOBRE A HISTÓRIA DO CONCRETO**. Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil, DEC, Universidade Estadual de Maringá, PR, 2008.
- CORRÊA, Lásaro Roberto. **SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. 2009. 70 f. Monografia (Doutorado) - Curso de Construção Civil, Escola de Engenharia da Ufmg, Belo Horizonte, 2009.
- COUTO, J. A. S., CARMINATTI, R. L., NUNES, R. R. A., & MOURA, R. C. A. (2013). **O CONCRETO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO**. Caderno De Graduação - Ciências Exatas E Tecnológicas - UNIT - SERGIPE, 1(3), 49–58. Recuperado de <https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/552>.
- FONSECA, Felipe Borges et al. **ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA AVALIAÇÃO DA RIGIDEZ EM ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO**. Brazilian Journal Of Development. Curitiba, p. 1-10. 25 fev. 2021.
- GOMES, Marcio da Silva; MARCO, Gerson de. **A CONSTRUÇÃO CIVIL E SEUS RESÍDUOS**. 2021. 12 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Uniara – Universidade

de Araraquara, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/893>. Acesso em: 16 fev. 2022.

GONÇALVES, Eduardo Albuquerque Buys. **ESTUDO DE PATOLOGIAS E SUAS CAUSAS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO DE OBRAS DE EDIFICAÇÕES**. 2015. 156 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

GOTT, Ana Paula Pais et al. **ESTUDO EXPERIMENTAL DA EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO CONCRETO EM FUNÇÃO DA IDADE**. XVII CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES, [s. l.], 3 jun. 2021. Disponível em: [https://web.archive.org/web/20210711142641id\\_/http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/CINPAR.2021.166](https://web.archive.org/web/20210711142641id_/http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/CINPAR.2021.166). Acesso em: 10 fev. 2022.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. **CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais, Ed. Ibracon, São Paulo, 2007. Disponível em < <http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc48.pdf>> Acesso em 05/02/2022.

LIMA, S. F., LIMA, C. I. V., COUTINHO, C. O. D., AZEVEDO, G. G. C., BARROS, T. Y. G., & TAUBER, T. C. (2014). **CONCRETO E SUAS INOVAÇÕES**. Caderno De Graduação - Ciências Exatas E Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS, 1(1), 31–40. Recuperado de <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/1285>.

LOTTERMANN, André Fonseca. **PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO: ESTUDO DE CASO**. 2013. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2013.

MEDEIROS, M. H. F. de; CAPRARO, A. P. B.; RÉUS, G. C.; ESCOBEDO, M. L. **RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO EM TESTEMUNHO DE CONCRETO: INFLUÊNCIA DO FATOR DE ESBELTEZ, DIÂMETRO DA AMOSTRA E MÉTODO DE EXTRAÇÃO**. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Goiânia, v. 13, n. 1, 2017. DOI: 10.5216/reec.v13i1.41073. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/41073>. Acesso em: 2 maio. 2022.

PEDROSO, Fabio Luis. **CONCRETO: AS ORIGENS E A EVOLUÇÃO DO MATERIAL CONSTRUTIVO MAIS USADO PELO HOMEM**. Revista Concreto e Construções, IBRACON, n.53, jan, fev, Mac, 2009.

PEDROZA, Luis Felipe Minieri. **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO ENSAIO NÃO DESTRUTIVO DE PACOMETRIA PARA VERIFICAÇÃO DO COBRIMENTO E POSICIONAMENTO DE BARRAS DE AÇO**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2018.

PEREIRA, Caio. **TIPOS DE CONCRETOS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. 2019. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-concreto/>. Acesso em: 16 fev. 2022.

PEREIRA, Mike da Silva. **CONTROLE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO: PARADIGMAS E VARIABILIDADES: ESTUDO DE CASO**. 2008. 248 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil)-Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

PINHEIRO, Igor. **CONCRETO: OS 8 PRINCIPAIS TIPOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. 2019. Disponível em: <https://www.inovacivil.com.br/tipos-de-concreto/>. Acesso em: 08 fev. 2022.

SILVA, Roziane Pereira da. **A VERIFICABILIDADE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO PRODUZIDO NO CANTEIRO DE OBRA DE UMA CONSTRUTORA NA CIDADE DE ARIQUEMES - RO**. 2020. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Educação e Meio Ambiente, Ariquemes, 2020.

SILVA, Wilson Ricardo Leal da et al. **ENSAIO DE PENETRAÇÃO DE PINO APLICADO NA AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETO PROJETADO**. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, São Paulo, v. 5, n. 3, p. 1-13, jun. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/riem/a/738kG4kT4f6KF6JtgKt7zLs/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 26 jun. 2012.

TOSETTO, Renan Dittrich. **ANÁLISE DE VIABILIDADE DE AMPLIAÇÃO DE UMA EDIFICAÇÃO COMERCIAL UTILIZANDO ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS: ESTUDO DE CASO**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2017.