



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
CAMPUS CARAÚBAS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

MIQUEIAS ALVES TEIXEIRA

**EFEITO DA ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE NA MISTURA DE CONCRETO
UTILIZANDO CIMENTO PORTLAND CP II-Z-32-RS**

CARAÚBAS - RN
2018

**EFEITO DA ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE NA MISTURA DE CONCRETO
UTILIZANDO CIMENTO PORTLAND CP II-Z-32-RS**

Monografia apresentada ao Conselho do Bacharelado em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Rural do SemiÁrido, como obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Francisco César de Medeiros Filho

Coorientador(a): Prof. Me. Leonete Cristina de A. Ferreira

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

T266e TEIXEIRA, MIQUEIAS.
EFEITO DA ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE NA
MISTURA DE CONCRETO UTILIZANDO CIMENTO CP II - Z -
32 - RS / MIQUEIAS TEIXEIRA. - 2018.
63 f. : il.

Orientador: FRANCISCO CÉSAR FILHO MEDEIROS.
Coorientadora: LEONETE FERREIRA.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de , 2018.

1. ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE. 2. CONCRETO
ESPECIAL. 3. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO. I.
MEDEIROS, FRANCISCO CÉSAR FILHO, orient. II.
FERREIRA, LEONETE, co-orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas

da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MIQUEIAS ALVES TEIXEIRA

**O POTENCIAL DA ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE NA MISTURA DE
CONCRETO UTILIZANDO CIMENTO PORTLAND CP II-Z-32-RS**

Monografia apresentada ao Conselho do Bacharelado em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Rural do SemiÁrido, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

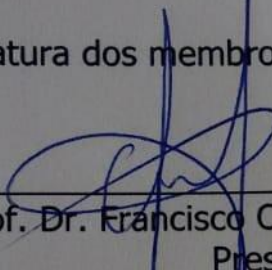
Orientador: Prof. Dr. Francisco César de Medeiros Filho

Coorientador(a): Prof. Me. Leonete Cristina de A. Ferreira

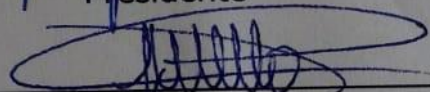
APROVADO EM: 19 / 04 / 2018

19 de abril de 2018.

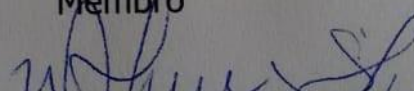
Assinatura dos membros da Banca Examinadora.



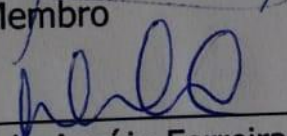
Prof. Dr. Francisco César de Medeiros Filho
Presidente



Prof. Dr. Vamberto Dias de Mello
Membro



Prof. Dr. Walney Gomes da Silva
Membro



Profª. Me. Leonete Cristina de Araújo Ferreira Medeiros Silva
Membro

Agradecimentos

Utilizo deste espaço para agradecer a todos aqueles que diretamente ou indiretamente contribuíram para este trabalho.

Primeiramente agradeço a Deus por nunca deixar faltar.

Segundo, aos meus pais, Neuma Teixeira e Adamilton Teixeira, que através dos seus esforços, me ajudaram nesta caminhada.

A minha irmã mais velha Pricila Teixeira, que tem corroborado em vários aspectos para a conclusão dessa jornada. A minha irmã caçula, Dâmaris Teixeira, que têm que tem sempre me apoiado.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Francisco César de Medeiros Filho, que teve paciência e compreensão para com as dificuldades enfrentadas neste trabalho e fez de tudo para que o mesmo fosse concluído.

A minha coorientadora, Prof. Me. Leonete Cristina de A. Ferreira, que contribuiu de forma importante para este trabalho, principalmente no que diz respeito aos conhecimentos específicos do concreto.

A todos os meus amigos, galera do “chiquinhos house”, galera da capoeira do grupo “FABRAC” vulgo mestre Juá, Azilados 2.0.

Ao professor Dr. Walney Gomes, bem como os técnicos dos laboratórios da ufersa – Caraúbas, assim como o colega Valterson do IFRN, por colaborarem com o manuseio de equipamentos para aquisição dos resultados.

Enfim, a todos que colaboraram de forma direta ou indireta para que este trabalho obtivesse êxito.

“A vida é feita de escolhas”

(Dantas, Fabiano)

RESUMO

O desenvolvimento de concretos especiais tem sido foco de muitos pesquisadores e, na última década, verifica-se o crescente número de trabalhos acerca do emprego do tratamento magnético na água para a mistura do concreto, conferindo-lhe um aumento da trabalhabilidade e na resistência à compressão do mesmo. Diante disso, o enfoque deste trabalho é analisar o efeito que a água tratada magneticamente (ATM) tem sobre o concreto, considerando a geometria dos ímãs empregados para a geração do campo. Para tanto, foram produzidos um total de 18 corpos de provas de concreto com a mesma proporção dos elementos constituintes da mistura, sendo divididos em três grupos: o grupo controle ($CP_{cont.}$), cuja água da mistura não sofreu tratamento magnético; o grupo teste com ímãs de geometria L (CP_L), cuja água sofreu atuação de campo magnético proveniente de ímãs com geometria em forma da letra L (ímãs de HD); e o grupo teste com ímãs de geometria anel (CP_{anel}), cuja água foi submetida ao campo proveniente de ímãs com geometria em formato de anel (ímãs de som convencional). O tempo de atuação do campo magnético nos dois últimos grupos foi de 24 horas, antes da produção do concreto. A trabalhabilidade foi avaliada através do *slump test*, para posterior comparação entre os grupos. Os ensaios de resistência mecânica à compressão foram realizados aos 07 dias e aos 28 dias de idades. Os resultados obtidos até o momento demonstram que os concretos produzidos com água tratada magneticamente apresentam aumento da trabalhabilidade, conforme verificado na literatura. Quanto à resistência à compressão, verificou o aumento nos CP_L e CP_{anel} , quando comparados ao $CP_{cont.}$. Dentre o grupo de concreto produzido com ATM, o maior valor na resistência do concreto à compressão, foi obtido no grupo CP_{anel} , aumentando quase 15% em relação aqueles feitos com água comum. Diante desses resultados, tal incremento demonstra-se viável ao desenvolvimento futuro de uma nova técnica

Palavras Chave: Água tratada magneticamente; Concreto especial, Resistência à compressão.

ABSTRACT

The development of special concretes has been the focus of many researchers and, in the last decade, there has been a growing number of studies about the use of magnetic treatment in water for concrete mixing, increasing its workability and resistance to compression. The development of special concretes has been the focus of many researchers and, in the last decade, there has been a growing number of studies about the use of magnetic treatment in water for concrete mixing, increasing its workability and resistance to compression. Therefore, the focus of this work is to analyze the effect that the magnetically treated water (MTA) has on the concrete, considering the geometry of the magnets used to generate the field. For this purpose, a total of 18 specimens of concrete with the same proportion of the constituent elements of the mixture were produced, being divided into three groups: the control group ($CP_{cont.}$), Whose water of the mixture was not subjected to magnetic treatment; the test group with magnets of geometry L (CP_L), whose water has undergone magnetic field action from magnets with geometry in the form of letter L (HD magnets); and the test group with ring geometry magnets (CP_{anel}), whose water was submitted to the field from magnets with ring-shaped geometry (conventional sound magnets). The development of special concretes has been the focus of many researchers and, in the last decade, there has been a growing number of studies about the use of magnetic treatment in water for concrete mixing, increasing its workability and resistance to compression. Therefore, the focus of this work is to analyze the effect that the magnetically treated water (TM) has on the concrete, considering the geometry of the magnets used to generate the field. For this purpose, a total of 18 specimens of concrete with the same proportion of the constituent elements of the mixture were produced, being divided into three groups: the control group ($CP_{cont.}$), Whose water of the mixture was not subjected to magnetic treatment; the test group with magnets of geometry L (CP_L), whose water has undergone magnetic field action from magnets with geometry in the form of letter L (HD magnets); and the test group with ring geometry magnets (CP_{anel}), whose water was submitted to the field from magnets with ring-shaped geometry (conventional sound magnets). The magnetic field performance in the last two groups was 24 hours, before the concrete production. The workability was evaluated through the slump test, for later comparison between the groups. Mechanical compression strength tests were performed at 7 days and at 28 days of age. The results obtained so far demonstrate that the concretes produced with magnetically treated water show increased workability, as verified in the literature. In relation to the compressive strength, the increase in CP_L and CP_{anel} , when compared to $CP_{cont.}$, Was obtained in the CP_{anel} group, increasing by almost 15%. relation to those made with ordinary water. In view of these results, this increase proves viable for the future development of a new technique.

Keywords: Magnetically treated water; Special concrete, Compressive strength.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1: Limalhas de ferro representando o comportamento das linhas de campo de um ímã.....	19
Figura 2: Configuração de dipolo atômico para um material diamagnético com e sem um campo magnético. Na ausência de um campo externo, não existe nenhum dipolo; na presença de um campo, são induzidos dipolos que se alinham em sentido oposto ao sentido do campo.....	21
Figura 3: Configuração de dipolo atômico com e sem campo magnético externo para um material paramagnético.	22
Figura 4: Ilustração esquemática do alinhamento mútuo de dipolos atômicos para um material ferromagnético, que existe mesmo na ausência de um campo magnético externo.	23
Figura 5: Representação esquemática do Alinhamento de momentos magnéticos antiparalelos para antiferromagnética de óxido de manganês.	23
Figura 6: Diagrama esquemático mostrando a configuração dos momentos magnéticos de spin para íons do Fe.	24
Figura 7: Curva de Abrams para as respectivas resistências do cimento aos 28 dias de cura.....	28
Figura 8: Ilustração da estrutura molecular da água.	29
Figura 9: (a) Clusters isolados na rede contínua de moléculas de água (modelo de misturas); (b) Ampliação de um cluster de água; (c) Rede contínua de moléculas de água (modelo contínuo).....	30
Figura 10: Cristais de hidróxido de cálcio do cimento preparada com água de torneira.	32
Figura 11: Cristais de hidróxido de cálcio no cimento preparado com água tratada magneticamente.....	32
Figura 12: cimento utilizado	35
Figura 13: Areia utilizada.	36
Figura 14: Umidade da amostra – Speedy test.....	38
Figura 15: Brita utilizada.....	39
Figura 16: Ímãs de geometria anel usados para o tratamento da água.....	42
Figura 17: Ímãs de geometria L usados para o tratamento da água	42

Figura 18: Teslômetro de medição	42
Figura 19: Conjunto Slump test (teste da trabalhabilidade)	45
Figura 20: Vista superior dos moldes de corpos de prova	46
Figura 21: Desmoldante	47
Figura 22: Processo de cura dos CP's	47
Figura 23 Retificação dos CP's	48
Figura 24: Rompimento dos CP's com a prensa EMIC SSH300	48
Figura 25: Curvas de tensão-deformação para os CP's do grupo CP _{cont} aos 7 dias de cura	51
Figura 26: Curvas de tensão-deformação para os CP's do grupo CP _{anel} aos 7 dias de cura	51
Figura 27: Curvas de tensão-deformação para os CP's do grupo CP _L aos 7 dias de cura	52
Figura 28: Curvas de tensão-deformação para os CP's do grupo CP _{cont} aos 28 dias de cura	53
Figura 29: Curvas de tensão-deformação para os CP's do grupo CP _{anel} aos 28 dias de cura	54
Figura 30: Curvas de tensão-deformação para os CP's do grupo CP _L aos 28 dias de cura	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de cimento Portland	26
Tabela 2: Classificação dos agregados quanto à massa específica	27
Tabela 3: Propriedades físico-químicas do cimento CP II-Z-32-RS.....	35
Tabela 4: Ensaio granulométrico da areia e obtenção do módulo de finura	37
Tabela 5: Ensaio granulométrico da brita e obtenção do módulo de finura	40
Tabela 6: Intensidades dos ímãs.....	43
Tabela 7: Vidrarias e utilitários	43
Tabela 8: Equipamentos.....	44
Tabela 9: Traço	44
Tabela 10: Consumo de materiais para 18 CP's	45
Tabela 11: Divisão dos grupos de CP's produzidos de acordo com os tipos de águas	46
Tabela 12: Resultados do ensaio de consistência do concreto	49
Tabela 13: Valores das resistências á compressão aos 7 dias de cura.....	52
Tabela 14: Valores das resistências á compressão aos 28 dias de cura.....	55

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva granulométrica para a amostra 1 da areia.....	37
Gráfico 2: Curva granulométrica para a amostra 2 da areia.....	38
Gráfico 3: Curva granulométrica para a amostra 1 da brita.....	40
Gráfico 4: Curva granulométrica para a mostra 2 da brita.....	41
Gráfico 5: Curvas de resistência á compressão	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ATM – Água tratada magneticamente;

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland;

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

RS – Resistente a sulfatos;

CP_{cont.} – Corpos de prova do grupo controle;

CP_L - Corpos de prova do grupo tratado com ímãs de geometria L;

CP_{anel} - Corpos de prova do grupo tratado com ímãs de geometria anel;

CP's – Corpos de prova;

CP – Cimento Portland;

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora;

SUCS – Sistema Unificado de Classificação do Solo;

a/c – Relação água-cimento para o cálculo do traço;

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. Objetivos.....	17
2.1. Objetivo geral	17
2.2. Objetivos específicos	17
3. REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1. MAGNETISMO.....	18
3.1.1. Um Pouco da História.....	18
3.1.2. Conceitos básicos.....	20
3.1.3. Principais Fases Magnéticas	20
3.2. Concreto.....	25
3.2.1. Cimento Portland	25
3.2.2. Agregados.....	26
3.2.3. Água.....	27
3.3. A influência do campo magnético na água.....	28
3.4. O potencial da água tratada magneticamente na mistura de concreto.....	31
4. MATERIAIS E METODOLOGIA	34
4.1. Materiais.....	34
4.1.1. Cimento	34
4.1.2. Agregado miúdo	35
4.1.3. Agregado graúdo	38
4.1.4. Água	41
4.1.5. Ímãs.....	41
4.1.6. Vidrarias e equipamentos de laboratório	43
4.2. METODOLOGIA	44
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49

5.1. Trabalhabilidade (<i>slump test</i>).....	49
5.2. Resistência à compressão do concreto.....	50
6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	58
6.1. Conclusões	58
6.2. Perspectivas.....	59
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

1. INTRODUÇÃO

No decorrer da história da humanidade, é possível ver a dinâmica do homem para descobrir, criar ou inovar algo na perspectiva de resolver problemas da sociedade e/ou melhorar a vida da mesma. Assim, são notórios os constantes avanços científicos e tecnológicos nas mais diversas áreas para atingir tais objetivos.

Neste último século, grande parte da tecnologia de ponta, deve-se as novas técnicas de caracterização: ultracentrifugação, espalhamento de luz e tantas outras. Foi através delas que a ciência pôde penetrar melhor dentro dos materiais e observar através de dados, o que lá acontecia. Universidades e empresas vem dedicando-se e investindo forte para suprir um mercado em grande expansão e com alto nível de exigência.

Foi então que nesse cenário, os conhecimentos em magnetismo apresentaram grande relevância, pois possibilitaram o entendimento de sistemas cada vez mais complexos, sugerindo novos materiais, com novas formas e geometrias, além de propiciar novas técnicas de produção. Os setores que mais foram beneficiados na contemporaneidade, foram a informática e a farmacêutica, onde receberam os maiores investimentos e as maiores atenções. (MEDEIROS, 2016)

No entanto, a adição do magnetismo não se deu apenas nestas áreas. Sua aplicação tem sido algo extremamente abrangente e sem fronteira. Por exemplo, na agricultura, foi comprovado experimentalmente que existem diferenças significativas na germinação e no desenvolvimento de plantas as quais foram tratadas com campo magnético. Tal experimento foi realizado por Duarte *et. al.* (2004), mostrando que os efeitos da irrigação utilizando ATM em uma variedade de tomate, bioestimulou a planta, acelerando o seu crescimento e produção.

Outra fantástica aplicação é no corpo humano, mais especificamente no sistema nervoso. De acordo com estudos feitos e publicados no livro “Guia médico da saúde mental”, pelo Doutor Márcio Bontempo, o sistema nervoso é responsável pela organização de todas as atividades do corpo humano, através do envio de mensagens coordenadas diretamente pelo encéfalo (Centro de controle do corpo humano). O sistema nervoso autônomo é um dos seus subsistemas que coordena o trabalho de todos os órgãos, involuntariamente. Essas tarefas são facilitadas com a ingestão regular de água tratada magneticamente, já que a mesma tem a capacidade de estimular os impulsos elétricos que conduzem informações entre o sistema nervoso

central, os músculos e os mais diferentes órgãos. Pode ajudar ainda, em distúrbios mentais como fadiga mental e irritabilidade. (BONTEMPO, 2004)

Na indústria automobilística, a exigência do mercado consumidor fez com que as aplicações magnéticas fossem cada vez mais utilizadas, seja através de sensores, seja através de uso de ímãs permanentes. Em um carro normal, por exemplo, conhecidos como carros populares, onde a quantidade de acessórios é bem reduzida, se comparada aos carros de luxo, encontramos ainda, pelo menos 36 (trinta e seis) recursos cuja utilização se dá via magnetismo.

Um outro setor da informática que tem passado por constantes reformas, são as chamadas mídias de gravação magnéticas. Nelas, a viabilidade para suportar a gravação, a estabilidade térmica e o sinal de gravação devem, simultaneamente, estar de acordo com a gravação de um dado bit. Para superar este obstáculo, as chamadas mídias padronizadas têm sido a maior promessa. Nela as nanopartículas magnéticas mantem o equilíbrio entre a redução do campo de reversão, permitindo a gravação via cabeçote, e a estabilidade térmica. (NOGUÉS, 2014).

O fato é que a indústria requer o desenvolvimento de materiais magnéticos artificiais ou técnicas de produção para suprimir suas necessidades, como miniaturização, alta performance, baixo custo e minimização do tempo de produção. Para isso, a pesquisa tem sido o principal véis.

Na área da engenharia civil, a qual é o nosso foco, constatou-se que se a água tratada com campo magnético fosse utilizada na preparação do concreto, haveria uma melhora na qualidade do mesmo, aumentando sua resistência à compressão, a densidade e a resistência ao impacto. (SU, MAR E WAN). Além disso, foi comprovado que a porosidade do concreto e a absorção de água são menores, levando a uma maior dureza do material (LAZARENKO e ZHURAVLEV, 1985).

Então, foi a partir desta motivação que nós desenvolvemos este trabalho através da interdisciplinaridade entre os conhecimentos físicos sobre magnetismo aplicados na engenharia civil. Nossa proposta é de que o tratamento magnético na água de forma estática via ímãs permanentes, possa interferir nos resultados de trabalhabilidade e de resistência a compressão. Para isso utilizamos ímãs com duas geometrias no intuito de perceber qual deles melhor se adequa a situação.

Dessa forma, para um melhor entendimento, o presente trabalho vai apresentar-se didaticamente da seguinte forma: no capítulo 3 mostraremos o referencial teórico onde serão apresentados os principais conceitos físicos e da

engenharia civil envolvidos na pesquisa e uma espécie de estado da arte deste novo ramo, no capítulo 4, mostraremos os materiais e o método investigativo que utilizamos para desenvolver esta pesquisa, no capítulo 5 apresentaremos nossos resultados e as discussões sobre eles, e no capítulo 6 estarão as nossas conclusões e perspectivas com relação ao que foi desenvolvido aqui.

2. Objetivos

2.1. Objetivo geral

Avaliar a influência da água tratada magneticamente na trabalhabilidade e na resistência a compressão do concreto.

2.2. Objetivos específicos

- Criar um traço específico de acordo com o método da ABCP com as características desejadas;
- Ensaiai todos os CP'S para obtenção da trabalhabilidade e da resistência á compressão;
- Analisar de forma comparativa os resultados obtidos entre o grupo de CP's com ATM e com água comum.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. MAGNETISMO

3.1.1. Um Pouco da História

Os primeiros estudos sobre o magnetismo começaram em lugares e épocas diferentes. Algumas literaturas apontam para a região de Magnésia, na Grécia, no século V a.C, onde Tales de Mileto percebeu que algumas pedrinhas tinham um comportamento misterioso ao atraírem elementos metálicos. (CORDEIRO, *et. al.* 2010). Outra versão, diz sobre a capacidade de atração de uma pedra conhecida hoje por magnetita ou ímã de pedra, quando então um pastor que pastoreava seu rebanho na região do monte Ida, notou que em volta do seu cajado, que tinha ponta de ferro, juntaram-se alguns tipos de pedras. Segundo Josafá (2004), até hoje não se sabe ao certo onde se deu o início do estudo.

Com tudo, certamente foram os chineses a serem os primeiros a fazer aplicações de ímãs. No início da era cristã, alguns chineses que eram conhecidos como adivinhos, utilizavam um precursor da bússola. Era uma espécie de colher feita de magnetita que, ao ser colocada em um ponto de apoio em equilíbrio, podia se mover livremente. Esse protótipo era conhecido como “a colher que apontava para o sul”, sempre presente nos seus rituais (ALBERTO, 2005)

Seguindo a diante na linha do tempo, no século XIII, Pierre de Maricourt, em uma de suas correspondências enviadas para um amigo, descreve com detalhes a maioria de seus experimentos com magnetismo que perduraram até hoje nos livros de física atuais, como por exemplo, as nomenclaturas “Polo norte e Polo sul”, bem como “Os opostos se atraem, iguais se repelem” associados ao fenômeno (ZILSEL, 2003)

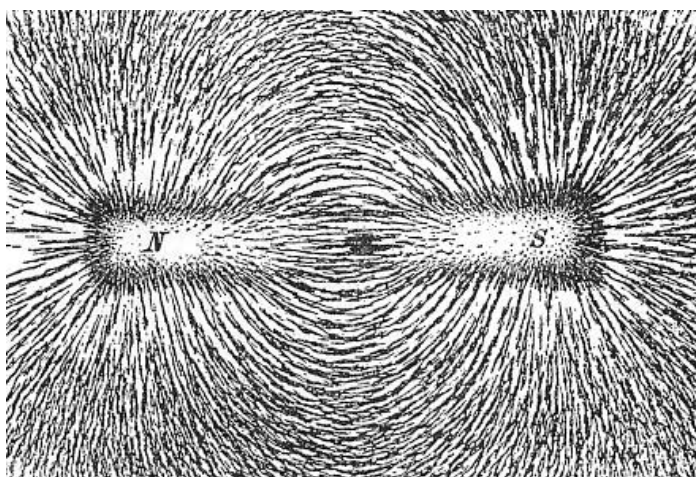
Dando continuidade ao trabalho de Maricourt, William Gilbert, em um livro publicado em 1600, explica o comportamento da bússola, propondo que a terra se comportava como um ímã de dimensões exorbitantes. Ainda outras conclusões de sua parte, uma delas fala de que um ímã quando aquecido a certa temperatura perderia suas propriedades magnéticas. O livro trata, não apenas de magnetismo, mas também de eletricidade (ZILSEL, 2003)

Alguns séculos depois, em 1820, os estudos na área da eletricidade se tornaram cada vez mais intenso e foi nessa época que Hans Orsted estabeleceu de forma sólida que eletricidade e magnetismo estão intimamente relacionados. Pois em uma de suas experiências, Orsted mostrou que correntes elétricas provocavam efeitos magnéticos em sua vizinhança. (SILVA, 2014).

Na contemporaneidade, tem-se Michael Faraday com estudos sobre indução magnética. James Maxwell, com suas equações (equações de Maxwell), explicou o domínio que a eletricidade tem sob o magnetismo, bem como a descoberta de ondas eletromagnéticas, abrindo caminho para o estudo da óptica e agora o tão conhecido campo: “eletromagnetismo”. (MAGNO, A. 2005)

Nesse contexto, um ímã tem a propriedade de atrair pedaços de ferro, bem como dois ímãs podem se atrair ou se repelir. Segundo SILVA (2010), tal comportamento pode ser explicado através de suas linhas de campo, onde um determinado ímã cria no espaço em sua volta um campo magnético o qual podemos representar pelas linhas de indução magnética, essas linhas de indução atravessam de um polo a outro do ímã (veja figura 1). É por esse motivo, inclusive, que mesmo que um ímã seja partido ao meio, separando os polos: norte e sul, ele sempre se reorganizará de maneira a formar dois polos.

Figura 1: Limalhas de ferro representando o comportamento das linhas de campo de um ímã.



Fonte: M, F Manuel

3.1.2. Conceitos básicos

Um campo magnético em qualquer lugar possui tanto uma direção quanto uma magnitude (força). Podemos dizer assim, que o mesmo é um campo vetorial.

A indução magnética, ou também chamada de densidade do fluxo magnético, indicada por B , representa a magnitude do campo interno no interior de uma substância que está sujeita a um campo externo H . A unidade para B é o tesla. (CALLISTER, 2003).

A intensidade do campo magnético e a densidade do fluxo estão relacionados de acordo com a equação 1.

$$B = \mu_0 H \quad (1)$$

O parâmetro μ_0 é a permeabilidade do vácuo, uma propriedade do meio físico através do qual o campo H passa e onde B é medido. A permeabilidade do vácuo é uma constante universal com o valor de $4\pi \times 10^{-7}$ e tem dimensões de weber por ampère-metro (Wb/A.m). (CALLISTER, 2003).

Outra grandeza de campo, M , denominada magnetização do sólido, é definida pela expressão 2 abaixo.

$$B = \mu_0 H + \mu_0 M \quad (2)$$

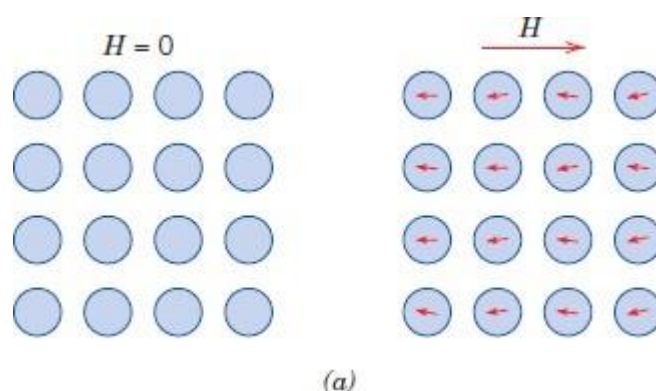
Esta expressão mostra que, na presença de um campo externo H , os momentos magnéticos no interior de um material tendem a ficar alinhados com o campo e a reforça-lo em virtude de seus campos magnéticos. O termo $\mu_0 M$ é uma medida dessa contribuição e M é proporcional ao campo aplicado H . (CALLISTER, 2003).

3.1.3. Principais Fases Magnéticas

De acordo com RIBEIRO (2000), as fases magnéticas podem ser classificadas de acordo com a origem microscópica de sua magnetização e de suas interações internas. Os principais tipos de fases são o Diamagnetismo, Paramagnetismo, Ferromagnetismo, Antiferromagnetismo e Ferrimagnetismo.

O Diamagnetismo, em geral, corresponde ao tipo mais fraco de resposta magnética de um sistema, caracterizado por fase negativa e da ordem de 10^{-5} (SI). O seu efeito é diminuir o módulo do campo no interior do material. Está presente em todos os materiais, ou seja, todo material é diamagnético, mas isto só é observado quando não existem outros tipos de comportamentos magnéticos superpostos (RIBEIRO, 2000). A figura 2 logo abaixo, representa esquematicamente o comportamento dos momentos magnéticos quando um material diamagnético está na presença de um campo externo aplicado sobre ele, vejamos:

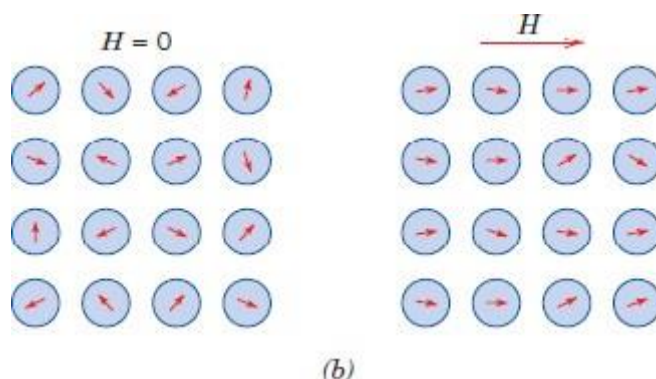
Figura 2: Configuração de dipolo atômico para um material diamagnético com e sem um campo magnético. Na ausência de um campo externo, não existe nenhum dipolo; na presença de um campo, são induzidos dipolos que se alinham em sentido oposto ao sentido do campo.



Fonte: Callister (2003)

Paramagnetismo é o fenômeno que ocorre em materiais que possuem momentos magnéticos intrínsecos não interagentes entre si. Na ausência do campo magnético nestes materiais a magnetização é nula (RIBEIRO, 2000). A figura 3 logo abaixo, representa esquematicamente o comportamento dos momentos magnéticos quando este material está na ausência e na presença de um campo externo aplicado sobre ele, vejamos:

Figura 3: Configuração de dipolo atômico com e sem campo magnético externo para um material paramagnético.

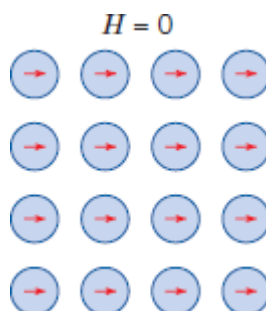


Fonte: Callister (2003)

Na figura acima percebamos que quando o material não está sob influência do campo a organização dos momentos dá-se de forma aleatória o que dá um somatório resultante nulo, já quando eles ficam sob a influência do campo externo, os momentos alinham-se na direção do mesmo, fazendo com que o material agora apresente uma certa magnetização.

Alguns elementos metálicos apresentam uma alta magnetização espontânea. Essa alta magnetização, está relacionada ao fato dos momentos de dipolo magnético serem altamente interagentes e se alinham paralelamente entre si. Os materiais que possuem esta característica, são chamados de elementos ferromagnéticos. São exemplo deste tipo de material o ferro, cobalto, níquel, entre outros (RIBEIRO, 2000). A figura 4 logo abaixo, representa esquematicamente o comportamento dos momentos magnéticos quando este material está na ausência de campo externo aplicado sobre ele, vejamos:

Figura 4: Ilustração esquemática do alinhamento mútuo de dipolos atômicos para um material ferromagnético, que existe mesmo na ausência de um campo magnético externo.

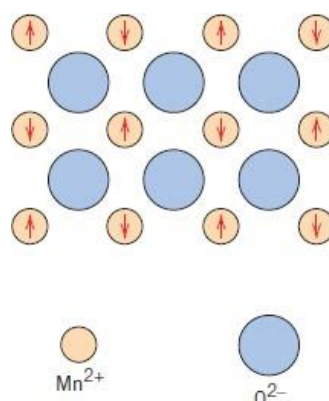


Fonte: Callister (2003)

Como já foi mencionado anteriormente e observado na figura acima, tais materiais metálicos possuem um momento magnético permanente diferente de zero na ausência de um campo externo e devido a isso manifestam uma magnetização muito grandes e permanentes.

O Antiferromagnetismo é o fenômeno de emparelhamento dos momentos magnéticos de átomos ou íons adjacentes, semelhante ao que ocorre nos materiais ferromagnéticos. A diferença é que nos materiais antiferromagnetos o alinhamento dos momentos se dá de uma forma antiparalela (em sentidos contrários) em qualquer direção de análise. Assim o somatório geral da magnetização será sempre nulo. (CALLISTER, 2003). A figura 5 logo abaixo, representa esquematicamente o comportamento dos momentos magnéticos do óxido de manganês, vejamos:

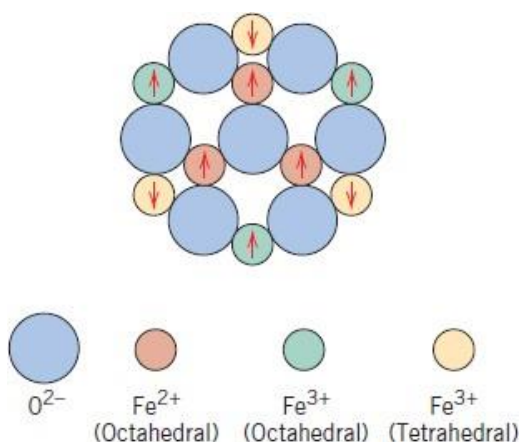
Figura 5: Representação esquemática do Alinhamento de momentos magnéticos antiparalelos para antiferromagnética de óxido de manganês.



Fonte: Callister (2003)

Já o ferrimagnetismo consiste no fenômeno de magnetização permanente de alguns materiais e substâncias. O princípio do ferrimagnetismo pode ser explicado pelos compostos chamados de ferritas cúbicas. Esses materiais iônicos podem ser representados pela fórmula química $M\text{Fe}_2\text{O}_4$, na qual M representa qualquer um dentre vários elemento metálicos. Vejamos a figura 6.

Figura 6: Diagrama esquemático mostrando a configuração dos momentos magnéticos de spin para íons do Fe.



Fonte: O autor

Conforme ilustração, os momentos de spin de todos os íons Fe^{3+} localizados nas posições octaédricas estão alinhados paralelamente uns com os outros. Entretanto, eles estão posicionados no sentido oposto á dos íons Fe^{3+} localizados nas posições tetraédricas, os quais também estão alinhados. Isso resultado do acoplamento antiparalelo de íons de ferro adjacentes. Dessa maneira, os momentos de spin de todos os íons Fe^{3+} cancelam-se mutuamente, não dando qualquer contribuição resultante para a magnetização do sólido. Porém, todos os íons Fe^{2+} apresentam seus momentos alinhados na mesma direção. Este momento total é responsável pela magnetização resultante.

3.2. Concreto

O concreto, conceitualmente, é o resultado da junção de agregados que, na presença de água, forma uma pasta resistente e aderente aos fragmentos destes agregados, apresentando características específicas, dependendo dos aditivos adicionados ao mesmo (CARVALHO, 2008). BUNAUER e COPELAND (1964), disseram que o material de construção mais utilizado é o concreto, comumente composto da mistura de cimento Portland com areia, brita e água. Em muitos países, a proporção do consumo de concreto sobre o consumo de aço é de dez para um.

Mas por que o concreto é o material estrutural mais consumido da engenharia? METHA e MONTEIRO (2008) citam três principais razões que fazem com que este material seja tão consumido. A primeira razão diz respeito à excelente resistência do concreto à água, ele possui uma enorme capacidade de enfrentar a ação da água sem grave deterioração; a segunda é a variedade de formas e tamanhos que podem ser obtidos com o uso do concreto como elemento estrutural; a terceira é o baixo custo e a rápida disponibilidade do material para a execução de uma obra, pois os componentes para a sua produção – agregado, água e cimento Portland – são relativamente baratos e tem grande facilidade para serem encontrados em todos os lugares.

Logo abaixo, explicaremos todos os constituintes do concreto um a um.

3.2.1. Cimento Portland

Segundo a ABCP (Associação brasileira de cimento Portland), o cimento Portland é o material de construção mais utilizado em todo o mundo e, no Brasil, sua efetiva produção iniciou há cerca de 75 anos.

De acordo com Bauer (2000), cimento Portland é basicamente o produto final após a pulverização de clinker (produto de natureza granulosa, resultante da calcinação de silicatos conduzido até a temperatura de sua fusão incipiente), constituído essencialmente de silicatos hidratados de cálcio, sulfato de cálcio, contendo também adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego. Ele possui propriedades físicas importantes, onde as principais são densidade, início e fim de pega, trabalhabilidade e resistência a compressão.

Existem vários tipos de cimento. Eles são classificados de acordo com sua composição e a sua aplicabilidade. De acordo com a ABCP, os tipos de cimentos que podem ser encontrados no mercado estão listados na tabela 01 logo abaixo:

Tabela 1: Tipos de cimento Portland

Tipo de cimento	Adições	Sigla	Norma
Cimento Portland comum	Escória, pozolana ou fíler (até 5%)	CP I-S 32 CP I-S 40	5732
Cimento Portland composto	Escória (6-34%)	CP II-E 32 CP II-E 40	11578
	Pozolana (6-14%)	CP II-Z 32	
	Fíler (6-10%)	CP II-F 32 CP II-F 40	
Cimento Portland de auto-forno	Escória (35-70%)	CP III-32 CP III-40	5735
Cimento Portland pozolânico	Pozolana (15-50%)	CP IV 32	5736
Cimento Portland de alta resistência inicial	Materiais carbonáticos (até 5%)	CP V-ARI	5733
Cimento Portland resistente aos sulfatos	Estes são designados pela sigla RS no final		5737

Fonte: ABCP, adaptado

3.2.2. Agregados

Os agregados são materiais granulares, com forma e volume aleatórios, geralmente inertes, com dimensões e propriedades ajustadas para a fabricação de argamassa ou concreto (METHA E MONTEIRO, 2008).

Conforme a NBR 7211 Agregados para concreto - Especificação (ABNT, 2009), os agregados são subdivididos em grãos e miúdos e podem ser classificados de acordo com a dimensão das partículas. O conjunto de partículas maiores do que 4,75 mm (retidas na peneira de malha 4,75 mm) são chamados de agregado grão. Os cascalhos e as britas muito comumente utilizados nas construções são os melhores representantes desse grupo. Já o agregado miúdo é o conjunto de partículas menores do que 4,75 mm (passantes na peneira de malha 4,75 mm). Um bom exemplo de agregados miúdo é a areia.

Uma outra classificação para os agregados é quanto à massa específica. A tabela abaixo mostra como estes agregados são agrupados de acordo com suas massas específicas.

Tabela 2: Classificação dos agregados quanto à massa específica

Tipo de agregado	Massa específica (Kg/m ³)
Leves	1.120
Médios	2.400
Pesados	2.900 a 6.100

Fonte: Bauer, adaptado.

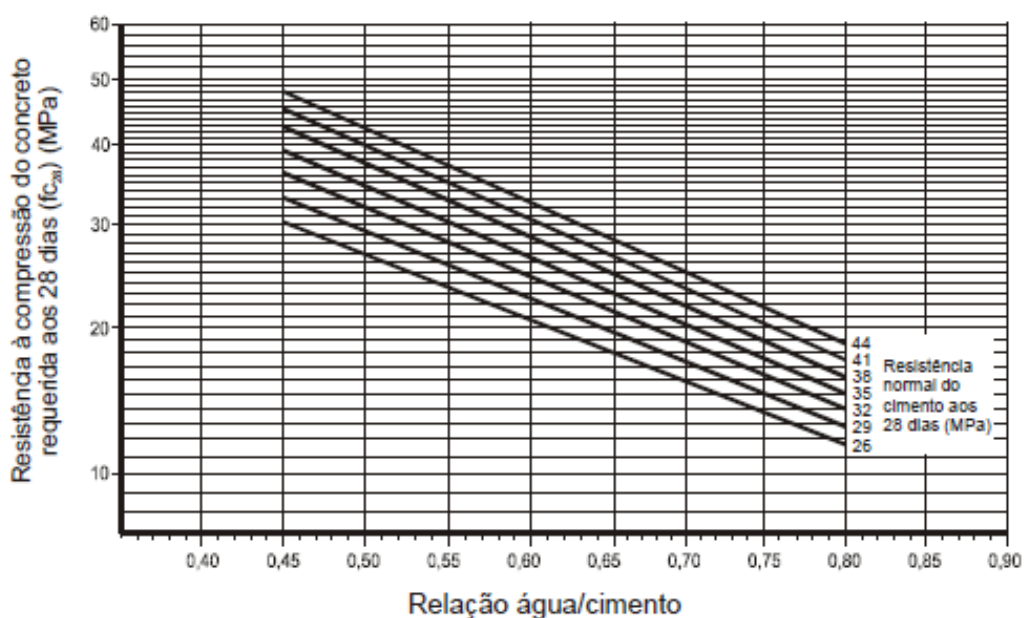
3.2.3. Água

Conhecido por ser o solvente universal, a água tem grande importância na preparação do concreto. Ela deve passar por uma avaliação prévia a qual dirá se esta é adequada ou não para a produção do concreto. Essa avaliação é chamada de “água de amassamento” e, de acordo com SANTOS (2003), a água empregada no preparo do concreto irá reagir quimicamente com o cimento (cerca de 40% da massa do aglomerante) e a excedente, irá conferir fluidez ao concreto.

As águas consideradas potáveis são as mais adequadas. Como o abastecimento desse tipo de água é bastante encontrado nos locais onde há consumo de concreto, normalmente a água não traz preocupações. Contudo, quando há a necessidade de uso de águas não tratadas é importante respeitar alguns limites de substâncias nocivas presentes no concreto, que incluem substâncias trazidas pela água em enchentes, aglomerante e agregados (SIQUEIRA, 2003).

A dosagem da água interfere diretamente nas reações químicas da mistura, consequentemente, a resistência do concreto, bem como a durabilidade da estrutura irá variar em função da relação água-cimento (a/c) usada no traço. Tal relação pode ser obtida através do gráfico de Abrams ou curva de Abrams, que relaciona a resistência mecânica e a relação a/c. Através de um conjunto de dados obtidos em experimentos, ela permite indicar que o aumento da relação a/c tem como consequência natural a diminuição da resistência da estrutura (BAUER, 2000). A figura 7 esquematiza tais curvas.

Figura 7: Curva de Abrams para as respectivas resistências do cimento aos 28 dias de cura



Fonte: ABCP

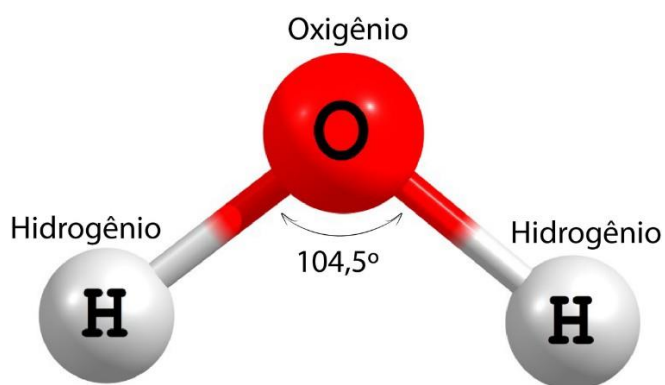
3.3. A influência do campo magnético na água

A estrutura molecular da água é dada por ligações covalentes O-H. O átomo de oxigênio possui seis elétrons em sua camada de valência, necessitando de dois elétrons para atingir a estabilização eletrônica de acordo com a regra do octeto. O átomo de oxigênio é mais eletronegativo que o de hidrogênio, o que significa dizer que o mesmo tem uma maior tendência de atrair elétrons em uma ligação química, ou seja,

o núcleo de oxigênio atrai os átomos das ligações O-H, caracterizando a polaridade da molécula de água, sendo assim, o polo positivo de uma molécula atrai o polo negativo de outra (COSTA, 2001)

As forças resultantes dos diferentes orbitais de elétrons determinam uma disposição geometricamente assimétrica das ligações O-H, formando entre si um ângulo aproximado de $104,5^\circ$. A atração eletrostática entre as moléculas resulta na formação de uma ligação denominada “ponte de hidrogênio”. Tais ligações permitem a união entre as moléculas de água e é responsável pela estrutura ordenada da água na fase líquida (GOMES e CLAVICO, 2015). A figura 8, mostrada logo abaixo, apresenta de forma esquemática a fórmula estrutural da molécula da água, vejamos:

Figura 8: Ilustração da estrutura molecular da água.



Fonte: Brasil Escola (2012)

Uma substância é dita magnetizada quando as suas moléculas constituintes ou elementos estruturais podem ser alinhadas numa direção definida pela influência de um campo magnético externo. Quando a água é submetida a um campo magnético, as suas moléculas tendem a se alinhar numa dada direção, ocasionando a diminuição do ângulo existente para menos de 104° , o que conduz a uma diminuição no grau de consolidação entre as moléculas de água. Razões estas, pela qual a viscosidade da ATM tende a ser menor do que a viscosidade da água comum (AHMED, 2009)

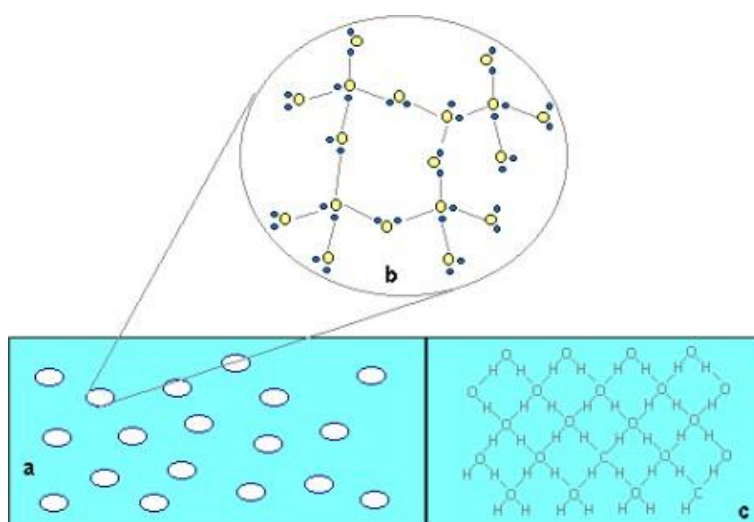
Apesar de a água ser uma substância diamagnética (resposta magnética mais fraca de um sistema), ela apresenta diversas alterações de suas propriedades, quando submetidas a campos magnéticos intensos. Os efeitos dessas alterações podem ser observados em áreas abrangentes como a medicina, química, física, biologia, engenharias e agronomia – incluindo agricultura e pecuária.

Dessa forma o estudo da água tratada magneticamente tem ganhado muito espaço perante os pesquisadores de várias áreas. Joshi e Kamat (1966), por exemplo, submeteram a água tri-destilada a campos magnéticos de 0,19 a 0,57 Teslas. Seus resultados mostraram que o apresentava um aumento progressivo no PH aumentou progressivamente de 0,35 a 0,62 unidades, a tensão superficial diminuía de $1,6 \times 10^{-7}$ a $5,3 \times 10^{-7} \text{ N m}^{-1}$, e a constante dielétrica aumentou em 1,5 unidades.

Já Berezin et al. (1991) e Zhou et al. (2000), propõem algo mais radical. Eles dizem que há o enfraquecimento e a quebra das ligações de hidrogênio intermoleculares da água quando submetida à ação de campos magnéticos e, conseqüentemente, se adotarmos o modelo de misturas, é possível ter um novo arranjo de clusters com tamanhos menores que os originais.

Em uma análise mais minuciosa, Porto propõe em 1998, diferentes modelos que descrevem a estrutura da água, os quais podem ser divididos em duas classes: modelos de misturas e modelos contínuos. O modelo de misturas é fundamentado no modelo de clusters de Frank e Wen (1957), no qual a água líquida se compõe não apenas de monômeros ou de clusters interligados por ligações de hidrogênio, mas de um equilíbrio entre as espécies distintas, o qual é alterado de acordo com a temperatura e pressão. Vejamos a figura 9 (a) e (b).

Figura 9: (a) Clusters isolados na rede contínua de moléculas de água (modelo de misturas); (b) Ampliação de um cluster de água; (c) Rede contínua de moléculas de água (modelo contínuo).



Fonte: Ayrton (2006)

3.4. O potencial da água tratada magneticamente na mistura de concreto

Na área da construção civil, Santos (2006), esclarece que a alteração física que ocorre na água é explicada de acordo com o princípio da força de Lorentz, uma vez que existem íons H^+ e OH^- livres na água e que sofrem influência de um campo magnético. Haverá a redução da tensão superficial, permitindo uma ampliação na área de contato entre a água e o cimento, acarretando uma maior hidratação e consequentemente um incremento de resistência e durabilidade.

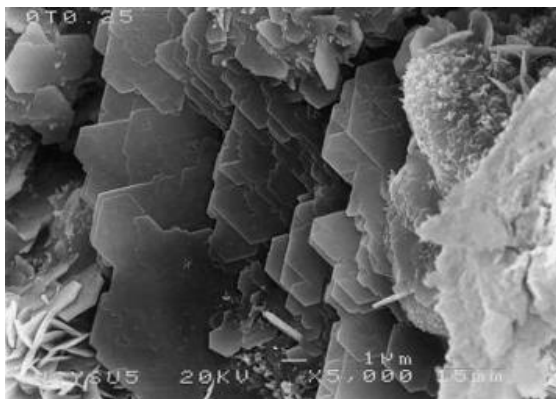
No trabalho desenvolvido por Lazarenko e Zhuravlev (1985), a ATM utilizada na preparação do concreto, a qualidade do mesmo, aumentando a resistência à compressão, a densidade e a resistência á esforços solicitados. Su e Fang, (2001), afirmam que, quando as partículas de cimento são envolvidas pela ATM, estas partículas serão repelidas entre si, dispersando-se com maior facilidade pela mistura da água. Além disso, quando a hidratação ocorre, ela se dá formando camadas de hidratação na parte exterior do cimento. Como as moléculas de água tratada magneticamente estão em pequenos conjuntos, eles podem penetrar nas camadas de cimento mais facilmente, o que permite uma hidratação mais “completa”.

Karam e Al-Shamali (2014), fizeram uso empiricamente da ATM para avaliar as propriedades do concreto. A água foi tratada de forma dinâmica, ou seja, ela simplesmente passava por um campo magnético de intensidade 12.000 Gauss, a uma velocidade de 9 m³/h durante um tempo de exposição de 45 minutos. Foram produzidas três misturas com e sem uso de ATM. Nos seus resultados a trabalhabilidade apresentou um aumento de 10 a 35% quando comparado com água comum, para a resistência a compressão obteve um acréscimo na ordem de 10 a 15%, outras resistências mecânicas como tração e flexão apresentaram um aumento entre 7 e 28%.

Existe também o posicionamento de alguns pesquisadores os quais afirmam que o uso da ATM reorganiza a composição química do cimento. SU, WU e MAR (2000), coloca que no cimento existem cristais de hidróxidos de cálcio (CH) organizados na forma de chapas hexagonais. No entanto, quando essas chapas reagem com moléculas de ATM, elas tendem a ficar ainda menores e não formarem mais grupos, mas sim, ficam de forma separadas como mostram as figuras 10 e 11 logo abaixo. Essa diferença, explica porque materiais derivados da mistura do cimento

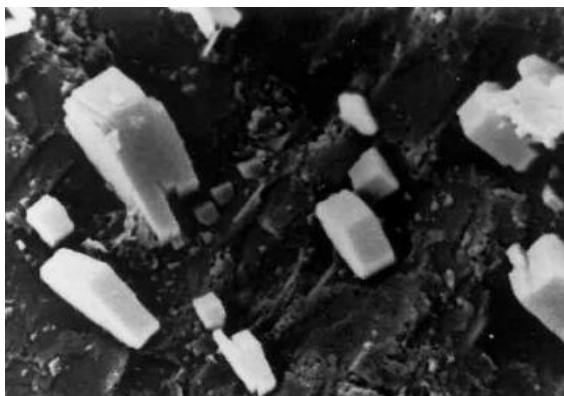
com ATM tem uma resistência à força de compressão mais alta do que os materiais não derivados dessa mistura.

Figura 10: Cristais de hidróxido de cálcio do cimento preparada com água de torneira.



Fonte: SU, WU e MAR (2000),

Figura 11: Cristais de hidróxido de cálcio no cimento preparado com água tratada magneticamente



Fonte: SU, WU e MAR (2000)

Além disso, de acordo com Su e Fang (2000), o efeito da água tratada magneticamente na resistência do concreto e argamassa à compressão, varia de acordo com a intensidade do campo magnético. O melhor aumento na resistência à força compressiva do concreto realiza-se quando a força magnética do campo na água é de 0.8 e 1.2 T, substituindo percentualmente o cimento por cinzas volantes e mantendo a proporção dos agregados. “O aumento na força compressiva do concreto devido ao uso de água tratada magneticamente é mais significativo na primeira idade”, afirmam os pesquisadores.

Reddy, *et. al.* (2014), experimentaram a água tratada magneticamente para a mistura de concreto. O tratamento da água foi de forma estática, ao deixar uma quantidade já calculada em um recipiente com ímãs pregados nas paredes externas

do recipiente durante 24 horas. Os resultados mostraram um incremento na ordem de 57% na resistência dos concretos devido a uso de água tratada para mistura e cura dos mesmos nos primeiros dias, essa mudança é creditada ao preenchimento de poros/vazios, ou seja, houve uma melhor hidratação no concreto.

Gholhaki et al. (2017), estudaram as propriedades do concreto auto adensável fazendo uso de ATM e adicionando materiais pozzolânicos. O campo aplicado possuía intensidade de 0.8 Teslas para a produção de dez misturas, duas delas com água comum e água tratada para servirem de referência, nas oito restantes foi utilizada ATM e ainda haviam materiais pozzolânicos distintos que foram incorporados a mistura em substituição ao cimento em 10 e 20%. Os resultados se mostraram satisfatórios quanto a utilização de ATM em substituição a água de amassamento convencional. A mistura com 20% de substituição apresentou uma melhoria de 21% na resistência quando comparada a mistura convencional.

Ahmed (2009), afirma que a água quando submetida a um campo magnético, tende a orientar suas moléculas em uma direção. Esse novo arranjo é causado por ligações de relaxamento, diminuindo o ângulo de ligação e consequentemente o grau de ligação entre as moléculas e o aumento delas. Assim, a viscosidade de ATM passa a ser menor que a da água comum, também provocando uma alteração no pH e na condutividade elétrica. Em suas experiências, Ahmed obteve um aumento de 10% a 20% na resistência a compressão do concreto, além de melhorias na trabalhabilidade, considerado pelo autor como algo bom, já que comumente uma melhor trabalhabilidade relacionada com a adição de água provoca uma diminuição na resistência a compressão, contrário ao que foi encontrado.

Dessa forma, o fato é que na literatura todos os estudos apresentaram um resultado satisfatório ao uso do campo magnético sobre a água.

4. MATERIAIS E METODOLOGIA

Neste capítulo, será apresentado todo o material utilizado na pesquisa, assim como o procedimento experimental utilizado com o objetivo de investigar a trabalhabilidade e a resistência à compressão do concreto aos 7 e 28 dias de idade. Aqui foi produzido concreto com dois tipos de água: a água comum (adquirida do abastecimento público) e ATM (água adquirida do abastecimento público e tratada magneticamente). Para este último, fizemos o tratamento de duas formas, ou melhor, com dois tipos de ímãs. Num grupo fizemos corpos de prova com água tratada através de um campo magnético externo adquirido através de um ímã permanente de HD, com um formato geométrico em forma de L (CP_L) e no outro, os corpos de prova foram feitos com água tratada magneticamente com ímãs de geometria anel adquiridos de aut falante de som (CP_{anel}).

4.1. Materiais

Todo o material utilizado para a confecção dos corpos de prova, tratamento magnético da água, assim como materiais e equipamentos diversos os quais foram importantíssimos no desenvolver do trabalho, estão descritos um a um logo abaixo nas subseções descritas adiante.

4.1.1. Cimento

O cimento aqui utilizado para a produção do concreto foi o Portland CP II-Z-32-RS (Figura 12), fabricado pela MIZU Cimentos Especiais e adquirido no comércio local de Caraúbas-RN

Segundo Informações retiradas do site da MIZU, este cimento é o mais utilizado nas construções da cidade. Segundo as especificações do fabricante, este produto cura mais rápido, tem uma boa relação água/cimento proporcionando uma maior economia, possui microestruturas mais compactas o que ameniza a formação de fissuras e possui uma permeabilidade muito baixa, protegendo melhor a armadura. Além disso, algumas propriedades físico-químicas deste cimento seguem na tabela 3 como informações adicionais, de acordo com a ficha de informações de segurança de produtos químicos (NBR 14725)

Tabela 3: Propriedades físico-químicas do cimento CP II-Z-32-RS

CIMENTO CP II-Z-32 RS: ESTADO FÍSICO: SÓLIDO (PÓ FINO), SEM CHEIRO. COR: CINZA.	
Ph em solução aquosa: Básico	Solubilidade em água: Não aplicável
Ponto de ebulição: Não aplicável	Ponto de fulgor: Não aplicável
Ponto de fusão: Não aplicável	Massa específica aparente: 1,5 (g/cm ³)
Massa específica: 3,10 (g/cm ³)	Temp. de autoignição: Não aplicável
Pressão de vapor: Não aplicável	Taxa de evaporação: Não aplicável

Fonte: Ficha de informações de segurança de produtos químicos – FISPQ (NBR 14725).

Figura 12: cimento utilizado

Fonte: O autor

4.1.2. Agregado miúdo

O agregado miúdo aqui utilizado na produção do concreto, ou seja, a areia, foi adquirida no comércio local da cidade de Caraúbas – RN. A figura 13 logo abaixo, mostra a imagem da mesma.

Figura 13: Areia utilizada.



Fonte: O autor

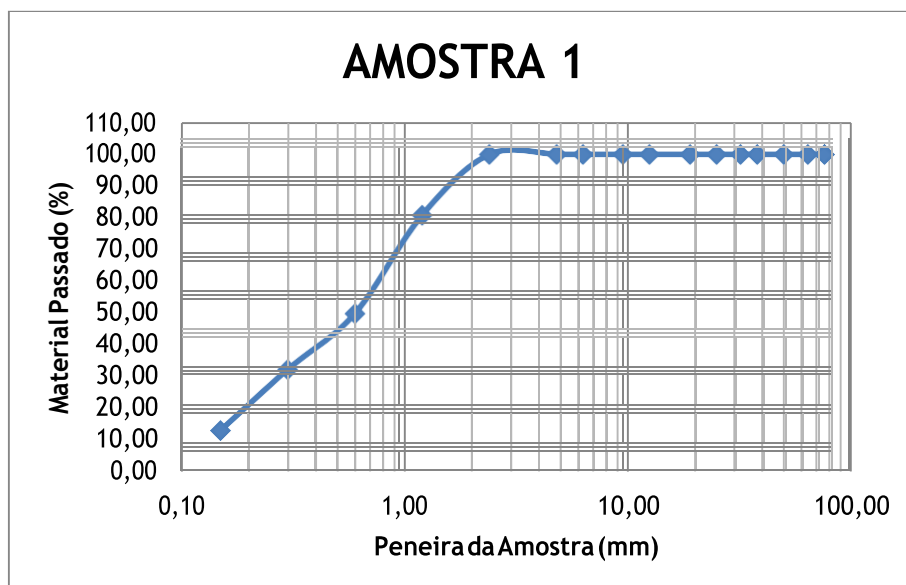
Com o objetivo de obter o traço de concreto que atendesse as exigências do método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), foi necessária a caracterização da areia em questão. Para tanto, foi realizado o ensaio de granulometria para a obtenção do módulo de finura da areia. O ensaio de granulometria foi executado conforme o recomendado pela NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003), e seu resultado está disposto na tabela 04 logo abaixo para duas amostras de areias utilizadas no estudo

Tabela 4: Ensaio granulométrico da areia e obtenção do módulo de finura

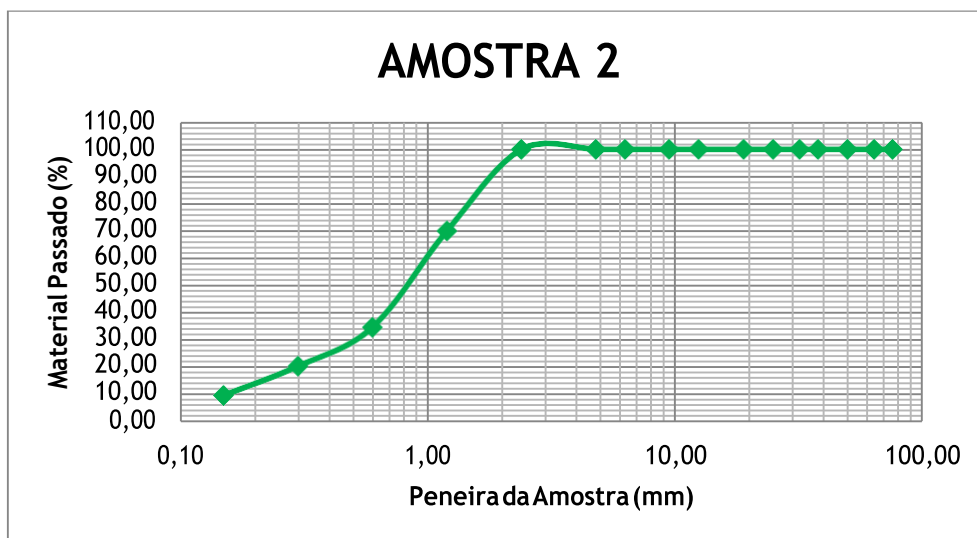
PENEIRA (mm)	MASSA RETIDA (g)		AMOSTRA 1			AMOSTRA 2			MÉDIA		
	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	% RET.	% ACUM.	% PASS.	% RET.	% ACUM.	% PASS.	% RET.	% ACUM.	% PASS.
COLUNA	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
76,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
64,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
38,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
32,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
25,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
19,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
12,50	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
9,50	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
6,30	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
4,80	0,90	1,50	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
2,40	16,40	27,20	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1,20	95,40	149,40	19,08	19,08	80,92	29,88	29,88	70,12	24,48	24,48	75,52
0,60	154,60	176,60	30,92	50,00	50,00	35,32	65,20	34,80	33,12	57,60	42,40
0,30	87,90	71,20	17,58	67,58	32,42	14,24	79,44	20,56	15,91	73,51	26,49
0,15	95,70	53,70	19,14	86,72	13,28	10,74	90,18	9,82	14,94	88,45	11,55
0,00	49,10	20,40	9,82	96,54	3,46	4,08	94,26	5,74	6,95	95,40	4,60
TOTAL	500,00	500,00	100,0	319,92		100,0	358,96		100,0	339,44	0
MASSA ESPECÍFICA (ME)			(g/cm³)		MÓDULO DE FINURA (MF)						
AMOSTRA 1:			2,57732		AMOSTRA 1: 3,19						
AMOSTRA 2:			2,57732		AMOSTRA 2: 3,58						
MÉDIA:			2,57732		MÉDIA: 3,39						

Fonte: O autor

Foi calculado o módulo de finura par cada amostra. Tais resultados estão descritos na tabela acima e através deles pode-se gerar os gráficos 1 e 2 vistos logo abaixo, referente a granulometria das duas amostras.

Gráfico 1: Curva granulométrica para a amostra 1 da areia

Fonte: O autor

Gráfico 2: Curva granulométrica para a amostra 2 da areia

Fonte: O autor

A umidade da areia também é um parâmetro importante, sendo o ensaio para a sua obtenção, regido de acordo com a norma citada. Os resultados da umidade das amostras da areia, corresponderam ao valor estipulado pelo método de dosagem ABCP, que foi de 6%. A figura abaixo mostra o procedimento do ensaio.

Figura 14: Umidade da amostra – Speedy test

Fonte: O autor

4.1.3. Agregado graúdo

Como abordado no capítulo 3, a NBR 7211 Agregados para concreto - Especificação (ABNT, 2009), trata do agregado graúdo como sendo o conjunto de

partículas maiores do que 4,75 mm (retidas na peneira de malha 4,75 mm). Os cascalhos e as britas são alguns exemplos de agregados graúdos. Desse modo, para esta pesquisa foi utilizado a brita ilustrada na figura 15, onde a mesma também foi adquirida no comercio local do município de Caraúbas – RN.

Figura 15: Brita utilizada



Fonte: O autor

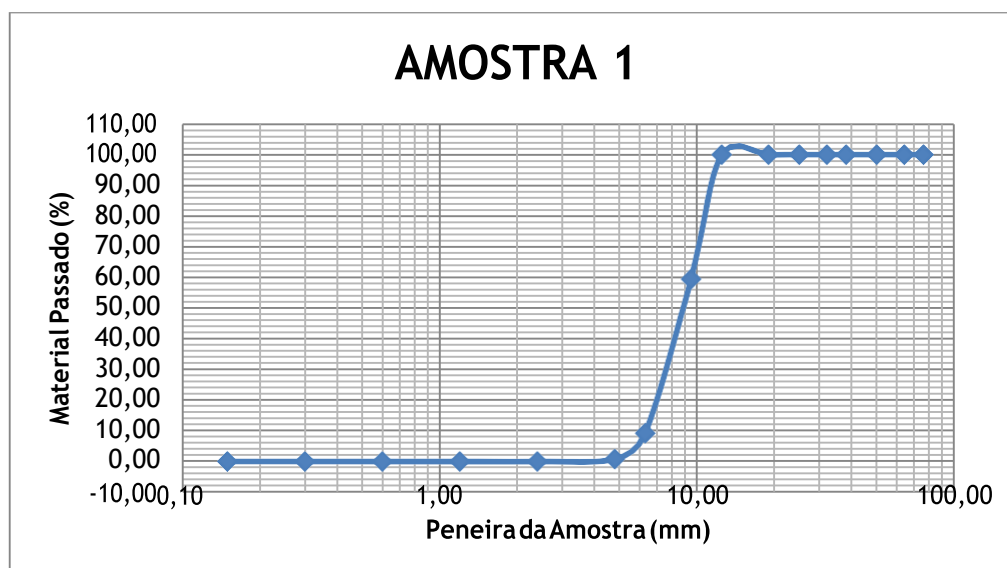
Dessa maneira, assim como para a areia, foi feita a granulometria da brita. O ensaio de granulometria foi executado conforme o recomendado pela a NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003). Os resultados do teste das duas amostras utilizadas nesta pesquisa estão dispostos na tabela 5 logo abaixo.

Tabela 5: Ensaio granulométrico da brita e obtenção do módulo de finura

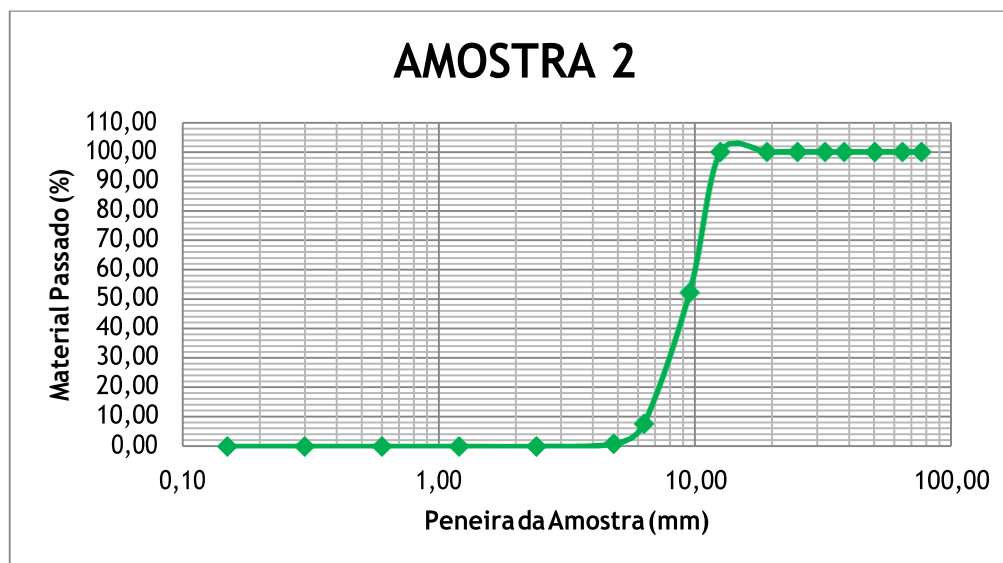
PENEIRA (mm)	MASSA RETIDA (g)		AMOSTRA 1			AMOSTRA 2			MÉDIA		
	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	% RET.	% ACUM.	% PASS.	% RET.	% ACUM.	% PASS.	% RET.	% ACUM.	% PASS.
COLUNA	A	B	C	D	E	F	G	H			
76,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
64,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
38,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
32,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
25,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
19,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
12,50	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
9,50	2027,10	2384,80	40,54	40,54	59,46	47,70	47,70	52,30	44,12	44,12	55,88
6,30	2511,50	2227,60	50,23	90,77	9,23	44,55	92,25	7,75	47,39	91,51	8,49
4,80	421,00	339,60	8,42	99,19	0,81	6,79	99,04	0,96	7,61	99,12	0,884
2,40	37,90	44,50	0,76	99,95	0,05	0,89	99,93	0,07	0,82	99,94	0,06
1,20	0,00	0,00	0,00	99,95	0,05	0,00	99,93	0,07	0,00	99,94	0,06
0,60	0,00	0,00	0,00	99,95	0,05	0,00	99,93	0,07	0,00	99,94	0,06
0,30	0,00	0,00	0,00	99,95	0,05	0,00	99,93	0,07	0,00	99,94	0,06
0,15	0,00	0,00	0,00	99,95	0,05	0,00	99,93	0,07	0,00	99,94	0,06
0,00	2,50	3,50	0,05	100,00	0,00	0,07	100,00	0,00	0,06	100,00	0
TOTAL	5000,00	5000,00	100,00	698,94		100,00	698,69	0,00	0,00	698,82	0
MASSA ESPECÍFICA (ME)		(g/cm³)	MÓDULO DE FINURA (MF):								
AMOSTRA 1:		2,577	AMOSTRA 1: 6,989								
AMOSTRA 2:		2,577	AMOSTRA 2: 6,987								
MÉDIA:		2,577	MÉDIA: 6,988								

Fonte: O autor

Assim como na areia, foi calculado o módulo de finura para cada amostra. O diâmetro máximo é 19 mm. Tais resultados estão descritos na tabela acima e através deles pode-se gerar os gráficos 3 e 4 vistos logo abaixo, referente a granulometria das duas amostras.

Gráfico 3: Curva granulométrica para a amostra 1 da brita

Fonte: O autor

Gráfico 4: Curva granulométrica para a mostra 2 da brita

Fonte: O autor

4.1.4. Água

A norma brasileira, NBR 15900-1 (ABNT, 2009) traz especificações referentes à qualidade da água a ser considerada adequada ao preparo de concreto, descrevendo procedimento de amostragem, bem como métodos para sua avaliação.

De modo geral, a água pode ser verificada quanto à sua origem. Aqui a água utilizada veio através do abastecimento público a qual foi tratada pela Companhia de Água e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN).

4.1.5. Ímãs

Para o tratamento da água utilizada na produção dos dois grupos de CP's, foram utilizados dois tipos de ímãs como já mencionado. Ímãs de geometria anel e de geometria L.

Para que a disposição dos ímãs não fosse algo a interferir nos resultados, estes foram distribuídos em uma malha escalonada onde a distância entre os centros dos ímãs fossem iguais na mesma direção de análise. Dessa forma, as distancias entre os ímãs na vertical possuem o mesmo valor, na horizontal também possuem o mesmo valor, no entanto, o valor numérico do espaçamento da horizontal não é o mesmo da vertical. Isso pode ser visto nas figuras 16 e 17 logo abaixo.

Figura 16: Ímãs de geometria anel usados para o tratamento da água



Fonte: O autor

Figura 17: Ímãs de geometria L usados para o tratamento da água



Fonte: O autor

O Teslômetro utilizado para medir a intensidade de campo de cada ímã, foi um aparelho oficial da marca PHYWE, o qual informa a intensidade de campo e a polaridade do mesmo. A medida foi feita sobre a superfície de cada ímã e no caso dos ímãs com geometria anel foi feita tanto no centro como nas bordas do mesmo. Logo abaixo está a imagem do aparelho utilizado.

Figura 18: Teslômetro de medição



Fonte: O autor

Os ímãs dispostos nas figuras 16 e 17 apresentaram pequenas variações de campos magnéticos, no entanto, as medidas refletiram que não existe muita discrepância entre os valores de campo na mesma geometria. Na tabela 6 mostrada logo abaixo estão as intensidades de campo de cada um dos ímãs descritos.

Tabela 6: Intensidades dos ímãs

Nº do ímã	Geometria L (mT)	Geometria Anel (mT)
1	280	40
2	260	34
3	188	32
4	400	32
5	190	38
6	210	30
7	290	--
8	360	--
9	340	--

Fonte: O autor

4.1.6. Vidrarias e equipamentos de laboratório

As vidrarias e utilitários, bem como os equipamentos empregados neste estudo, estão dispostos na tabela 7 e 8 respectivamente, especificados quanto as suas características, marcas e modelos.

Tabela 7: Vidrarias e utilitários

Vidrarias e utilitários	Características	Vidrarias e utilitários	Características
Béquer	1 l	Frasco Chapman	450 ml
Bandeja	--	Espátula	--
Peneira 4,76 mm	Nº 4"	Funil	--
Peneira 2,36 mm	Nº 8"	Cápsulas	60 x 40 mm
Peneira 19 mm	Nº 3/8"	Moldes de corpos de provas	10 x 20 mm
Peneira 9,5 mm	Nº 3/4"	Bandeja metálica	--
Baldes graduados	18 l	Ampolas	6,5 g (CaCO ₃)

Fonte: O autor

Tabela 8: Equipamentos

Equipamento	Marca/modelo	Equipamento	Marca/modelo
Betoneira de eixo inclinado	MOTOMIL/MB – 150 l	Retificadora de C.P. de concreto	SOLO-CAP/SOLO-CAP
Caixa d'gua	FORTLEV/1000 l	Conjunto Slump test	--
Balança simples	ELETRONIC/KITCHEN SCALE – 10000 g	Estufa	LUCADEMA
Prensa de concreto	EMIC/SSH300	Compressor	JET MIL/MOTO MIL

Fonte: O autor

4.2. METODOLOGIA

Dado o exposto sobre todas as caracterizações dos materiais, a metodologia utilizada para proceder de maneira lógica o processo experimental desde a caracterização dos materiais até o ensaio de resistência a compressão, está apresentada a seguir.

De início, foi calculado o traço para sabermos a quantidade de materiais que irá ser necessário para a produção de 18 corpos de provas de concreto. Para tanto, foi seguido o método de dosagem ABCP, onde traz especificações sobre as características essenciais que um concreto deve ter para chegar a resultados satisfatórios neste experimento.

Sendo assim, o traço utilizado foi para um f_{ck} calculado de 34,075 MPa, obtendo-se o traço completo, bem como o consumo de materiais necessários, como mostram as tabelas 9 e 10, respectivamente

O traço, bem como, os materiais consumidos, está disposto na tabela 9 e 10, respectivamente.

Tabela 9: Traço

Apresentação do traço (Brita 1)			
Cimento	Areia	Brita	Água
1,00	1,84	1,65	0,50

Fonte: O autor

Tabela 10: Consumo de materiais para 18 CP's

Consumo de materiais			
Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (kg)
16,1	29,63697704	26,5125	8,05

Fonte: O autor

No tratamento magnético da água, foram usadas duas bandejas para armazenar a mesma, de modo que, na base externa de uma delas, foram acoplados os ímãs de geometria Anel e na outra bandeja, os ímãs de geometria L. Foi colocada a água até encher as duas bandejas a fim de tratar toda a água contida nelas de forma estática, durante um tempo de descanso de 24 horas. Contudo, no momento da produção do concreto, foi retirada apenas a quantidade de água previamente calculada para o traço.

Para a fabricação do concreto seguiu-se o recomendado pela NBR 12655 (Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento), tanto com as águas submetidas ao campo magnético, bem como a produção do concreto com água comum. Para este procedimento foi preciso atentar para o intervalo de tempo entre a produção de cada grupo de CP's, em decorrência do tempo de exposição das águas ao campo magnético para não ultrapassarem 24 horas de exposição.

Após a produção do concreto, foi realizado o ensaio *slump test* para conferir a trabalhabilidade a cada grupo de CP's produzido, de acordo com a NBR NM 67 – Abatimento do tronco de cone. Os equipamentos para a realização deste ensaio estão mostrados na figura 19.

Figura 19: Conjunto Slump test (teste da trabalhabilidade)

Fonte: O autor

Após serem realizados os ensaios de trabalhabilidade para todos os grupos de CP's, estes foram moldados e divididos de acordo com cada grupo, como mostra a tabela 11 logo abaixo. Foram moldados 18 corpos de provas cilíndricos, com dimensões de 10 x 20 cm (figura 20). Desse modo, todo o processo de preparação de moldagem foi seguido de acordo com a NBR 5738 – Procedimento de moldagem e cura de corpos de prova.

Tabela 11: Divisão dos grupos de CP's produzidos de acordo com os tipos de águas

GRUPOS DE CP's	QUANTIDADE DE CP'S MOLDADOS	CP'S ENSAIADOS A RESISTÊNCIA Á COMPRESSÃO	
		7 DIAS	28 DIAS
CP _{CONT}	6 CP's	3 CP'S	3 CP'S
CP _{ANEL}	6 CP's	3 CP'S	3 CP'S
CP _L	6 CP's	3 CP'S	3 CP'S

Fonte: O autor

Figura 20: Vista superior dos moldes de corpos de prova



Fonte: O autor

Vale observar que para todos os moldes, antes da moldagem, foi feito um revestimento com uma camada de desmoldante (figura 21) nas paredes internas dos moldes, evitando assim, a adesão do concreto.

Figura 21: Desmoldante

Fonte: O autor

Passadas as primeiras 24 horas de cura, realizou-se a desmoldagem dos 18 corpos de prova e estes foram levados para um reservatório fechado, imersos em água, sem contato com o meio externo, em uma temperatura $\pm 24^{\circ}\text{C}$ para o processo de cura como mostrado na figura 22 logo abaixo.

Figura 22: Processo de cura dos CP's

Fonte: O autor

Após o tempo de cura de exatamente 7 dias (contados a partir das primeiras 24 horas), foram retirados 9 CP's, sendo que 3 são CP_{CONT} ; 3 são CP_{ANEL} ; e 3 são CP_{L} . Todos foram levados para a máquina retificadora (figura 23) para ser feito o nivelamento das suas bases para que assim alguma imperfeição estrutural não venha mascarar os resultados. Após este procedimento, os mesmos foram encaminhados para o ensaio de resistência a compressão em uma prensa da marca EMIC (figura 24) a qual registra o quanto de pressão os corpos suportaram, assim como nos dá também

a curva de Tensão-Deformação dos corpos de prova. Aqui o intuito é de analisar a média das resistências para cada grupo de 3 CP's. Este mesmo processo foi feito com os outros 9 CP's aos 28 dias de idade.

Figura 23 Retificação dos CP's



Fonte: O autor

Figura 24: Rompimento dos CP's com a prensa EMIC SSH300



Fonte: O autor

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma vez executada a metodologia proposta no capítulo 4, serão apresentados neste capítulo os resultados correspondentes aos ensaios realizados a fim de comprovar o proposto inicialmente. Ou seja, verificar o efeito de ATM em termos de resistência e trabalhabilidade na preparação do concreto através da análise e interpretação dos dados obtidos.

5.1. Trabalhabilidade (*slump test*)

Foi verificada a trabalhabilidade do concreto via *slump test* em seu estado fresco para os três traços produzido. Identificando, assim, as suas consistências. Os valores numéricos dos abatimentos foram coletados e apresentados na tabela 12 para uma melhor análise dos mesmos, vejamos logo abaixo:

Tabela 12: Resultados do ensaio de consistência do concreto

Grupo CP's	Abatimento (mm)
CP _{CONT}	10
CP _{ANEL}	23
CP _L	35

Fonte: O autor

De acordo com os resultados da tabela 12, para este ensaio, é evidente que há um aumento progressivo nos abatimentos entre os grupos controle e de ATM, os quais foram dosados obedecendo o traço anteriormente apresentado. Ao confrontar os dados percebemos que os dois grupos com ATM mostraram melhor desempenho no que diz respeito a trabalhabilidade, ficando assim, com o melhor resultado o grupo no qual a água foi tratada com ímãs de geometria L, cujo abatimento foi superior 130% ao grupo tratado com geometria anel e cerca de 250% a mais que o do grupo controle. Apesar da diferença de abatimento ter sido grande entre os dados exposto, a queda do concreto em si não foi tão grande assim. No entanto, se olharmos por uma outra ótica, a de comparar a aplicação do campo magnético na água com o grupo controle, percebemos que o tratamento ajuda bastante nesse dado de saída, pois até

aqui o único fator alterado entre os traços produzidos foi a adição de campo nos grupos de ATM.

Uma das hipóteses explicativas para esta diferença entre os grupos tratados com campo, pode estar relacionada às intensidades dos campos magnéticos aliado a geometria dos mesmos. De acordo com a tabela 6, no capítulo 4, as intensidades de campo dos ímãs de geometria anel chegam a ser 6 vezes menores que as intensidades dos ímãs de geometria L, podendo haver uma deficiência quanto ao tratamento magnético completo na água.

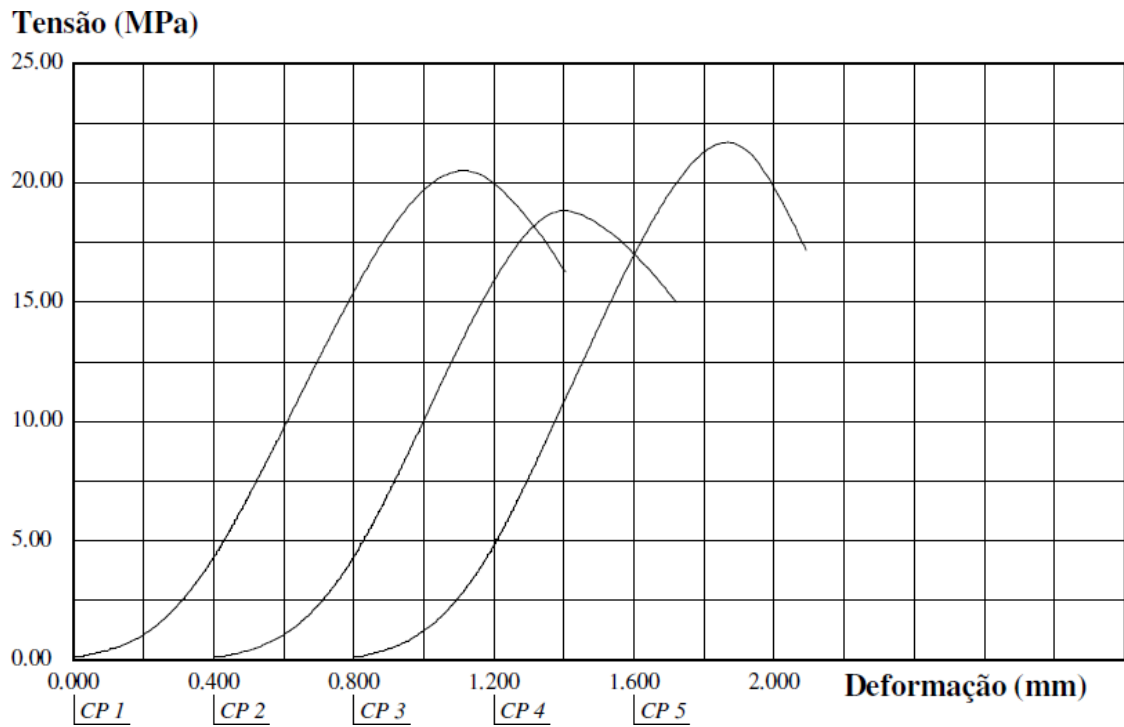
Outra hipótese, está relacionada ao tempo de exposição da água aos ímãs de geometria anel. Para compensar as baixas intensidades destes ímãs, pode ser que, ao submeter a água aos campos dos mesmos ímãs, porém por uma maior quantidade de tempo (mais que 24 horas), houvesse um tratamento mais completo na água, mostrando resultados mais satisfatórios. Vale salientar que se faz necessário realizar tal procedimento para averiguar os resultados.

5.2. Resistência à compressão do concreto

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados em dois momentos. Um com 7 (sete) dias após a confecção do concreto e o outro com 28 (vinte e oito) dias. Para cada grupo ($CP_{Cont.}$, CP_{Anel} e CP_L) foram feitos 6 (seis) corpos de prova, respeitando o interstício de tempo de cura mencionado acima (7 e 28 dias) para depois realizar o rompimento. Cada série de rompimento, foi realizado com 3 corpos de prova de cada grupo, onde se obtém como resultado final, a média aritmética dos três rompimentos.

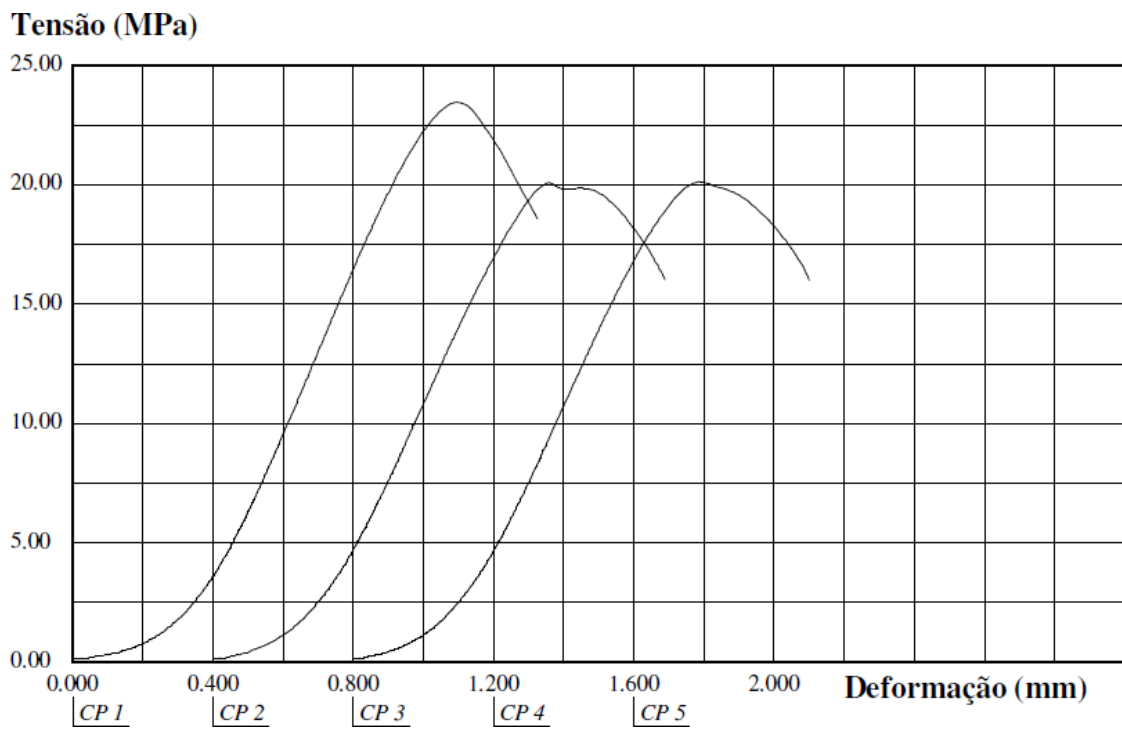
A resistência á compressão é analisada através da curva tensão-deformação na qual apresenta os resultados para os três corpos-de-prova de cada grupo. Nela, cada curva está relacionada a um corpo de prova (CP) específico, mencionado no eixo horizontal como CP1, CP2 e CP3. Dessa forma, as figuras 25, 26 e 27 apresentam os resultados dos rompimentos dos três corpos aos 7 dias de cura dos três grupos aqui analisados, respectivamente. A média entre os resultados está na tabela 13 que se apresenta na sequência. Vejamos os resultados:

Figura 25: Curvas de tensão-deformação para os CP's do grupo CP_{cont} aos 7 dias de cura.

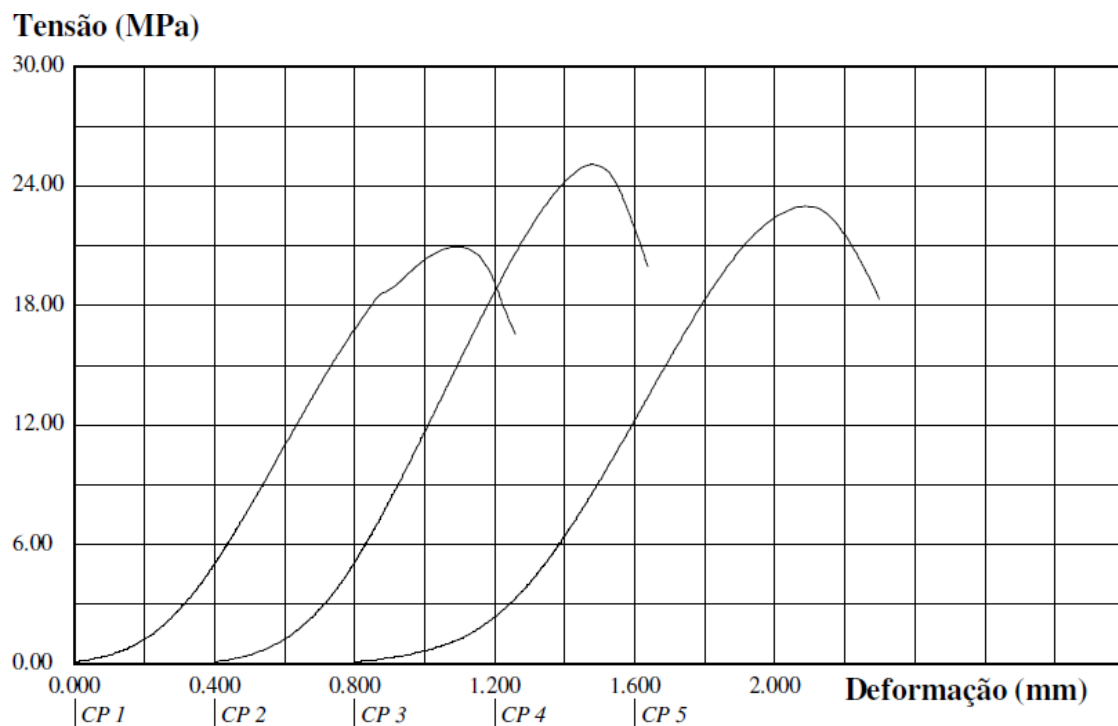


Fonte: O autor

Figura 26: Curvas de tensão-deformação para os CP's do grupo CP_{anel} aos 7 dias de cura



Fonte: O autor

Figura 27: Curvas de tensão-deformação para os CP's do grupo CP_L aos 7 dias de cura

Fonte: O autor

Tabela 13: Valores das resistências á compressão aos 7 dias de cura

Grupo	CP's ensaiados	Resistência á compressão para 7 dias (MPa)	Média das resistências (MPa)
CP _{cont}	Corpo de prova 1	20,52	20,36
	Corpo de prova 2	18,84	
	Corpo de prova 3	21,71	
CP _{anel}	Corpo de prova 4	23,47	21,24
	Corpo de prova 5	20,11	
	Corpo de prova 6	20,14	
CP _L	Corpo de prova 7	20,96	23,02
	Corpo de prova 8	25,09	
	Corpo de prova 9	23,01	

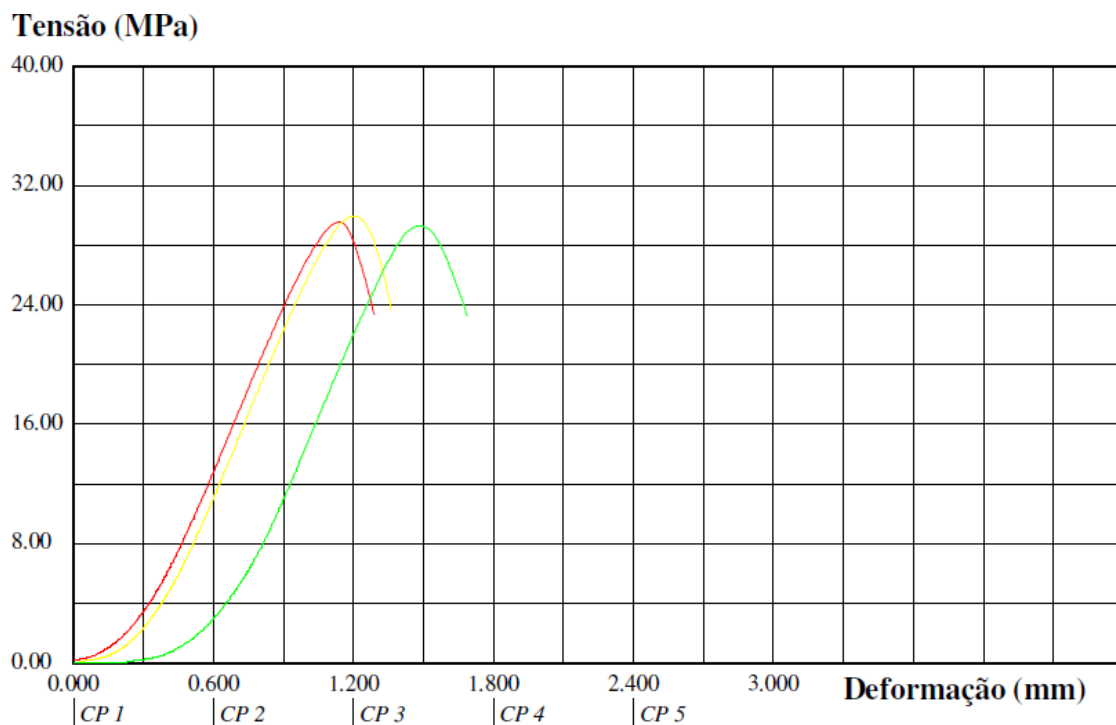
Fonte: O autor

De acordo com os resultados apresentados para as resistências dos grupos de CP's aos 7 dias de idade, nota-se, assim como nos resultados do ensaio para a trabalhabilidade, uma progressão no aumento da resistência. Para esta idade, o

aumento da resistência do grupo CP_{anel} em relação ao grupo CP_{cont} foi de 4,32%. Mas o melhor aumento é verificado no grupo CP_L , onde obteve êxito de 13,06%

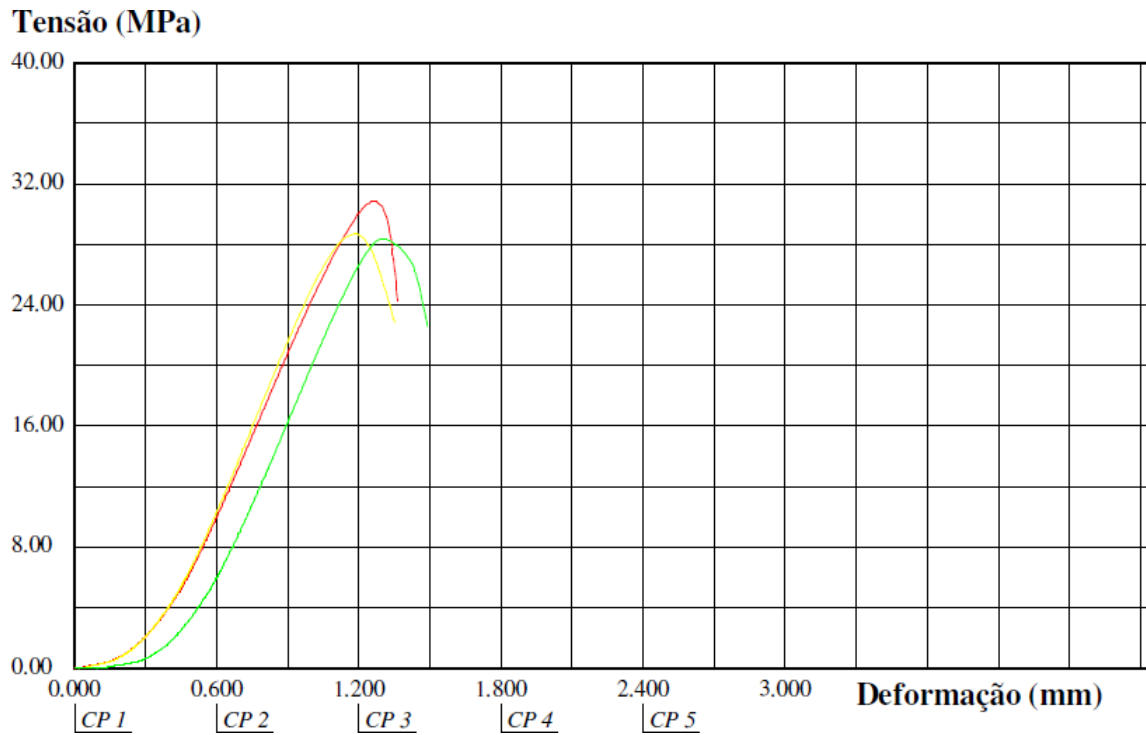
As curvas de tensão-deformação logo adiante, correspondentes aos resultados com idade de 28 dias. Eles seguem dispostos nas figuras 28, 29 e 30, bem como na tabela 14, os valores das respectivas resistências e suas médias.

Figura 28: Curvas de tensão-deformação para os CP's do grupo CP_{cont} aos 28 dias de cura



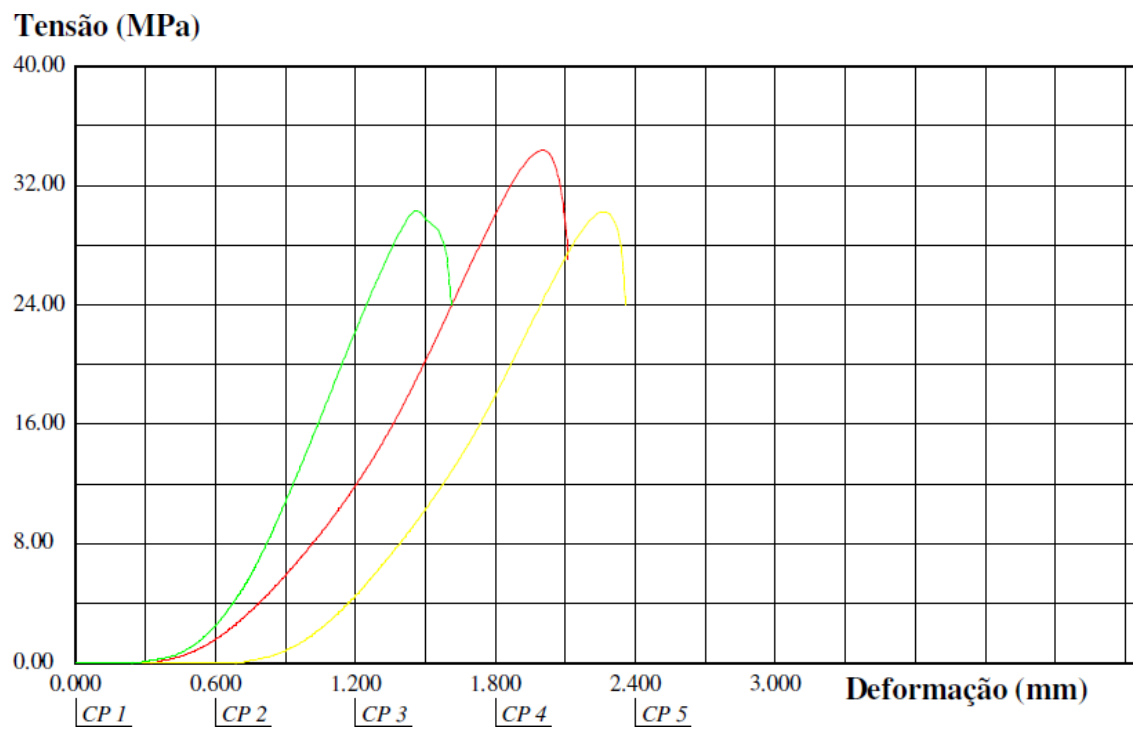
Fonte: O autor

Figura 29: Curvas de tensão-deformação para os CP's do grupo CP_{anel} aos 28 dias de cura



Fonte: O autor

Figura 30: Curvas de tensão-deformação para os CP's do grupo CP_L aos 28 dias de cura



Fonte: O autor

Tabela 14: Valores das resistências á compressão aos 28 dias de cura

Grupo	CP's ensaiados	Resistência á compressão para 7 dias (MPa)	Média das resistências (MPa)
CP _{cont}	Corpo de prova 1	29,58	29,61
	Corpo de prova 2	29,97	
	Corpo de prova 3	29,30	
CP _{anel}	Corpo de prova 4	30,88	29,32
	Corpo de prova 5	28,70	
	Corpo de prova 6	28,38	
CP _L	Corpo de prova 7	34,23	31,93
	Corpo de prova 8	30,67	
	Corpo de prova 9	30,89	

Fonte: O autor

De forma geral, de acordo com todos os resultados apresentados, fica claro que os grupos de CP's fabricados com ATM, de fato, obtiveram melhores resultados na resistência á compressão em relação ao grupo fabricado com água comum. No entanto, para a idade de 28 dias, apenas o grupo CP_L mostrou aumento na resistência á compressão, ficando em torno de 7,83% em relação ao grupo CP_{cont}. Já o grupo CP_{anel} não mostrou nenhum desempenho quanto ao aumento da resistência, pelo contrário, houve redução da resistência em relação ao grupo CP_{cont}, caindo em torno de 1,02%.

Os dados acima nos revelam duas coisas. Primeiro que o CP_L manteve o crescimento na resistência á compressão em relação ao grupo controle, nos dois rompimentos. E a segunda é com relação ao CP_{anel}, ele não manteve o crescimento na resistência, no mesmo interstício de tempo do grupo CP_L. Isso nos mostra que ou o fator intensidade de campo ou o fator geométrico está agindo de forma negativa.

Os ímãs de geometria anel têm uma forma definida, o que torna previsível o comportamento das suas linhas de campo. Já os ímãs de geometria L têm um formato curvo tornando o comportamento das linhas de campo algo mais complexo. Isso aliado a uma grande diferença de campo magnético entre os dois grupos, torna-se algo difícil de se explicar.

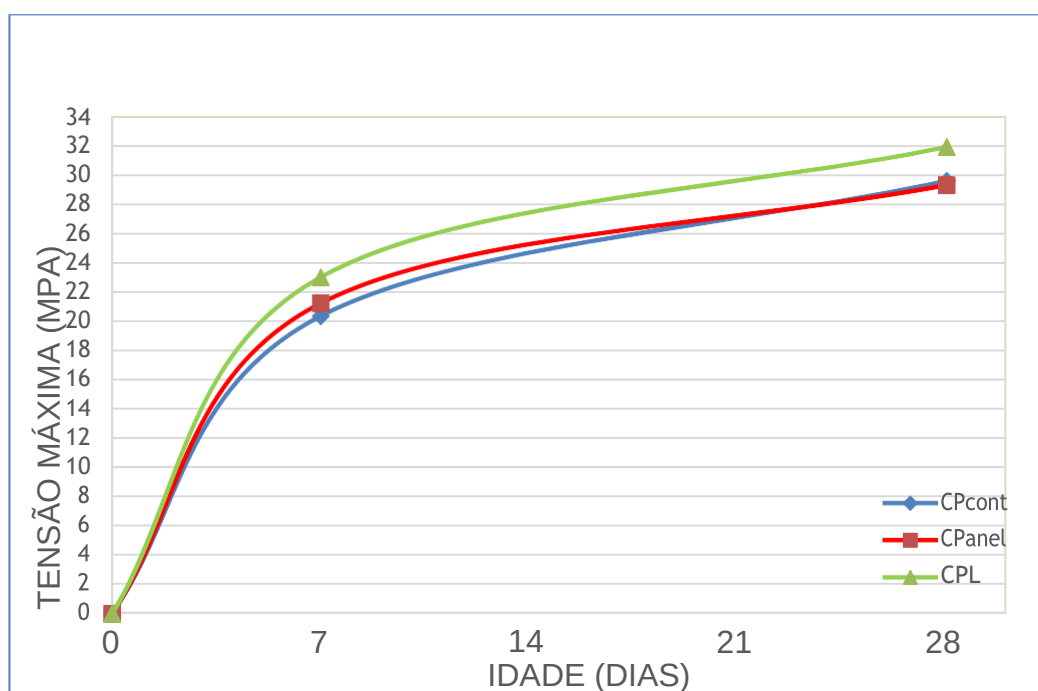
Para entendermos melhor o que de fato acontece entre as geometrias, seria necessário utilizarmos ímãs de geometria L e anel com a mesma intensidade de

campo. Isso não foi feito por motivos de ordem temporal, pois não encontramos ímãs nessas duas geometrias com esse perfil e a confecção dos mesmos via fabricação, não daria tempo para desenvolver o estudo e apresentar os dados nesta defesa.

Outra análise que pode ser feita, refere-se ao módulo de elasticidade apresentado em todas as curvas. Definido como a relação entre a tensão pela deformação, é perceptível a similaridade apresentada na inclinação das curvas. Este fato reforça a dosagem dos materiais (igual em todos os traços) e a não adição de outros componentes que viessem a interferir na resistência à compressão ou na trabalhabilidade.

Na expectativa de uma melhor visualização do comportamento da resistência a compressão, fizemos o gráfico abaixo o qual mostra uma linha de tendência para todos os raciocínios, permitindo assim uma melhor comparação entre eles.

Gráfico 5: Curvas de resistência á compressão



Fonte: O autor

No gráfico acima, a curva azul representa o grupo controle, a curva vermelha representa o grupo tratado com geometria anel e a curva verde representa o grupo tratado com geometria L. De acordo com o mesmo, é notório o aumento em todos os dias de cura para a produção de geometria L, já o outro tratamento (geometria anel)

proporcionou melhora apenas nos dias iniciais de cura, não satisfazendo as respostas esperadas.

As sugestões para explicar tais efeitos, partem de dois princípios fundamentados de acordo com o levantamento bibliográfico. Em primeiro plano nos detemos com o processo de hidratação, onde o grupo tratado com geometria L tenha proporcionado uma queda na tensão superficial da água, gerando uma melhor reação de todos os compostos que comumente não seriam atingidos sob utilização de água comum; já o de geometria anel, com um campo 5 - 6 vezes inferior, pode ter obtido uma leve melhora no processo de hidratação ocasionando uma pequena aceleração nas reações iniciais, não sendo capaz de produzir bons resultados no decorrer da vida do concreto. Isso tudo ainda aliado a geometria dos ímãs.

Em segunda análise, existe uma zona de transição no concreto, que inclusive é discutida por SU, WU e MAR (2000), no capítulo 3. Esta zona de transição trata da formação de compostos quando o cimento é misturado com a água, principalmente a formação de hidróxidos de cálcio, que é um dos compostos intimamente relacionado com a resistência do concreto. Estes compostos, estando em grandes quantidades, constitui pouca aderência entre a pasta de cimento e os agregados, sendo característica dessa zona, pouca resistência e sendo o primeiro local no concreto a se romper quando é atingido o limite de resistência à ruptura. Neste caso, os pesquisadores mencionados, sugerem que ATM diminui as quantidades desses compostos na zona de transição, aumentando assim, a aderência entre a pasta de cimento e os agregados, consequentemente dando maior resistência ao concreto.

Ou seja, nesta linha de raciocínio, possa ser que os ímãs de geometria anel, por ter baixa intensidade de campo magnético, não tenha tratado a água o suficiente para que ocorresse o processo no concreto mencionado acima. Já os outros ímãs (geometria L), por ter intensidades exorbitantemente superiores, tenham tratado a água suficientemente para alterar estes compostos (hidróxido de cálcio), que acabou possivelmente por dá melhores resultados para o grupo CP_L.

6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

6.1. Conclusões

No presente trabalho, investigamos o uso de ATM na produção de concreto. Para tanto, foram produzidos concretos com água submetida a diferentes intensidades de campos magnéticos, o que tornou possível a análise de como estes foram influenciados em algumas de suas propriedades, tais como a trabalhabilidade e resistência a compressão, comparando-os com o concreto produzido com água comum.

O potencial da ATM na produção de concreto se mostrou satisfatória. No que diz respeito à trabalhabilidade, conclui-se que há uma maior fluidez nos concretos produzidos com ATM, sendo um ponto positivo em casos onde seja necessária a utilização de concretos mais fluidos e trabalháveis, sendo desnecessário o aumento da quantidade de água para chegar ao ponto desejado. No que concerne aos ímãs, conclui-se que os de geometria anel, torna o concreto menos trabalhável que o de geometria L.

No que diz respeito à resistência à compressão, ATM tem maior potencial de hidratação no concreto em relação à água comum, proporcionando maior resistência à compressão em todas as idades de cura no tratamento realizado com ímãs de geometria L. Entretanto, as respostas positivas quanto a este aspecto, se deram apenas na primeira idade do concreto produzidos com ATM por ímãs de geometria anel.

Em se tratando de um ganho na resistência inicial, ambos os ímãs, tanto com geometria L, como o de geometria anel apresentaram resultados satisfatórios. No entanto o primeiro apresenta-se melhor, pois além de o grupo CP_L apresentar uma melhor trabalhabilidade, apresenta uma resistência superior ao CP_{anel} . Seguindo uma linha de tendência, os sistemas com geometria L apresentam um perfil no qual os proporciona uma melhora na resistência no decorrer da idade, e não apenas para idades iniciais.

No tocante a relação água/cimento, que quando melhora a trabalhabilidade piora a resistência com adição de água, ou vice-versa, o efeito do campo magnético na água vem a contribuir com um aumento significativo nas duas funções resposta,

tanto na trabalhabilidade como na resistência a compressão, mantendo a mesma relação água/cimento.

Portanto, a contribuição deste trabalho a comunidade científica, foca numa possível inovação futura tendo em vista a interdisciplinaridade envolvida aqui. Sendo assim, seria interessante estudar de forma mais aprofundada a fim de promover a aplicação desta técnica na indústria da construção civil, analisando as vantagens e desvantagens deste processo principalmente em locais com maior controle da produção de concreto, como centrais dosadoras ou em indústrias de pré-fabricados.

6.2. Perspectivas

Em uma análise científica, percebe-se que ainda tem muito a se pesquisar nesse ramo, visto algumas dificuldades como por exemplo, a interdisciplinaridade.

Como perspectivas, além de aprofundarmos em relação a geometria dos ímãs permanentes, temos interesse de investigar os efeitos de alta temperatura no concreto em meio a esse contexto de ATM, verificar outras intensidades de campo, analisar por meio de micrografia e MEV a formação de compostos na pasta de cimento durante diferentes dias de cura, dentre outros.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. (2005). **ACI 116 - “Cement and Concrete Terminology”**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 53 - Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 67 - Abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738 - Concreto – Procedimento de moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211 - Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7217 - Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9776 - Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655 - Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15900 - Água para amassamento do concreto - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106).

BAUER, L.A.F., **“Materiais de Construção”** - 5ª Edição Revisada – Ed. LTC, Rio e Janeiro, 2000.

CIMENTO APODI (Org.). **FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS - FISPQ (NBR 14725)**. Disponível em:

<http://www.cimentoapodi.com.br/fispqescoriaapodiCPIIZ.PDF> Acesso em: 24 set. 2017.

MEHTA, P. K.; e MONTEIRO, P.J.M. **“Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais”** – 1ª Edição – Ed. Pini, São Paulo, 1994.

AZHARONOK, V. V.; BELOUS, N. K.; RODTSEVICH, S. P.; KOSHEVAR, V. D.; GONCHARIK, S. V.; CHUBRIK, N. I.; ORLOVICH, A. I. High-frequency magnetic-pulse treatment of water as a method of improving the technological properties of fine concretes. **Journal of Engineering Physics and Thermophysics**, v. 82, n. 6, p. 1102-1109, 2009. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10891-010-0311-9> Acesso em 05 jul. 2017

COSTA, D.; SOUZA, L. C.; SILVA, F. H. S. S. Efeitos da Água Tratada Magneticamente em Sementes de Mamona (*Ricinius Commus* L.). In: **VII CONNEPI-Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação**. 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/F_Sales/publication/274388557_Efeitos_da_Agua_Tratada_Magneticamente_em_Sementes_de_Mamona_Ricinius_Commus_L/links/551e90340cf29dcabb040758/Efeitos-da-Agua-Tratada-Magneticamente-em-Sementes-de-MamonaRicinius-Commus-L.pdf Acesso em 05 jul. 2017.

GOMES, A. M.; SANTANA, R.; SANTANA, L.; GUIMARÃES, C. O. **A Utilização da Água Imantada na Produção de Concreto Usinado**. In: Simpósio Epusp sobre Estruturas de Concreto, 5, 2003, Belo Horizonte. Minas Gerais: 2003.

GUIMARÃES, C. O. **Avaliação do uso da água Magnetizada na Produção de Concretos em Centrais**. 2006. 191p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS726HM4/disserta_o_cristiano.pdf?sequence=1 Acesso em 05 jul. 2017.

KARAM, H.; AL-SHAMALI, O. **Effect of Using Magnetized Water on Concrete Properties**. In: Third International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies. 2014. Disponível em: <http://www.claisse.info/2013%20papers/data/e013.pdf> Acesso em 05 jul. 2017

Su, Wu, Mar. **Effect of magnetic field treated water on mortar and concrete containing fly ash. Cement and concrete composites**, v. 25, n. 7, p. 681-688, 2003. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946502000987> Acesso em 05 jul. 2017.

Su, Wu e Mar, C. Y. **Effect of magnetic water on the engineering properties of concrete containing granulated blast-furnace slag.** *Cement and Concrete Research*, v. 30, n. 4, p. 599-605, 2000. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884600002155>. Acesso em: 05 jul. 2017.

SANTOS, A. H. A. **Estudo Comparativo das Propriedades Mecânicas dos Concreto Produzido com Água Tratada Magneticamente.** 2006. 137p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/LMCA75WHNU/estudo_comparativo_das_propriedades_mecanicas_do_concreto_pr.pdf?sequence=1. Acesso em 05 jul. 2017

REDDY, B. K.; GHORPADE, V. G.; RAO, H. S. **Use of magnetized water for mixing and curing of concrete.** *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, v. 4, n. 1, p. 93-95, 2014.

GHOLHAKI, M.; ALI, K.; MOHAMMAD, H.; MOSTAFA, K. **An investigation on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete incorporating magnetic water with various pozzolanic materials.** *Semnan*, Iran, 2017. *Construction and Building Materials*, 158 p.183-180.

LAZARENKO, L. N. and ZHURAVLEV, P. D. **Influence of Magnetic Water Treatment Conditions on the Quality Concrete** Based Thereon. *Eletronaya Obrabotka Materialov*, 1985, nº 1, p. 87-89.

IJAZ; ET AL. **Effect of magnetic field in water for concrete mixing.** *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, v. 4, n. 1, p. 93-95, 2014.

SILVA, Domiciano Correa Marques da. **"Experimento de Oersted"**; Brasil Escola. Disponível em <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/experimento-oersted.htm>. Acesso em 07 de abril de 2018.

COSTA, Alexandre rosa. “Estrutura molecular da água”, Departamento de biologia da Universidade de Portugal. Disponível em <http://www.angelfire.com/ar3/alexcosta0/RelHid/Rhw1.htm>. Acesso em 07 de abril de 2018

SELLENT, B. L. **Água submetida a campo magnético: Influência do tempo de exposição na resistência á compressão e trabalhabilidade de concretos e argamassas**. 2017. Dissertação (Bacharel em Engenharia Civil), Instituto de tecnologia, Infra Estrutura e Território, Disponível: https://dspace.unila.edu.br/bitstream/handle/123456789/2082/TCC_BrunaSeelent.pdf?sequence=4&isAllowed. Acessado em 20 de janeiro de 2018

NOGUÉS ET AL. **Applications of exchange coupled bi-magnetic hard/soft and soft/hard magnetic core/shell nanoparticles**. Departament de Química Inorgànica, Universitat de Barcelona, Diagonal 645, E-08028, Barcelona, Spain. Published in 2014.

CORDEIRO, ET AL. **Eletromagnetismo e Cotidiano**. Disponível em <http://www.ufjf.br/virtu/files/2010/04/artigo-2a9.pdf> . Acessado em 20 de Janeiro de 2018.

JOSAFÁ, B. **Uma breve história dos ímãs**. Disponível em http://ifserv.fis.unb.br/matdid/1_2004/airton-josafa/magnetismo/principal.htm. Acessado em 20 de Janeiro de 2018

P. Zilsel (31 de julho de 2003). **The Social Origins of Modern Science**: Springer. 79 páginas. ISBN 978-1-4020-1359-1 Consultado em 20 de Janeiro de 2018.

CALLISTER JR, W. **Materials Science and Engineering**. 7 th Ed. New York: Techbooks/GTS, York, PA, 2003.

SLVA, N. - Física Volume Único; Série Novo Ensino Médio - Editora Ática - 6 Edição - São Paulo 2006

MAGNO, A. **As equação de maxwell**. Disponível em: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/as-equacoes-maxwell.htm> Acessado em 20 de Janeiro de 2018.

Brunauer, S.; Copeland, L. E. artigo publicado na “**Scientific American**”, 1964

CARVALHO, J. D. **Sobre as origens e desenvolvimento do concreto**. Departamento de Engenharia Civil Universidade Estadual de Maringá. 2008