



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS CARAÚBAS
CURSO BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ALEX DE PAIVA TARGINO

**EFEITOS OCASIONADOS PELO USO DA ÁGUA TRATADA POR CAMPO MAG-
NÉTICO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO UTILIZANDO CIMENTO CP V-ARI**

Caraúbas/RN

2018

ALEX DE PAIVA TARGINO

EFEITOS OCASIONADOS PELO USO DA ÁGUA TRATADA POR CAMPO MAGNÉTICO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO UTILIZANDO CIMENTO CP V-ARI

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

Orientador: Prof. Dr. Francisco César de Medeiros Filho

Coorientadora: Leonete Cristina de A. F. Medeiros Silva

Caraúbas/RN

2018

© 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.

T185e Targino, Alex de Paiva.
Efeitos Ocasionados pelo uso da Água Tratada por
Campo Magnético na Produção de Concreto Utilizando
Cimento CP V-ARI / Alex de Paiva Targino. - 2018.
71 f. : il.

Orientador: Francisco César de Medeiros Fi-
lho. Coorientadora: Leonete Cristina de
Araujo
Ferreira Medeiros Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e Tecno-
logia, 2018.

1. Incorporação no concreto. 2. Tratamento mag-
nético da água. 3. Resistência à compressão. 4. Tra-
balhabilidade. I. Medeiros Filho, Francisco César
de, orient. II. Silva, Leonete Cristina de Araujo
Ferreira Medeiros, 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.

ALEX DE PAIVA TARGINO

EFEITOS OCASIONADOS PELO USO DA ÁGUA TRATADA POR CAMPO MAGNÉTICO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO UTILIZANDO CIMENTO CP V-ARI

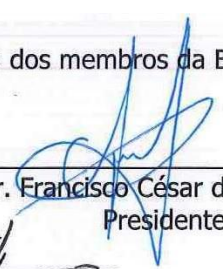
Monografia apresentada ao Conselho de curso do Bacharelado em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Francisco César de Medeiros Filho

APROVADO EM 16 / 04 / 2018

BANCA EXAMINADORA

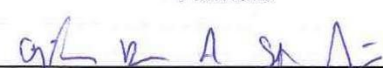
Assinatura dos membros da Banca Examinadora.



Prof. Dr. Francisco César de Medeiros Filho
Presidente



Prof. Dr. Mackson Matheus de França Nepomuceno
Membro



Prof. Me. Gilvan Bezerra dos Santos Júnior
Membro



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

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as bênçãos concedidas.

A meus pais, Antônia Aruza de Paiva Gomes Targino e Juarez Targino Júnior, por toda dedicação e incentivo aos meus estudos.

A todos os meus familiares por toda contribuição em minha vida.

A meu orientador, Prof. Dr. César Filho, pelo esforço e críticas empregado nesta pesquisa, incentivos e conselhos.

A coorientadora Profa. Ma. Leonete Cristina, por todo conhecimento transmitido sobre o concreto e sugestões pertinentes ao trabalho.

Aos meus amigos de faculdade, galera do “Chiquinho’s House”, estando do meu lado na dia-a-dia.

Aos meus amigos da capoeira por toda ajuda na mão-de-obra disponibilizada.

Ao professor Walney Gomes e aos técnicos Augusto e Walterson, por auxiliarem na aquisição dos resultados com equipamentos do laboratório da UFERSA e do IFRN.

À UFRN pela disponibilização de equipamento.

A professora Érica por esclarecimentos referentes ao concreto.

À pedreira potiguar pela disponibilização de materiais.

Aos colegas de trabalho que compartilharam de todo esforço.

A Guilherme pelo auxílio na aquisição dos dados.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta.

RESUMO

A utilização do magnetismo na vida cotidiana vem se tornando cada vez mais presente, podendo ocorrer de várias formas, seja através de aparelhos de comunicação como os celulares, por computadores e formas de armazenamento de dados na informática, de exames de imagem ou cura de doenças na biotecnologia a até na agropecuária, como na germinação de sementes e desenvolvimento biológico dos vegetais. Um ramo que vem começando a estudar os efeitos dessa aplicação na sua área é a engenharia civil, verificando diversos modos de tratamento da água. De acordo com os estudos levantados, a tensão superficial da água é reduzida, proporcionando uma melhor hidratação do cimento, assim como há uma quebra nos compostos de hidróxido de cálcio (ocasionando maior aderência nas regiões onde estão situados), o que acaba por afetar o ganho de resistência. Neste trabalho, analisou-se a utilização da água tratada por campo magnético no concreto utilizando o cimento CP-V-ARI. Para isso, utilizou-se como função resposta para análise de dados a resistência à compressão e a trabalhabilidade do concreto produzido após a realização de um tratamento da água por campo magnético, de forma estática com ímãs de geometrias distintas. Dentro desta perspectiva, os resultados levantados mostram melhorias na resistência à compressão e um aumento da trabalhabilidade (apenas para geometria L no abatimento de tronco de cone), em ambas as geometrias para os rompimentos de 7 dias de cura. Para os rompimentos aos 28 dias apenas os corpos tratados com ímãs de geometria L apresentaram bons resultados. Desta maneira, apesar de ainda ser um estudo em fase exploratório, a qual possa vir se tornar uma técnica de produção, a mesma já se mostra favorável com aumento superior a 8% na resistência e 18% na trabalhabilidade utilizando ímãs de neodímio, proporcionando bons desempenhos no concreto acima do comumente obtido nos canteiros de obra.

Palavras-chave: Incorporação no concreto. Tratamento magnético da água. Resistência à compressão. Trabalhabilidade.

ABSTRACT

The use of magnetism in everyday life is becoming more and more present, and can occur in various forms, whether through communication devices such as cell phones, computers and data storage in computer, image analysis or cure of diseases in biotechnology and even in agriculture, as in the germination of seeds and the biological development of plants. One industry that has been beginning to study the effects of this application in their area is civil engineering, verifying various ways of water treatment. According to the studies carried out, the surface tension of the water is reduced, providing a better hydration of the cement, as well as a break in the calcium hydroxide compounds (causing greater adhesion in the regions where they are located), which ends up affecting the gain of resistance. In this work, it was analyzed the use of the treated water by magnetic field in the concrete using the CP-V-ARI cement. For this purpose, the compressive strength and the workability of the concrete produced after a water treatment by magnetic field, in a static manner, with magnets of different geometries were used as response function for data analysis. From this perspective, the results showed improvements in compressive strength and an increase in workability (only for L geometry in cone truncation), in both geometries to the rupture of the 7-day cure's specimens. For the rupture at 28 days only the bodies treated with magnets of geometry L presented good results. In this way, although it is still an exploratory phase, which may become a production technique, it is already favorable with an increase of more than 8% in resistance and 18% in the workability using neodymium magnets, providing good concrete performance above that commonly obtained at construction sites.

Keywords: Incorporation into the concrete. Magnetic water treatment. Compressive strength. Workability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Corrente amperiana	30
Figura 2 - Magnitude do campo dentro dos materiais diamagnéticos e paramagnéticos.	31
Figura 3 - Configuração dos dipolos atômicos sem e com a presença de um campo externo aplicado.....	32
Figura 4 - Disposição dos dipolos atômicos na ausência e na presença de campo magnético, respectivamente.	32
Figura 5 - Orientação dos dipolos adjacentes sem a presença de um campo magnético externo.	33
Figura 6 - Pares de dipolos na mesma direção e em sentidos opostos.	34
Figura 7 - Exemplificação da interação dos spins do ferrimagnetismo.	35
Figura 8 - Disposição de diferentes tipos de tensão superficial da água.	36
Figura 9 - Disposição dos elementos na zona de transição.	37
Figura 10 - Micrografia do cristal de hidróxido de cálcio formado na pasta de cimento preparada com água de torneira.	37
Figura 11 - Micrografia do cristal de hidróxido de cálcio formado na pasta de cimento preparada com água tratada por campo magnético.	38
Figura 12 - Variações no fluxo da argamassa quando submetida a diferentes intensidades de campo.	39
Figura 13 - Resistência a compressão do concreto utilizando ATCM.	39
Figura 14 - Resistência à compressão para o traço 1.....	40
Figura 15 - Resistência à compressão para o traço 2.....	40
Figura 16 - Resistência à compressão quando a água submetida a tipos de polaridades.	41
Figura 17 - Cimento utilizado na pesquisa.....	42
Figura 18 - Areia utilizada na pesquisa.	43
Figura 19 - Brita utilizada na pesquisa.	45
Figura 20 - Teslômetro utilizado na pesquisa.	50
Figura 21 - Disposição dos ímãs de neodímio do fundo do recipiente.....	53
Figura 22 - Disposição dos ímãs de ferrite no fundo do recipiente.	53

Figura 23 - Tratamento realizado na água sob exposição ao campo magnético dos ímãs permanentes.	53
Figura 24 - Realização do processo de produção do concreto.	54
Figura 25 - Desmoldante utilizado na pesquisa.	56
Figura 26 - Processo de moldagem dos corpos-de-prova.	56
Figura 27 - Processo de cura dos corpos-de-prova.	57
Figura 28 - Retífica utilizada nos corpos-de-prova.	57
Figura 29 - Prensa hidráulica utilizada para romper os corpos-de-prova.	58
Figura 30 - Curvas de tensão-deformação para os corpos de prova do concreto do GC aos 7 dias de cura.	61
Figura 31 - Curvas de tensão-deformação para os corpos de prova do concreto do GT1 aos 7 dias de cura.	61
Figura 32 - Curvas de tensão-deformação para os corpos de prova do concreto do GT2 aos 7 dias de cura.	62
Figura 33 - Curvas de tensão-deformação para os corpos de prova do concreto do GC aos 28 dias de cura.	63
Figura 34 - Curvas de tensão-deformação para os corpos de prova do concreto do GT1 aos 28 dias de cura.	63
Figura 35 - Curvas de tensão-deformação para os corpos de prova do concreto do GT2 aos 28 dias de cura.	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Substâncias que compõem o cimento.	19
Tabela 2 - Cimentos e suas respectivas siglas e normas que os caracterizam.	20
Tabela 3 - Abertura das peneiras para as faixas de areia.	21
Tabela 4 - Classificação da areia por meio do módulo de finura.	22
Tabela 5 - Numeração da pedra e seus respectivos diâmetros inferiores e superiores.	22
Tabela 6 - Classificação do concreto de acordo com a massa específica.	23
Tabela 7 - Classificação do concreto de acordo com sua resistência à compressão.	24
Tabela 8 - Equipamentos e especificações para mistura, manuseio e transporte do concreto.	25
Tabela 9 - Tensão superficial na água comum e com água imantada.	36
Tabela 10 - Ensaio realizado na areia, normas e resultados obtidos.	43
Tabela 11 - Resultados do ensaio granulométrico da areia.	44
Tabela 12 - Ensaio realizado na brita, seguidos de suas normas e valores.	46
Tabela 13 - Resultados do ensaio granulométrico da brita.	46
Tabela 14 - Intensidade dos ímãs e seus materiais constituintes.	49
Tabela 15 - Equipamentos utilizados durante todo o processo de pesquisa com alguns aspectos relevantes.	50
Tabela 16 - Etapas do processo de produção do concreto.	54
Tabela 17 - Quantidade de concreto produzido para cada ensaio com especificações.	55
Tabela 18 - Resultados do abatimento do concreto.	59
Tabela 19 - Resultados da resistência à compressão aos 7 dias de cura.	62
Tabela 20 - Resultados da resistência à compressão aos 28 dias de cura.	64

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivo geral	16
2.2. Objetivos específicos	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1. Concreto	17
3.1.1. Aspectos históricos	17
3.1.2. Materiais	19
3.1.2.1. Cimento	19
3.1.2.2. Agregados	21
3.1.2.2.1. Areia	21
3.1.2.2.2. Brita	22
3.1.2.3. Água de amassamento	23
3.1.3. Tipos de concreto	23
3.1.4. Dosagem, Mistura e Transporte	24
3.1.5. Adensamento, Desmoldagem e Cura	26
3.2. Magnetismo e materiais magnéticos	27
3.2.1. Aspectos históricos	27
3.2.2. Magnetização	29
3.2.3. Materiais diamagnéticos	31
3.2.4. Materiais paramagnéticos	32
3.2.5. Materiais ferromagnéticos	33
3.2.6. Materiais antiferromagnéticos	34
3.2.7. Ferrimagnetismo	34
3.3. Aplicação do campo magnético na água e efeito no concreto	35
4. MATERIAIS E MÉTODOS	42
4.1. Materiais	42
4.1.1. Cimento	42
4.1.2. Areia	43
4.1.3. Brita	45
4.1.4. Água	47

4.1.5. Ímã	48
4.1.6. Equipamentos diversos	50
4.2. Métodos	51
5. RESULTADOS.....	59
5.1. Abatimento de tronco de cone.....	59
5.2. Ensaio de resistência à compressão	60
6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS.....	67
6.1. Conclusões	67
6.2. Perspectivas.....	68
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento dos povos está intimamente ligado aos seus desejos e necessidades de proporcionarem facilidades e melhorias de vida a sua própria geração e para gerações futuras. Ligado a este fato, o ser humano vem aprimorando e evoluindo suas técnicas nas mais diversas áreas do conhecimento no decorrer dos anos. Se pegarmos a história desde os primórdios, ela própria é marcada através dos significativos avanços, isso pode ser percebido desde a descoberta do fogo até a utilização de aparelhos capazes de conectar as pessoas separadas por extensas distâncias. Com a notória evolução nos últimos séculos, o domínio sobre os mais diversos materiais e as inovadoras técnicas de produção, possibilitou as sociedades desfrutarem das mais sofisticadas tecnologias, a qual é popularizada dia após dia, independente da área que esteja inserida.

Há mais de 2.000 anos, o homem pôde desfrutar de uma de suas maiores descobertas, o magnetismo. Este acontecimento propiciou um significativo avanço para a humanidade, possibilitando a realização de grandes navegações até o seu largo emprego na tecnologia de ponta. A sua aplicabilidade não restringiu-se apenas a questões físicas, ela vem sendo inserida em diversas áreas com ganhos expressivos para toda a comunidade, tais como: sistemas de som (HALLIDAY et al. 2012), memória RAM magnética (MAFFITT, 2006), melhoramento no crescimento de plantas (SOUZA et al. 2005), nanoantenas baseadas em osciladores magnéticos nanoestruturados (GIORDANO, 2014), etc.

Não distante do processo evolutivo do magnetismo, o concreto ganhou seus respectivos avanços até chegar a ser a mistura mais utilizada na construção civil. Civilizações antigas construíam suas estruturas utilizando madeira e alvenaria, posteriormente passaram a realizar misturas de matérias-primas encontradas no solo para servir de aglomerante. Com o desenvolvimento de técnicas construtivas, foi possível chegar ao cimento, e com a necessidade de obter um produto capaz de ter as mais diversas características necessárias em uma construção, obteve-se o concreto por meio da mistura de variados componentes (CARVALHO, 2008).

Observando sua grande utilidade, o concreto proporciona diversas alternativas para a produção de um produto dotado de características de acordo com as necessidades do projeto. Desta maneira, materiais passaram a serem misturados ao concreto para atingir uma determinada finalidade, principalmente pela substituição parcial de

seus agregados por rejeitos industriais, por exemplo: escória de alto-forno, cinzas volantes e resíduos selecionados (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

De acordo com as quantidades de patologias encontradas no concreto, tem-se diversos fatores contribuem para o aumento destas anomalias, como a constituição química dos materiais, fenômenos da natureza e os erros humanos. De encontro a estes problemas, diversos tratamentos são estudados, onde eles apresentam algum tipo de desvantagem necessitando o avanço científico. Com estas observações, é perceptível a busca pela melhoria na construção, partindo do princípio que todos os processos da obra almejam o sucesso da construção (TRINDADE, 2015).

Dentro deste cenário, o magnetismo começa a ser inserido como alternativa a obter bons resultados. O tratamento realizado na água para produzir o concreto vem sendo estudado, e todas suas análises convergem para resultados satisfatório.

Diversas pesquisas já foram desenvolvidas, dentre elas podemos citar: Su e Wu (2003), Gomes (2003), Reddy et al. (2014), Guimarães (2006) e Seelent (2017). Todas estas obras realizaram estudos voltados a produção de concreto e argamassa utilizando água tratada por campo magnético (ATCM). As variáveis partem da obtenção do campo a partir de um ímã permanente ou de um eletroímã, ramificando-se com variações no tempo de exposição, polaridade à qual a água está submetida e diversas intensidades de campo. O grande fator em comum, é que o concreto obtém maior resistência à compressão e melhor trabalhabilidade em comparação ao produzido com água das concessionárias.

A justificativa para a produção deste trabalho baseia-se na ideia de que as características do concreto utilizado cotidianamente podem ser melhoradas. Desta maneira, diversos pontos que estão relacionados ao produto podem ganhar uma certa melhoria, e como consequência, o mercado poderá obter futuramente mais uma técnica de produção eficaz na área da construção civil. É válido ressaltar que já se consegue um maior suporte a carga pelo aumento da resistência a compressão, uma melhor facilidade em manusear o concreto com o aumento da trabalhabilidade, melhores índices de segurança e o custo-benefício proporcionado, tratando-se a água de forma simples.

Então, neste cenário, optou-se pelo estudo sobre as potencialidades ocasionadas pelo magnetismo no tratamento da água para a produção do concreto, que para um melhor entendimento, o mesmo foi didaticamente dividido da seguinte forma: no capítulo 3 será mostrado o referencial teórico para ganho de conhecimento na área.

Nele será feita uma revisão sobre magnetismo e as propriedades magnéticas dos materiais, será também introduzido alguns conceitos e propriedades a respeito do concreto, além de nos mostrar o estado da arte da pesquisa na atualidade. No capítulo 4, será mostrado os materiais e métodos utilizados para desenvolvermos a pesquisa, assim como as normas utilizadas; no capítulo 5, serão apresentados os resultados e discussões aqui obtidos e no capítulo 6, as conclusões e perspectivas futuras.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar alguns aspectos causados pela água tratada por campo magnético no concreto utilizando o cimento CP V ARI.

2.2. Objetivos específicos

- Comparar a resistência à compressão no concreto produzido com água comum e com água tratada por campo magnético;
- Analisar a trabalhabilidade no concreto produzido com e sem tratamento magnético na água;
- Analisar a influência da geometria dos ímãs nos dados de saída aqui explorados.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Concreto

São indiscutíveis as inúmeras situações adversas que os engenheiros são submetidos, independentemente de sua área de atuação, estarão sempre comprometidos em algum projeto que envolve algum material. Dentro desta perspectiva, o conhecimento acumulado por cada um deve impulsioná-lo a analisar critérios e condições para o emprego de metodologia adequada às determinadas situações. A exemplo disso, poderíamos mencionar um clássico que envolve a ductilidade e a resistência mecânica, onde o máximo de uma acaba limitando as funções da outra. Além destes aspectos, a deterioração durante a aplicação e os custos envolvidos são características que influenciam a tomada de decisões (CALLISTER et al. 2007).

Segundo Ribeiro et al. (2011, p. 59):

O concreto é um material de larga aplicação na construção civil, obtido pela composição de cimento, agregados e água, podendo conter aditivos que também influenciem o seu desempenho. A proporção de seus componentes (dosagem ou traço) deve atender às condições requeridas de resistência, trabalhabilidade e durabilidade, que são propriedades fundamentais do concreto [...].

Existem três razões básicas para explicar a ampla utilização do concreto nos mais diversos tipos de construções. Em primeiro lugar, trata-se da alta resistência do concreto a água, visto que os mais diversos materiais de construções se deterioram com facilidade pela presença da ação da água, fato notório na aplicação de qualquer tipo de repesamento. Em segundo plano, fica a sua versatilidade na construção das mais diversas formas e tamanhos, dando-lhe a possibilidade de inovações civis. E por último, em terceiro lugar, seu baixo custo e acesso a sua matéria-prima (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

3.1.1. Aspectos históricos

Nos primórdios, as mais diversas construções eram feitas com madeira e alvenaria (moldagem de tijolos e pedras). Embora as civilizações conseguissem obter resultados satisfatórios em suas edificações, elas buscavam um material que fosse capaz de unir esses materiais. A partir daí começaram a usar o barro e posteriormente

argamassa a base de cal, datada do período Paleolítico, utilizado inclusive na construção da Pirâmide de Quéops (CARVALHO, 2008).

Após sucessivas evoluções do cimento, a descoberta do concreto seguiu uma cronologia lógica para seu surgimento (CARVALHO, 2008):

- 1791 – o engenheiro James Parker desenvolveu um cimento de excelente qualidade, denominado de Cimento Romano;
- 1817 – Vicat publica os resultados de uma pesquisa da criação de um cimento a partir da queima da mistura de argila com calcário;
- 1824 – Joseph Aspdin aperfeiçoou um método de obtenção da pedra artificial, dando-lhe o nome de Cimento Portland;
- 1888 – início da fabricação do cimento Portland no Brasil;
- 1849 – desenvolvimento do concreto armado por Joseph-Louis Lambot;
- 1886 – o engenheiro alemão Gustav Adolf Wayss promoveu a construção de diversos edifícios e difundiu o uso do concreto armado;
- 1897 – concreto armado é estudado como disciplina a França;
- 1898 – um artigo publicado na revista de Obras Públicas levanta um estudo em um vasto acervo bibliográfico, o que contribui para o sucesso da utilização do concreto;
- 1901 – Emil Morsch publica um livro que deu toda a teoria e base científica do concreto armado, contribuiu ainda com seu modelo de treliça;
- 1903 – construção do primeiro edifício comercial de grande altura com concreto armado.

No ano de 1907, teve-se a primeira proposição de curva granulométrica para análise de compacidade do concreto, em seguida, teve-se as contribuições de Duff Abrams, onde introduziu as noções de módulo de finura e trabalhabilidade. De suma importância para as grandes construções, em 1928, tem-se o surgimento do concreto protendido através de Freyssinet; no ano de 1950 obteve-se as análises das reações físico-químicas do cimento após serem hidratados e a influência da superfície dos agregados por Jacques Ferran (GUIMARÃES, 2006).

Cientes de toda a evolução do concreto, os seus materiais e processos de produção serão apresentados nos seguintes subitens, com propósito de conhecer todos as questões pertinentes ao produto.

3.1.2. Materiais

Os materiais que compõem o concreto são o cimento, os agregados (subdivididos em miúdos e graúdos, ou areia e brita, respectivamente) e a água, ambos apresentados a seguir:

3.1.2.1. Cimento

De acordo com Bauer (2013, p. 35), “Cimento Portland é o produto obtido pela pulverização de clinker, constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com uma certa proporção de sulfatos de cálcio natural, contendo, eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego”.

A composição do cimento é essencialmente compostos de cálcio, mas dentro de algumas análises, alguns elementos presentes são expressos em termos de óxidos (MEHTA; MONTEIRO, 2008), como pode ser observado na tabela 1, abaixo:

Tabela 1 - Substâncias que compõem o cimento.

NOMENCLATURA	ÓXIDO	ABREVIACÃO
Cal	CaO	C
Sílica	SiO_2	S
Alumina	Al_2O_3	A
Óxido de ferro	Fe_2O_3	F
Magnésia	MgO	M
Anidrido sulfúrico	SO_3	$\bar{S}$
Óxido de sódio e de potássio	Na_2O e K_2O	-

Fonte: BAUER (2013).

O processo de hidratação do cimento é de suma importância, pois sem a presença de água ele não é capaz de juntar os agregados constituintes do concreto. Após

a adição de água, os componentes químicos serão capazes de realizar a pega e posteriormente o endurecimento. A este fato, Metha e Monteiro (2008, p. 216-217) ressaltam:

A química do concreto é essencialmente a química da reação entre o cimento Portland e a água [...] Em qualquer reação química, as principais características de interesse são as alterações na matéria, as variações da energia e velocidade de reação. Esses três aspectos de uma reação têm grande importância prática para o usuário do cimento Portland. O conhecimento sobre as substâncias formadas quando o cimento Portland reage é importante porque o cimento em si não é um material cimentante; seus produtos de hidratação, sim, têm a ação cimentante (apud BRUNAUER; COPELAND, 1964).

Quanto aos tipos de cimento, são classificados de acordo com a tabela abaixo (MEHTA; MONTEIRO, 2008):

Tabela 2 - Cimentos e suas respectivas siglas e normas que os caracterizam.

SIGLA	DENOMINAÇÃO	ABNT
CP I	Portland Comum	
CP I-S	Portland Comum com Adição	NBR 5732
CP II-E	Portland composto com Escória	NBR 11578
CP II-Z	Portland com adição de material Pozolânico	
CP II-F	Portland composto com Fíler	
CP III	Portland de Alto-Forno	NBR 5735
CP IV	Portland Pozolânico (entre 15-50%)	NBR 5736
CP V-ARI	Portland de Alta Resistência Inicial	NBR 5733
Todos com sufixo "BC"	Portland de Baixo Calor de Hidratação	NBR 13116
Todos com sufixo "RS"	Portland Resistente a Sulfatos	NBR 5737

Fonte: BAUER (2013).

3.1.2.2. Agregados

Segundo Bauer (2013, p.63):

Agregado é o material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos. O termo “agregado” é de uso generalizado na tecnologia do concreto; nos outros ramos da construção é conhecido, conforme cada caso, pelo nome específico: fíler, pedra britada, bica-corrida, rachão, etc.

Embora seja visto por vezes apenas como material de enchimento inerte, o agregado é de grande importância na composição do concreto, influenciando diretamente na resistência, estabilidade e durabilidade. Além disto, tem forte influência sobre o custo e trabalhabilidade, o que acarreta em grandes impactos na obra. A sua classificação de acordo com a dimensão das partículas é dividida em agregado miúdo, correspondente aos materiais passantes na peneira de 4,75mm e os graúdos, retidos neste diâmetro.

Os agregados mais comumente utilizados no mundo são os minerais naturais, que constituem a areia, pedregulho e a pedra britada. Tanto a areia como a brita estão presentes em quase todos os tipos e composições dos diferentes concretos. (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

3.1.2.2.1. Areia

A areia é considerada um material de construção do tipo agregado miúdo. Geralmente quartzosa, se faz necessário que seus grãos tenham alta consistência para suportar as cargas de acordo com sua função. As suas faixas encontram-se limitados nos seguintes diâmetros de peneiras, presentes na tabela 3, logo abaixo (Bauer, 2013):

Tabela 3 - Abertura das peneiras para as faixas de areia.

FAIXA	DIÂMETRO
Fina	0,15/0,6mm
Média	0,6/2,4mm
Grossa	2,4/4,8mm

Fonte: BAUER (2013).

Outra caracterização da areia se dá pelo módulo de finura (soma das porcentagens retidas acumuladas em massa dividida por 100), de acordo com a tabela a seguir (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2011):

Tabela 4 - Classificação da areia por meio do módulo de finura.

CLASSIFICAÇÃO	MF
Fina	$MF < 2,4$
Média	$2,4 < MF < 3,3$
Grossa	$MF > 3,3$

Fonte: BAUER (2013).

3.1.2.2.2. Brita

Usada em larga escala na construção civil, a brita – também denominada de agregado graúdo – é resultado da quebra de uma rocha em fragmentos capaz de passar pela peneira 64mm. A subdivisão granulométrica é separada por numeração de pedras, normatizada de acordo com as NBR 5564, 7174 e 7211 (BAUER, 2013), conforme tabela abaixo:

Tabela 5 - Numeração da pedra e seus respectivos diâmetros inferiores e superiores.

PEDRA	DIÂMETRO
0	4,8/9,5mm
1	9,5/19mm
2	19/25mm
3	25/38mm
4	38/64mm

Fonte: BAUER (2013).

3.1.2.3. Água de amassamento

De suma importância na composição do concreto, a água de amassamento permite a hidratação do cimento, assim como produzir uma trabalhabilidade adequada. Este componente está diretamente ligado as mais diversas características do concreto, tais como: resistência à compressão, pega, retração, exsudação, ataques químicos, corrosão de armaduras, resistividade elétrica, entre outros aspectos.

Dada as mais diversas contribuições da água ao concreto, é necessário que a sua composição seja livre de substâncias orgânicas ou inorgânicas presentes em grandes quantidades, evitando que alguns desses elementos possam reagir e interferir em alguma característica do concreto. É válido ressaltar ainda a utilização da água de cura, buscando atender as especificações da água de amassamento na utilização do concreto endurecido (NEVILLE, 2016).

3.1.3. Tipos de concreto

Os tipos de concreto comumente discutidos fazem referência a massa específica e seus limites de resistência à compressão. Porém, ainda pode-se encontrar outras diversas classificações, principalmente para concretos especiais. Para o referido estudo os tipos apresentados a seguir são mais pertinentes.

O concreto pode ser classificado de acordo sua massa específica, como segue ilustrado na tabela 6:

Tabela 6 - Classificação do concreto de acordo com a massa específica.

TIPO	MASSA ESPECÍFICA (kg/m^3)
Leve	$\rho < 1800$
Normal	$\rho \cong 2400$
Pesado	$\rho > 3200$

Fonte: BAUER (2013).

Outra classificação se dá quanto a sua resistência à compressão, apresentado na tabela 7 (MEHTA; MONTEIRO, 2008):

Tabela 7 - Classificação do concreto de acordo com sua resistência à compressão.

TIPO	RESISTÊNCIA (MPa)
Baixa resistência	MPa < 20
Resistência normal	20 < MPa < 40
Alta resistência	MPa > 40

Fonte: METHA e MONTEIRO (2008).

3.1.4. Dosagem, Mistura e Transporte

De acordo com Neville (2016):

A dosagem é um simples processo de escolha de componentes adequados do concreto e de determinação de suas quantidades relativas com o objetivo de produzir um concreto, o mais econômico possível, que atenda a determinadas propriedades mínimas, especialmente resistência, durabilidade e consistência.

Por se tratar de um processo que envolve diversos aspectos do concreto, a dosagem possui uma série de limitações às quais são impostas algumas variáveis a serem levadas em conta, tais como as relações cimento/agregado, água/cimento, agregado miúdo/gráudo e possíveis aditivos que sejam implementados. As desproporções dos componentes da mistura acarretam na alteração das características desejáveis, como por exemplo: a adição de água para melhorar a trabalhabilidade acaba por influenciar na resistência quando seco (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

O processo de medição de seus constituintes se dá em massa, na busca de evitar imprecisões ocasionadas pelo inchamento da areia. Com as respectivas quantidades em mãos, a mistura se torna um processo de suma importância, dando-lhe homogeneidade em toda sua quantidade produzida.

O processo de união dos componentes pode-se dar no próprio canteiro de obra ou pela aquisição de concreto pré-misturado (produzido em uma usina). Alguns métodos de mistura e manuseio estão descritos a seguir com algumas especificações (MEHTA; MONTEIRO, 2008) conforme tabela 8:

Tabela 8 - Equipamentos e especificações para mistura, manuseio e transporte do concreto.

EQUIPAMENTO	ESPECIFICAÇÕES
Caminhão agitador	• Transporte em grande volume • Mantem a homogeneidade • Limite de uma hora e meia para descarga
Caminhão betoneira	• Mistura e transporta • Percorre longas distâncias sem danos ao concreto • Necessita apenas das quantidades dos componentes para produção
Betoneira estacionária	• Utilizada no canteiro de obra • Operada por uma pessoa • Facilidade de deslocamento • Mistura pequenos volumes comparando com caminhão betoneira
Calhas	• Transporte para níveis inferiores • Utilizado em qualquer canteiro de obra • A gravidade faz a maior parte do trabalho • Necessária boa declividade
Bombas	• Condução até o local desejado • Fácil manuseio • Atinge longas distâncias • Necessário concreto plástico • Necessária vazão constante do concreto
Tremonha	• Utilizada para concretagem submersa • Necessário grande abatimento do concreto para condução no tubo

	• Muito utilizada em pontes e barragens
Esteira rolante	• Condução para níveis mais alto • Controle de vazão • Requer alguns planejamentos no ponto de descarga

Fonte: METHA e MONTEIRO (2008).

3.1.5. Adensamento, Desmoldagem e Cura

O processo de adensamento trata-se de moldar o concreto no local desejado sob as melhores condições, evitando a formação de bolhas de ar no seu interior. Esta etapa pode ser realizada de duas formas, a primeira com a utilização de equipamentos mecânicos que permitem uma melhor precisão sob condições mais extremas e a segunda é realizada manualmente, fazendo uso de uma haste com sucessivas socagens (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A desmoldagem consiste na retirada do concreto de suas fôrmas (sejam corpos de prova ou caixas de alvenaria). Este processo faz-se necessário que o produto já tenha obtido uma resistência suficiente para não sofrer danos. A variação do tempo pode durar de 12 a 15h para concretos de alta resistência inicial (CP V-ARI) ou até dois dias (CP III, por exemplo). Estas especificações do tempo de desmolde devem serem seguidas a risco, uma vez que o concreto não esteja totalmente endurecido (adquirido resistência mínima) pode ocasionar colapso em toda a estrutura (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

O processo de cura merece grande relevância em todas as construções, pois proporciona o concreto chegar ao nível desejado de resistência. A sua definição remete a um conjunto de medidas que promovam a hidratação do cimento a partir de condições adequadas. O método consiste em manter a umidade e a temperatura controlada por determinados períodos, até chegar as características desejadas. Alguns procedimentos adotados, consistem em manter a estrutura submersa, borrifar constantemente toda a área superficial ou fazer-se uso da utilização de câmaras úmidas (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

3.2. Magnetismo e materiais magnéticos

O homem sempre buscou aplicar seus conhecimentos para melhorar suas condições de vida. Há mais de 2000 anos, com a descoberta do magnetismo, diversos estudos vêm sendo realizado e junto a isso o acúmulo de conhecimentos torna-se algo natural (TIPLER & MOSCA, 2012). A capacidade de manter uma força repulsiva ou atrativa sobre outros materiais, faz do campo magnético algo muito belo e enigmático, onde dependendo de sua magnitude, acaba por atingir todas as substâncias (CALLISTER, 2007).

A produção de um campo magnético pode ser dada pelo movimento de cargas elétricas (eletroímã), podendo sua intensidade, ser controlada de acordo com a corrente que é introduzida no sistema. Uma outra maneira de se ter campo magnético, é a partir de partículas elementares, acarretando na produção de ímãs permanentes. As suas aplicações variam de acordo com o sistema estudado. Tais empregos difundem-se em vários utilitários sociais como em gravação de CD's e DVD's, alto-falantes de som, em diversos componentes automotivos (ignição, limpador de para-brisas, teto solar), sistemas de tecnologia da informação e diversos outros ramos da engenharia, sem falar na área biomédica (HALLIDAY et al. 2012).

3.2.1. Aspectos históricos

Caracterizado pelo fato de poder atrair outros corpos, a descoberta do campo magnético está ligada a magnetita (pedra que pode atrair ferro e outros metais), a qual era extraída na região da Magnésia, região da Grécia. Foram os gregos os primeiros a tomarem este efeito como estudo, baseado na compreensão de ideias e não na miticidade. Não obstante apenas ao efeito de atração, Platão e Lucretius perceberam o efeito da repulsão (sem ter conhecimento da definição de pólos magnéticos) (RIBEIRO, 2000).

No século XIII Pierre de Maricourt começou a conceituar os pólos de um ímã. Uma agulha colocada sobre um ímã se orientava pelas linhas que interceptavam as extremidades opostas, assim, com observações experimentais de outros estudiosos, puderam concluir que qualquer ímã possuía dois polos, denominados de norte e sul. Além disto, foi notável que pólos iguais se repeliam e polos contrários se atraíam (TIPLER & MOSCA, 2012).

Já em meados do século XVII, Willian Gilbert descobriu que a terra é um grande ímã natural. Neste período, teve-se a vasta contribuição de Sir Francis Bacon quando ele reuniu em uma obra todo o conhecimento de sua época sobre o magnetismo. Já a partir do século XIX é que os estudos começam a serem mais elaborados, como por exemplo, Oersted descobre que uma corrente é capaz de produzir campo magnético e posteriormente esta afirmativa é conceituada por Ampère. Teve ainda as contribuições de Faraday e Henry, descobrindo que o campo é capaz de gerar corrente em um circuito (RIBEIRO, 2000).

É imprescindível ressaltar ainda as contribuições de Maxwell. Por volta de 1864 ele começa a formular equações para descrever o comportamento de fenômenos elétricos e magnéticos. Em 1873 foram apresentadas quatro equações diferenciais que mostram a ligação direta entre o magnetismo e a eletricidade, são elas: Lei de Gauss (equação 1), Lei de Gauss para o Magnetismo (equação 2), Lei de Faraday (equação 3) e Lei de Ampère-Maxwell (equação 4). Duas das conclusões remete ao fato de que campos magnéticos e elétricos quando variáveis podem gerar um ao outro e os fluxos magnéticos são conservativos, ou seja, a magnitude que entra em um volume é igual à que sai (OBERZINER, 2008). Aqui vale uma observação no que diz respeito a nomenclatura da segunda lei de Maxwell, pois ela não tem nome específico, o nome de Lei de Gauss para o Magnetismo é comumente chamada para referenciar-se a mesma. As quatro equações são definidas como:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (1)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (2)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (3)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (4)$$

A partir de então, os materiais foram cada vez mais estudados e passaram a ser divididos magneticamente em vários tipos, os principais são os paramagnetos, diamagnetos, antiferromagnetos, ferrimagnetos e ferromagnetos. Esta separação deu-se conforme o comportamento dos momentos magnéticos quando eles são expostos a um campo externo. (TIPLER & MOSCA, 2012).

Para uma melhor elucidação das características existente em cada um dos tipos de materiais magnéticos, será explicado adiante no capítulo os fenômenos que os descrevem expostos a um campo magnético externo a si.

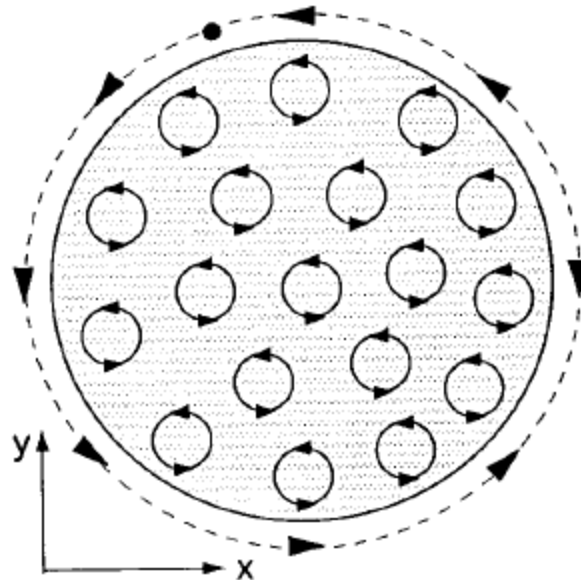
3.2.2. Magnetização

Quando algum material é submetido a um campo magnético intenso, seus dipolos magnéticos tendem a alinhar-se por efeito do campo externo, assim, define-se que o objeto está magnetizado. Esta magnetização é definida como a variação do momento do dipolo pelo volume do material (TIPLER & MOSCA, 2012):

$$\vec{M} = \frac{d\vec{\mu}}{dV} \quad (5)$$

Uma definição de suma importância foi a de corrente amperiana, onde Ampère propôs, que a magnetização resulta de correntes microscópicas. Tomando-se por base o plano XY , as correntes perpendiculares a esse plano, tenderão a se anularem vetorialmente resultando na anulação das correntes internas. Pelo fato de no exterior não possuir correntes para anular as últimas encontradas na superfície do material, a consequência seria uma corrente superficial, denominada de corrente amperiana (RIBEIRO, 2000):

Figura 1 – Corrente amperiana



Fonte: RIBEIRO (2000).

Os fenômenos magnéticos podem ser expressos em função da indução magnética e pelo vetor de intensidade de campo magnético aplicado. Sendo que o primeiro vai depender tanto da corrente de condução quanto da corrente amperiana, já o segundo apenas com a corrente de condução, resultando na equação de campo (RIBEIRO, 2000).

A indução magnética, representada por B , demonstra a intensidade da força interna em alguma substância quando submetida a um campo externo (H). A unidade de medida utilizada é o Tesla (T), sendo que estes componentes também são caracterizados por vetores. O resultado da densidade de fluxo magnético é diretamente proporcional ao campo que está submetido e a permeabilidade relativa (μ) de acordo com a equação:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad (6)$$

A permeabilidade relativa vai nos indicar qual o limite em que o material pode ser magnetizado, ou a facilidade que B pode sofrer alguma mudança na presença de um campo externo. Próximo ao processo de indução, tem-se o termo magnetização, em que os momentos magnéticos (M) tendem a se alinhar com o campo externo e

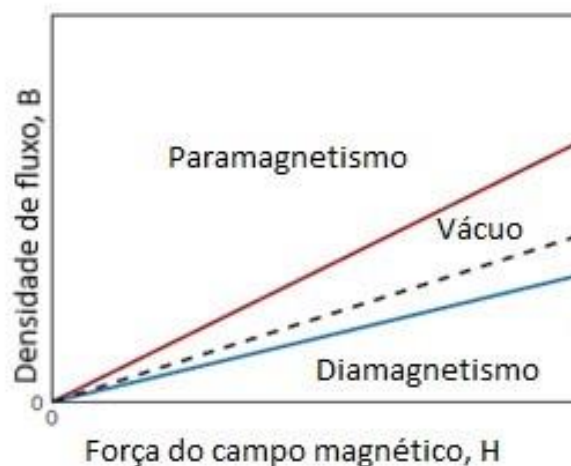
adicionar uma magnitude em função da interação de seus campos. Como resultado, temos a equação da magnetização (CALLISTER, 2007):

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}) \quad (7)$$

3.2.3. Materiais diamagnéticos

Caracterizado como uma forma muito fraca de magnetismo, o diamagnetismo só é constante quando há a aplicação de um campo externo. A partir da aplicação do campo o momento magnético possui sentido oposto e intensidade pequena aquele referente à qual está sendo submetido. Por consequente, a magnitude do campo é menor do que aplicado no vácuo (figura 2), pelo fato de sua suscetibilidade magnética ser negativa. Veja figura 2:

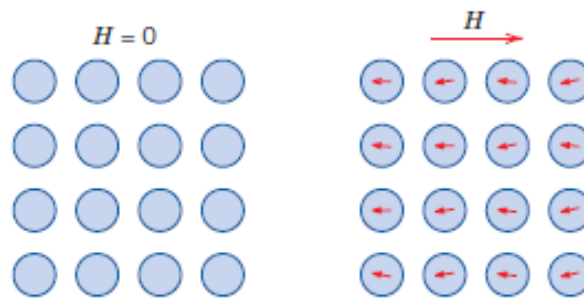
Figura 2 - Magnitude do campo dentro dos materiais diamagnéticos e paramagnéticos.



Fonte: Adaptado de CALLISTER (2007).

A figura abaixo demonstra o comportamento do material diamagnético na presença de um campo. Quando ele não é submetido a nenhuma atividade externa, não haverá nenhum tipo de magnetização; já quando são submetidos a uma força magnética, seus dipolos se alinham na mesma direção e em sentidos opostos (CALLISTER, 2007).

Figura 3 - Configuração dos dipolos atômicos sem e com a presença de um campo externo aplicado.



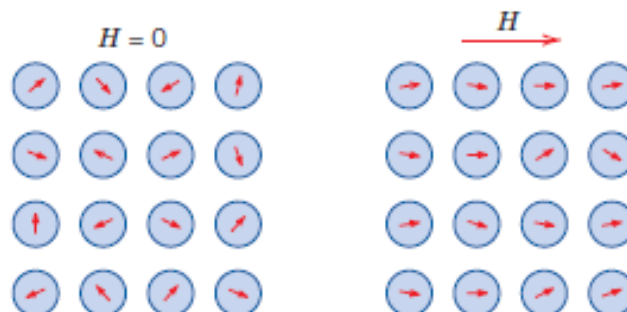
Fonte: CALLISTER (2007).

3.2.4. Materiais paramagnéticos

Estes materiais quando não estão sob ação de um campo magnético externo, tem seus momentos alinhados de forma desordenada, já sob ação de um campo externo acabam por se ordenarem na mesma direção, sem alguma interação entre dipolos adjacentes, resultando em uma pequena variação no alinhamento.

A figura abaixo ilustra as características citadas anteriormente, onde na ausência de um campo externo os dipolos estão desordenados, diferentemente da situação quando a presença de campo.

Figura 4 - Disposição dos dipolos atômicos na ausência e na presença de campo magnético, respectivamente.



Fonte: CALLISTER (2007).

A magnitude do campo magnético dentro do material acaba sendo maior que a do vácuo, muito embora que seja um valor pequeno (veja figura 2). Apesar dos paramagnetos possuírem todas estas características, ainda é considerado um material

não-magnético, pelo fato de apresentar magnetização apenas na presença de um campo externo, semelhante ao diamagnetismo (CALLISTER, 2007).

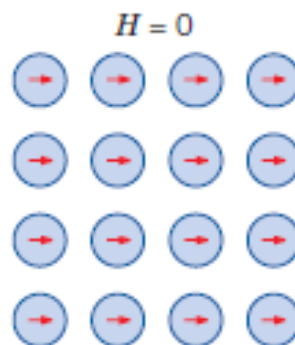
3.2.5. Materiais ferromagnéticos

Diferentemente dos materiais diamagnéticos e paramagnéticos, o ferromagnetismo caracteriza-se por possuir um momento magnético resultante permanente, sem a necessidade de um campo externo (H). Por consequência, a sua suscetibilidade magnética ganha enormes proporções (da ordem de 10^6) e $H \ll M$, onde seu campo resultante é aproximadamente igual a dimensão da magnetização. Dá equação 7 tem-se (CALLISTER, 2007):

$$\vec{B} \cong \mu_0 \vec{M} \quad (8)$$

Nestes materiais os dipolos adjacentes acabam por possuírem atração entre si, mesmo com a ausência de um campo externo, como visto na figura 5:

Figura 5 - Orientação dos dipolos adjacentes sem a presença de um campo magnético externo.



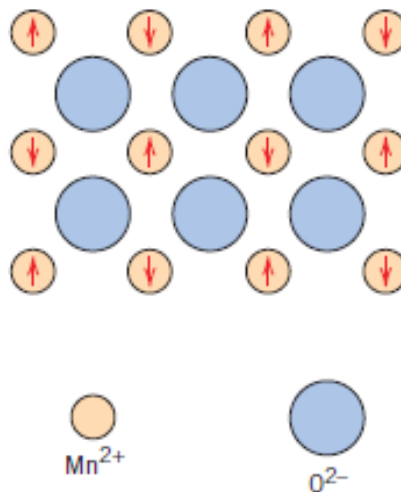
Fonte: CALLISTER (2007)

Outra característica predominante no ferromagnetismo trata-se da saturação magnética, onde todos os dipolos estão estritamente alinhados na direção do campo externo, não ocorrendo mais influência na sua magnetização caso haja aumento do campo externo (CALLISTER, 2007).

3.2.6. Materiais antiferromagnéticos

Como o próprio nome sugere, os materiais antiferromagnéticos vão realizar ações contrárias ao do ferromagnetismo. A sua organização de empareamento magnético se dá de forma onde dois dipolos se alinham na mesma direção e em sentidos opostos, como ilustrado na figura abaixo:

Figura 6 - Pares de dipolos na mesma direção e em sentidos opostos.



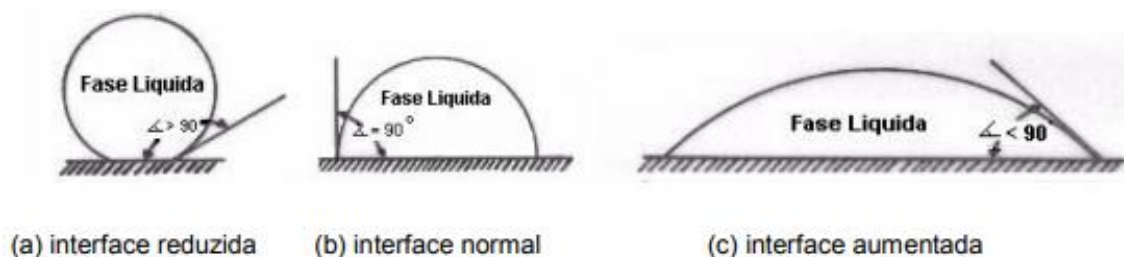
Fonte: CALLISTER (2007)

Por consequência, o efeito de um momento magnético é cancelado por outro de sentido oposto, resultando na não magnetização de todo o material, mesmo na presença de um campo externo (CALLISTER, 2007).

3.2.7. Ferrimagnetismo

O ferrimagnetismo possui características semelhantes as do ferromagnetismo, o que vai distingui-lo, é o fato de que em seus momentos magnéticos os spins vizinhos tendem a se alinhar em sentidos opostos. A exemplificação pode ser dada pelas ferritas cúbicas, em que os íons de F_e^{2+} e F_e^{3+} situam-se na mesma direção e em sentidos contrários (figura 7).

Figura 8 - Disposição de diferentes tipos de tensão superficial da água.



Fonte: GOMES et al. (2003).

De acordo com estas disposições e características, a água imantada produz resultados significativos na diminuição da tensão superficial, conforme ilustrado na tabela 9. Consequentemente, a hidratação na pasta de cimento ganha uma melhor resposta (GOMES et al., 2003).

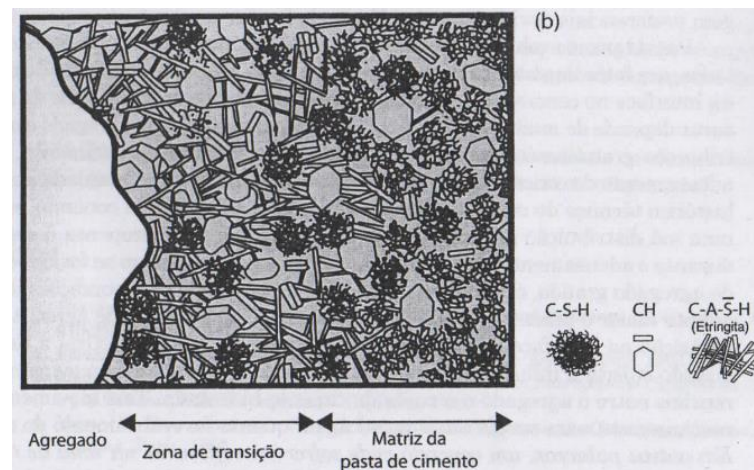
Tabela 9 - Tensão superficial na água comum e com água imantada.

Tensão Superficial (dina/cm)				
Tempo de indução	2h	4h	6h	8h
água comum	72,0	71,9	71,9	72,0
água magnetizada	70,5	65,4	64,4	60,7

Fonte: GOMES et al. (2003).

De acordo com Metha e Monteiro (2008), na microestrutura do concreto existem as chamadas zonas de transição – região existente entre a superfície do agregado gráúdo e a pasta de cimento -, também sendo denominada como a fase limitante da resistência no concreto, acaba por influenciar diretamente nesta característica. Dentro dos processos químicos ocorre a formação de grandes estruturas de hidróxido de cálcio (constitui 20 a 25% do volume de sólidos na pasta de cimento hidratada), esta substância possui baixa capacidade de aderência e também encontra-se nesta zona, acarretando na diminuição da resistência quando presente em grandes quantidades. A figura 9 logo abaixo, representa a disposição da zona de transição e a presença dos hidróxidos de cálcio:

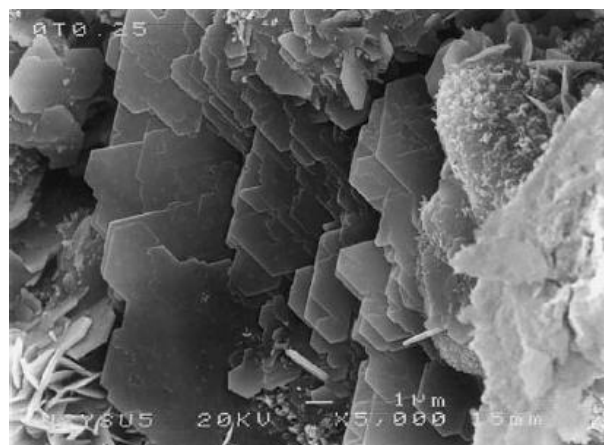
Figura 9 - Disposição dos elementos na zona de transição.



Fonte: MEHTA; MONTEIRO (2008).

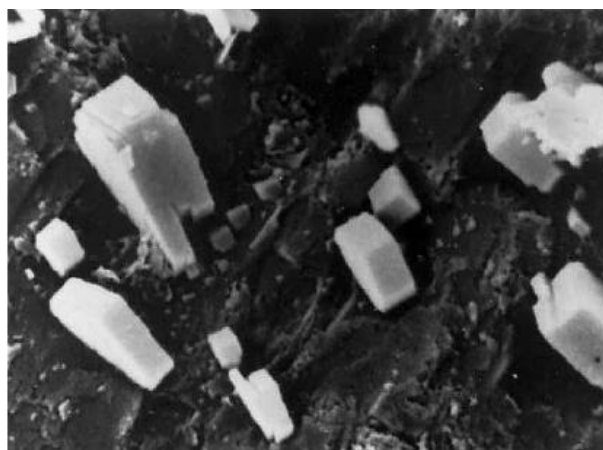
As figuras 10 e 11 demonstram a disposição dos cristais de hidróxido de cálcio (CH) que são formados na pasta de cimento após o uso da água com e sem o tratamento do campo magnético. Na primeira é visível a formação de chapas hexagonais e volumosas do CH, já na segunda ilustração, observa-se que essa formação se dá em pequenas quantidades e em volume bem reduzido. Estas micrografias norteiam para que estes fatores influenciem na resistência a compressão, tornando-a maior na água tratada. Este fato acaba por ser um dos agentes causadores do aumento da resistência do concreto após a água sofrer influência do campo magnético (SU & WU, 2003).

Figura 10 - Micrografia do cristal de hidróxido de cálcio formado na pasta de cimento preparada com água de torneira.



Fonte: SU; WU (2003).

Figura 11 - Micrografia do cristal de hidróxido de cálcio formado na pasta de cimento preparada com água tratada por campo magnético.

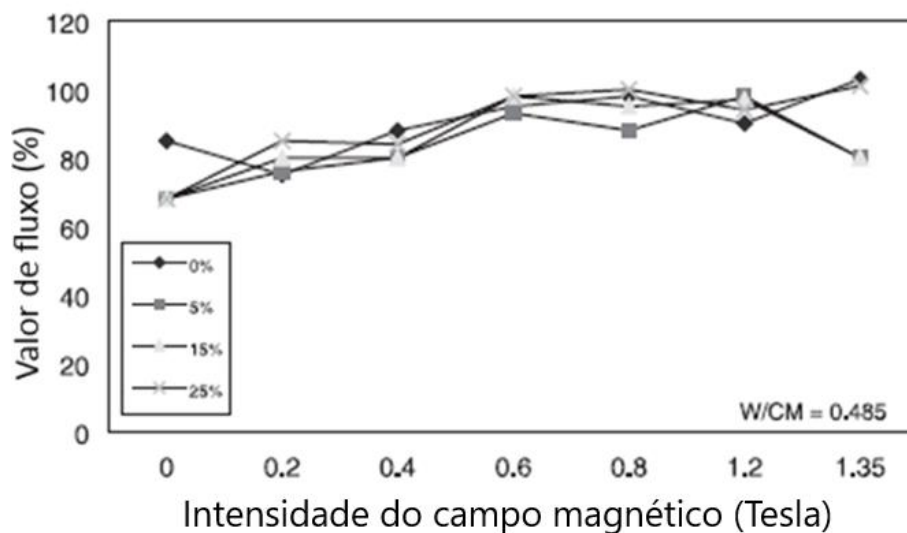


Fonte: SU; WU (2003).

Os estudos desenvolvidos por Su *et. al.* (2000), mostram as relações obtidas pela substituição de cimento por escória granulada de alto forno, submetidos a diversas intensidades de campo e tempos diferentes de cura do concreto. Os resultados mais expressivos situaram-se na exposição ao campo de 0,8 e 1,2T, obtendo dados significativos de melhora entre 10% à 23%. Outra análise é no tocante ao processo de hidratação da pasta de cimento, a qual a água submetida ao campo foi capaz de hidratar melhor a pasta de.

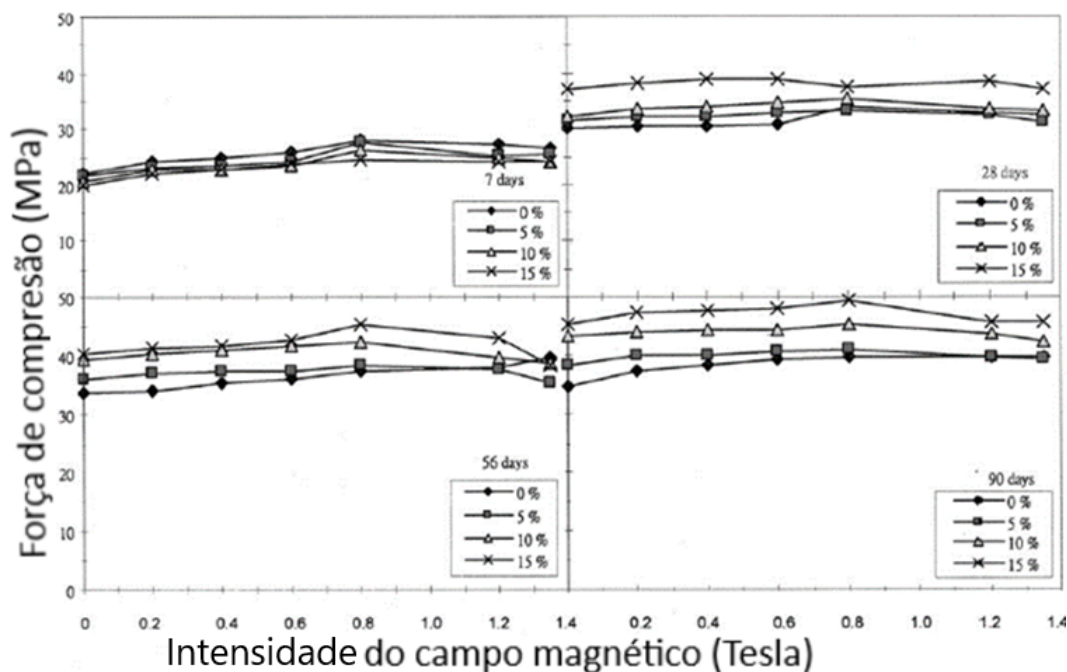
Su e Wu (2003) conseguiram uma mesma linha de raciocínio ao analisado anteriormente. Eles observaram os dados no concreto e na argamassa contendo cinzas volantes. Os primeiros resultados demonstraram que o fluxo de argamassa produzido com água tratada por campo magnético aumentou rapidamente (figura 12), assim como a resistência à compressão aumentou independentemente da substituição de cinzas. Os outros resultados, agora referentes ao concreto, demonstram que a resistência a compressão teve maiores aumentos quando submetidos a campos de 0,8T e 1,2T, além deste fato, é notório que esta força também aumenta com maiores tempos de cura, como ilustrado na figura 13.

Figura 12 - Variações no fluxo da argamassa quando submetida a diferentes intensidades de campo.



Fonte: Adaptado de SU; WU (2003).

Figura 13 - Resistência a compressão do concreto utilizando ATCM.

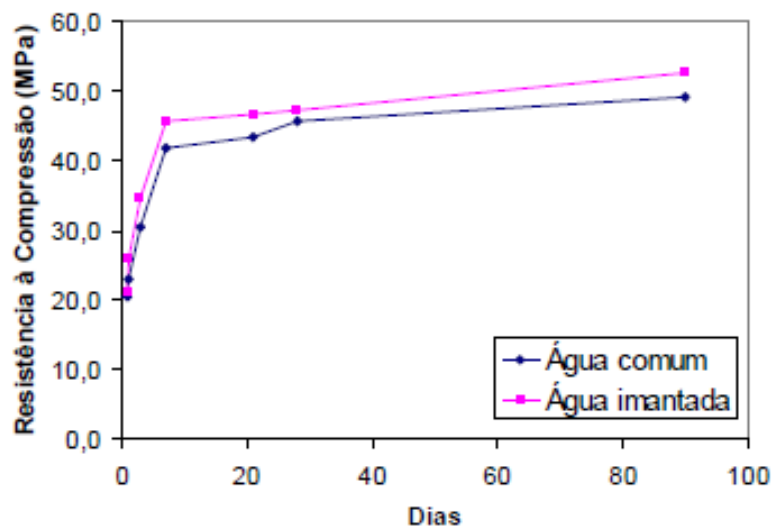


Fonte: Adaptado de SU; WU (2003).

Conforme ilustrado nas figuras 14 e 15, é observada uma melhora nítida na produção do concreto produzido com água imantada em relação a água comum. A análise foi realizada em dois traços diferentes com resultados positivos em todos os

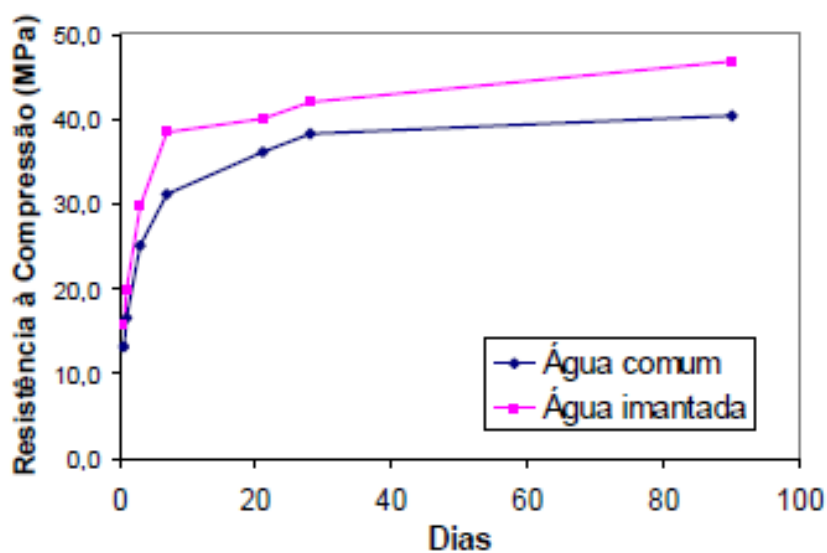
dias de cura, obtendo ainda uma melhor trabalhabilidade, com diminuição de 2cm no tronco de cone (Gomes et al. 2003).

Figura 14 - Resistência à compressão para o traço 1.



Fonte: GOMES et al. (2003).

Figura 15 - Resistência à compressão para o traço 2.

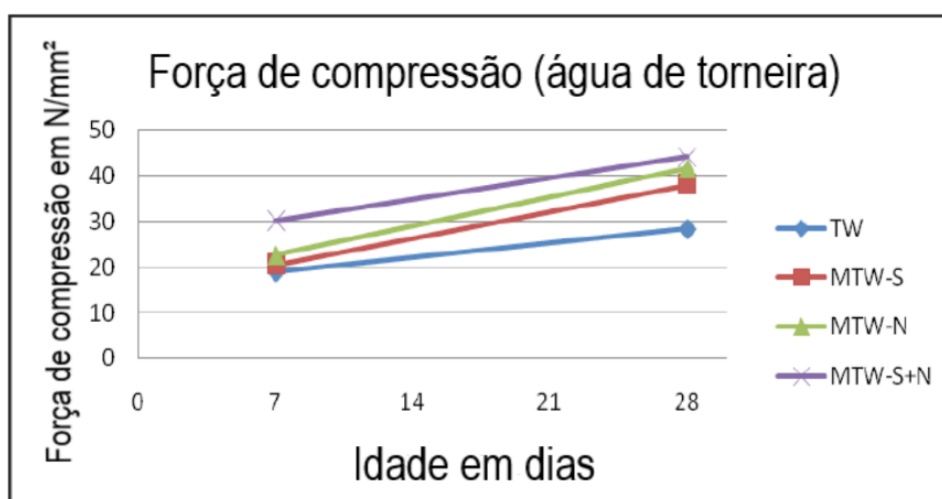


Fonte: GOMES et al. (2003).

Reddy et al. (2014) apresentou ótimos resultados de trabalhabilidade e resistência a compressão em 2014 numa análise a partir das polaridades dos ímãs. Desenvolvido através de um tratamento estático, os autores deixaram o ímã abaixo do recipiente da água durante o período de 24h, além disto, deixaram exposta apenas

ao polo norte, polo sul e aos dois para obtenção dos dados. *A priori*, é notória a melhora da resistência compressiva do concreto quando exposto aos três tipos de tratamento na água, sendo que quando submetida as duas polaridades os resultados foram mais expressivos, conforme ilustrado abaixo. Da mesma forma, a trabalhabilidade aumentou quando a água foi tratada sob ação das duas polaridades.

Figura 16 - Resistência à compressão quando a água submetida a tipos de polaridades.



Fonte: Adaptado de REDDY et al. (2014).

Guimarães (2006) em sua obra apresentou melhorias na resistência à compressão e maior trabalhabilidade (aumento de 10%) quando o concreto foi produzido com água tratada por campo magnético, o autor enfatiza que a principal causa se dá pela diminuição da tensão superficial aumentando o processo de hidratação da pasta de cimento e que a redução de cimento é possível, sem perder as características do projeto. Em uma perspectiva mais recente, Seelent (2017) faz variação no tempo de exposição da água ao campo para a produção de argamassa e concreto. Os resultados demonstraram melhoras significativas, para concreto a resistência à compressão obteve aumento de mais de 25% e 10% para argamassa. Em relação a trabalhabilidade, o concreto atingiu um ganho de cerca de 60%.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados os materiais utilizados durante todo o processo (desde a dosagem até os ensaios de compressão) seguidos de suas respectivas normas técnicas, assim como a metodologia de pesquisa utilizada para obtenção dos dados e suas análises.

4.1. Materiais

Todos os materiais (cimento, agregados miúdos e graúdos e a água) foram devidamente analisados e testados, dentro dos requisitos necessários para o cálculo da dosagem e produção do concreto, assim como para realizar o tratamento magnético na água. Todos eles são encontrados no mercado e empregados em larga escala em todo tipo de construção. Para um melhor entendimento e uma melhor organização, apresentaremos tais materiais.

4.1.1. Cimento

O cimento utilizado na pesquisa foi o CP V ARI da marca MIZU (40Kg), amplamente encontrado no mercado para fins de altas resistências iniciais.

Figura 17 - Cimento utilizado na pesquisa.



Fonte: autor (2018).

4.1.2. Areia

A areia utilizada foi adquirida no comércio local, dentro das condições estabelecidas pela norma NBR 7211 (ABNT, 2005).

Os ensaios desenvolvidos para sua caracterização seguido de suas normas ou adoção de valores são apresentados na tabela abaixo. A figura 18 apresenta o procedimento de peneiramento para areia média, compreendida entre os limites 0,6mm à 2,4mm.

Figura 18 - Areia utilizada na pesquisa.



Fonte: autor (2018).

Tabela 10 - Ensaio realizados na areia, normas e resultados obtidos.

ENSAIO	NBR/ADOTADO	VALOR
Granulometria	NBR 7217:1987 - Agregados – Determinação da composição granulométrica	-
Massa específica	NBR 9776:1987 - Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman	2577 Kg/m^3
Umidade	Norma Rodoviária DNER-ME 052/94 - Solos e agre-	6%

	gados miúdos – determinação da umidade com emprego do “Speedy test”	
Massa unitária	ABCP	$1460 \text{ Kg}/\text{m}^3$
Inchamento	ABCP	30%

Fonte: autor (2018).

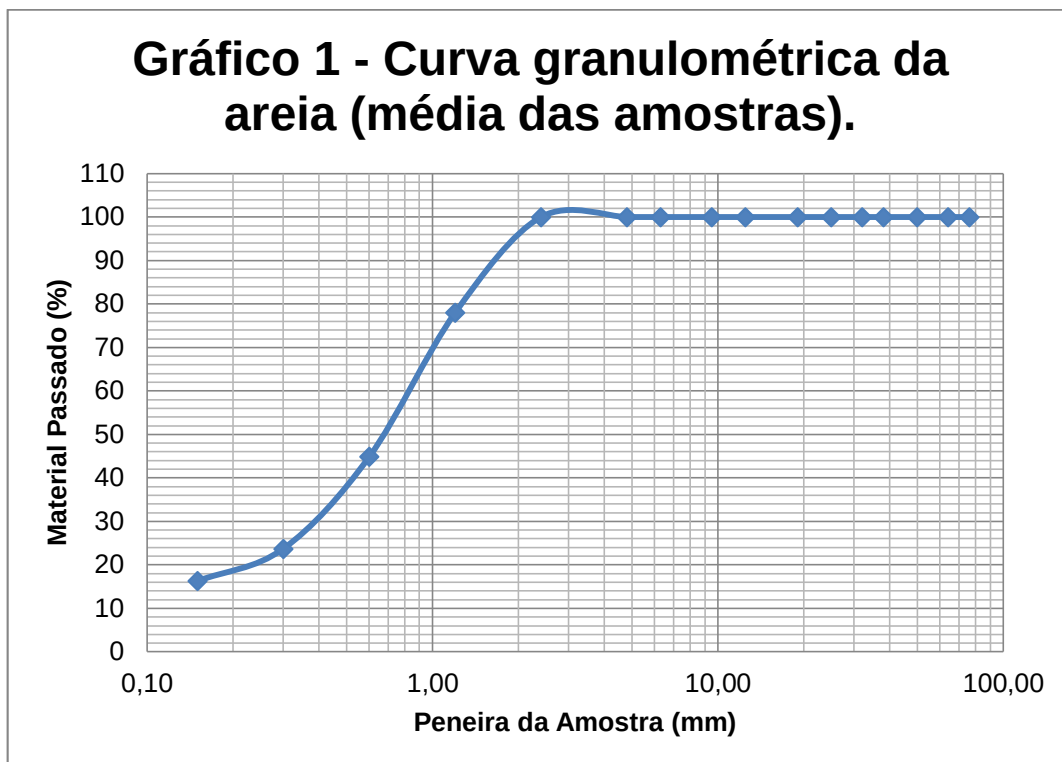
A granulometria apresentou os seguintes resultados listados na tabela 10, realizados em duas amostras retiradas de locais diferentes para obtenção da média e maior credibilidade nos dados.

Tabela 11 - Resultados do ensaio granulométrico da areia.

PENEIRA (mm)	MASSA RE-TIDA (g)		AMOSTRA 1			AMOSTRA 2			MÉDIA		
	AMOS-TRA 1	AMOS-TRA 2	% RE-TIDA	% ACUM	% PASS	% RE-TIDA	% ACUM	% PASS	% RE-TIDA	% 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	23,88	22,90	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
2,40	53,10	52,47	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1,20	109,43	110,80	21,89	21,89	78,11	22,16	22,16	77,84	22,02	22,02	77,98
0,60	165,66	165,81	33,13	55,02	44,98	33,16	55,32	44,68	33,15	55,17	44,83
0,30	105,38	105,89	21,08	76,09	23,91	21,18	76,50	23,50	21,13	76,30	23,70
0,15	36,98	37,23	7,40	83,49	16,51	7,45	83,95	16,05	7,42	83,72	16,28
0,00	5,57	4,90	1,11	84,60	15,40	0,98	84,93	15,07	1,05	84,77	15,24
TOTAL	500,00	500,00	100,00	321,09		100,00	322,85		100,00	321,97	0,00
MASSA ESPECÍFICA (g/cm³)				MÓDULO DE FINURA (MF):							
AMOSTRA 1:		2,58	AMOSTRA 1:		3,21						
AMOSTRA 2:		2,58	AMOSTRA 2:		3,23						
MÉDIA:		2,58	MÉDIA:		3,22						

Fonte: autor (2018).

De acordo com o valor obtido do módulo de finura, esta areia é classificada na zona de utilizável, segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009). A curva granulométrica demonstrada no gráfico abaixo, apresenta uma graduação contínua na areia.



Fonte: autor (2018).

4.1.3. Brita

A brita utilizada foi a 1 (veja na figura 19), compreendida entre os limites de peneira 9,5mm à 19mm de separação. Foram realizados os seguintes ensaios:

Figura 19 - Brita utilizada na pesquisa.



Fonte: autor (2018).

Tabela 12 - Ensaios realizados na brita, seguidos de suas normas e valores.

ENSAIO	NBR/ADOTADO	VALOR
Granulometria	NBR 7211:2005 - Agregados para concreto – Especificação	-
Massa específica	NBR NM 53:2003 – Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água	2570 Kg/m^3
Massa unitária (solta)	ABCP	1430 Kg/m^3

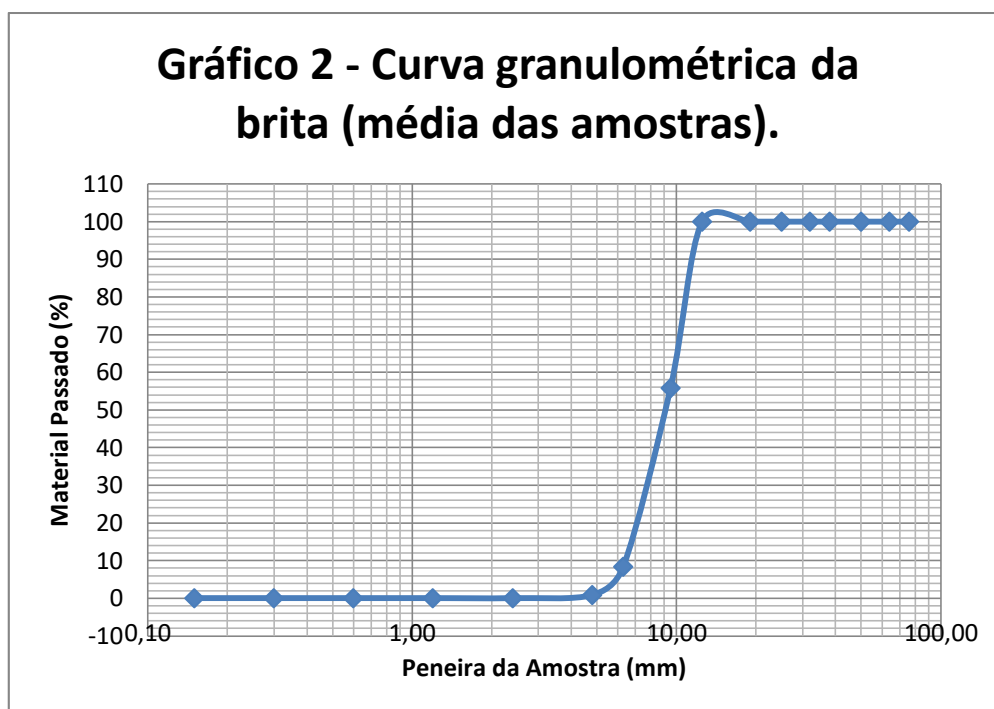
Fonte: autor (2018).

A sua distribuição granulométrica e a curva são apresentadas a seguir:

Tabela 13 - Resultados do ensaio granulométrico da brita.

PENEIRA (mm)	MASSA RETIDA (g)		AMOSTRA 1			AMOSTRA 2			MÉDIA		
	AMOS-TRA 1	AMOS-TRA 2	% RE-TIDA	% ACUM	% PASS	% RE-TIDA	% ACUM	% PASS	% RE-TIDA	% 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	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	0,88
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	0,00
TOTAL	5000,00	5000,00	100,00	698,94		100,00	698,69		100,00	698,82	0,00
MASSA ESPECÍFICA (g/cm³)				MÓDULO DE FINURA (MF):							
AMOSTRA 1:		2,58	AMOSTRA 1:				6,99				
AMOSTRA 2:		2,58	AMOSTRA 2:				6,99				
MÉDIA:		2,58	MÉDIA:				6,99				

Fonte: autor (2018).



Fonte: autor (2018).

4.1.4. Água

A água utilizada é proveniente de poços subterrâneos que abastecem a cidade de Caraúbas-RN, pertencente a Bacia Hidrográfica Apodi/Mossoró, e devidamente tratada pela Companhia de Água e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN). A qualidade da água é indicada na tabela 14:

Tabela 14 - Parâmetros analisados para qualidade da água.

Parâmetro	Cloro Residual Livre (m g/L)			Turbidez (uT)			Cor Aparente (uH)			Coliformes Totais		
Mês	Mínimas Obrigatórias	Analisadas	Em Conformidade	Mínimas Obrigatórias	Analisadas	Em Conformidade	Mínimas Obrigatórias	Analisadas	Em Conformidade	Mínimas Obrigatórias	Analisadas	Em Conformidade
Jan	30	43	37	30	45	43	5	45	43	30	45	39
Fe v	30	45	37	30	45	44	5	45	45	30	45	40
Mar	30	20	20	30	23	23	5	23	23	30	23	23
Abr	30	32	30	30	34	32	5	34	34	30	34	32
Mai	30	31	29	30	35	33	5	35	33	30	35	30
Jun	30	55	49	30	56	50	5	56	55	30	56	48
Jul	30	32	30	30	33	29	5	33	29	30	34	30
Ago	30	30	30	30	25	25	5	25	25	30	30	30
Se t	30	40	40	30	40	40	5	40	40	30	30	30
Out	30	11	11	30	14	14	5	14	14	30	10	10
Nov	30	34	28	30	30	30	5	30	30	30	40	37
De z	30	40	34	30	40	40	5	40	40	30	40	40
Total 2017	360	413	375	360	420	403	60	420	411	360	422	389
Padrão	[0,2 - 5,0]			[≤ 5]			[≤ 15]			Ausência em 95% das amostras		
Os valores entre [] representam os valores mínimos e máximos admitidos para os parâmetros, estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS - Anexo XX de 28/09/2017 (Federação).												

Fonte: adaptado de CAERN (2018).

4.1.5. Ímã

O campo magnético utilizado sobre a água foi conseguido através de ímãs permanentes e foram obtidos de HD de computadores e alto-falantes de som. Devido à proximidade geométrica, os ímãs de HD nós o chamamos de ímãs com geometria L, e os ímãs de alto-falante nós o chamamos de geometria anel. As suas intensidades de campo e material constituinte dos mesmos, medidos na superfície do material, são apresentados na tabela 15:

Tabela 15 - Intensidade dos ímãs e seus materiais constituintes.

HD			
ÍMÃ	INTENSIDADE (T)	MATERIAL CONSTITUINTE	
1	0,28	Neodímio	
2	0,26	Neodímio	
3	0,184	Neodímio	
4	0,4	Neodímio	
5	0,19	Neodímio	
6	0,21	Neodímio	
7	0,29	Neodímio	
8	0,36	Neodímio	
9	0,34	Neodímio	
ALTO-FALANTE			
ÍMÃ	INTENSIDADE NO CENTRO DO ANEL (T)	INTENSIDADE NA BORDA DO ANEL (T)	MATERIAL CONS-TITUINTE
1	0,08	0,04	Ferrite
2	0,082	0,034	Ferrite
3	0,095	0,031	Ferrite
4	0,13	0,032	Ferrite
5	0,16	0,038	Ferrite
6	0,11	0,03	Ferrite

Fonte: autor (2018).

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 distâncias entre os ímãs na vertical possuem o mesmo valor, assim como 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 21 e 22 no subitem 4.2.

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 20 - Teslômetro utilizado na pesquisa.



Fonte: autor (2018).

4.1.6. Equipamentos diversos

Todos os equipamentos utilizados nos diversos ensaios estão tabelados a seguir com seu modelo e característica relevante:

Tabela 16 - Equipamentos utilizados durante todo o processo de pesquisa com alguns aspectos relevantes.

EQUIPAMENTOS		
DESCRIÇÃO	MODELO	CARACTERISTICA RELEVANTE
Béquer de 1 L	-	1 L
Bandeja	-	-
Peneira 0,6 mm (areia)	-	Nº 30
Peneira 2,36 mm (areia)	-	Nº 8
Peneira 9,5 mm (brita)	-	Nº 3/8 "
Peneira 19 mm (brita)	-	Nº 3/4 "
Colher de pedreiro	-	-
Baldes	-	15 L e 3 L
Baldes graduados	-	18 L

Régua	-	-
Frasco Chapman	-	450 ml
Escova	-	-
Espátula	-	-
Funil	-	-
Cápsulas	-	60 mm x 40 mm
Piceta	-	500 ml
Ampolas	-	6,5 g (carbureto de cálcio - C_aC_2)
Moldes de corpo de prova	-	10 x 20 cm
Haste de aço inoxidável	-	2,5 mm x 100 mm
Betoneira de eixo inclinado	MOTOMIL/MB – 150 L	-
Caixa d'água	FORTLEV/1000 L	-
Balança simples	Marte/AD5000 – 5010g	-
Prensa de concreto	EMIC SSH300	-
Máquina retificadora de C.P. de concreto	SOLOCAP/SOLOCAP	-
Conjunto Slump Test	-	-
Estufa	LUCADEMA	-
Conjunto Speedy Test	PETRODIDÁTICA	-
Compressor	Jet MIL-i/MOTO MIL	-

Fonte: autor (2018).

4.2. Métodos

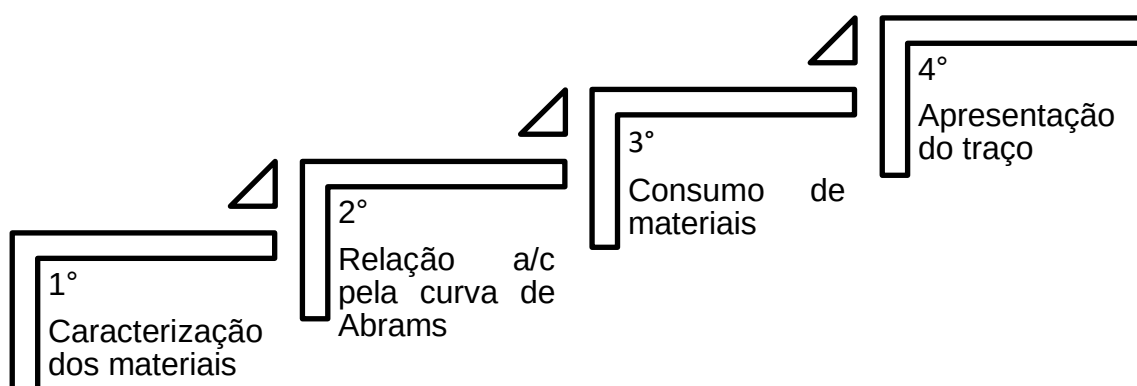
Dado o exposto sobre todas as caracterizações dos materiais, a metodologia utilizada para proceder de maneira lógica o processo experimental desde a caracterização dos materiais até o ensaio de resistência a compressão, está apresentada a seguir.

As diversas etapas serão elucidadas no decorrer deste item, com exceção da caracterização dos materiais realizada anteriormente e apresentação dos dados que serão descritos nos resultados.

O traço utilizado foi dosado de acordo com as diretrizes da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), onde esta é uma adaptação do método ACI (American Concrete Institute) levando em consideração os agregados utilizados em nosso país. Esta dosagem leva em consideração alguns requisitos referentes ao concreto, tais como: trabalhabilidade, resistência físico-mecânica, permeabilidade, condição de exposição e custos.

A sequência para calcular o traço utilizada é apresentada abaixo:

Diagrama 1 – Etapas da dosagem pelo método da ABCP



Fonte: autor (2018).

O traço (indicação da proporção da quantidade de cimento : areia : brita : água) utilizado foi calculado para um F_{ck} de 30MPa, apresentado logo abaixo. Vale destacar que para atingir altas resistências de projeto (como o calculado) faz-se necessário a adição de plastificantes, porém, na metodologia foi feita correções para que fosse possível trabalhar com a água de forma isolada, sem a presença de outro líquido.

1 : 1,09 : 1,91 : 0,53

O processo de tratamento magnético da água, se deu pela utilização de ímãs de neodímio e ferrite de forma estática. Eles foram dispostos em distâncias iguais, colocados em baixo do recipiente de água, formando uma malha que permite-se que

o campo magnético atingisse todas as partes do líquido, conforme ilustrado nas figuras 22, 23 e 24:

Figura 21 - Disposição dos ímãs de neodímio do fundo do recipiente.



Fonte: autor (2018).

Figura 22 - Disposição dos ímãs de ferrite no fundo do recipiente.



Fonte: autor (2018).

Figura 23 - Tratamento realizado na água sob exposição ao campo magnético dos ímãs permanentes.



Fonte: autor (2018).

Para o estudo foi utilizado o tempo de exposição de 24h, submetendo a água a geometrias e intensidades diferentes, além da utilização da água comum sem tratamento para servir de comparação nos resultados.

Obtidas as respectivas quantidades dos materiais necessários para realizarem o abatimento de tronco de cone e a moldagem dos corpos de prova, o processo produtivo do concreto seguiu as devidas etapas de acordo com a tabela a seguir:

Tabela 17 - Etapas do processo de produção do concreto.

ETAPA	ADIÇÃO	TEMPO
1 ^a	Brita e metade da água	1 minuto
2 ^a	Areia, cimento e o restante da água	3 minutos

Fonte: autor (2018).

Figura 24 - Realização do processo de produção do concreto.



Fonte: autor (2018).

É apresentado na tabela seguinte o ensaio realizado com suas respectivas quantidades e especificações:

Tabela 18 - Quantidade de concreto produzido para cada ensaio com especificações.

ENSAIO	QUANTI-DADE	ESPECIFICAÇÕES
Slump test	3	• 1 com concreto produzido com água comum; • 1 com concreto produzido com água tratada com campo gerado pelo ímã de HD; • 1 com concreto produzido com água tratada com campo gerado pelo ímã de som.
Moldagem corpo de prova	18	• 6 para concreto produzido com água comum, sendo 3 para 7 dias de cura e 3 para 28 dias de cura; • 6 para concreto produzido com água tratada com campo gerado pelo ímã de HD, sendo 3 para 7 dias de cura e 3 para 28 dias de cura; • 6 para concreto produzido com água tratada com campo gerado pelo ímã de som, sendo 3 para 7 dias de cura e 3 para 28 dias de cura.

Fonte: autor (2018).

O ensaio de consistência foi realizado conforme a NBR NM 67 (ABNT, 1998), logo após a produção do traço.

A moldagem dos corpos de prova seguiu as diretrizes da NBR 5738 (ABNT, 2015). Antes de realizar o processo foi passado desmoldante (figura 25) nas paredes internas do molde, logo após o processo de moldagem se deu em duas camadas utilizando uma haste de ferro (figura 26), seguido de repetidos golpes para preenchimento de todo o volume do molde. A técnica de cura utilizada foi a de submersão em água (figura 27), possibilitando o endurecimento de forma correta sem a presença de falhas na estrutura concreto.

Figura 25 - Desmoldante utilizado na pesquisa.



Fonte: autor (2018).

Figura 26 - Processo de moldagem dos corpos-de-prova.



Fonte: autor (2018).

Figura 27 - Processo de cura dos corpos-de-prova.



Fonte: autor (2018).

Após a confecção dos corpos de prova, os ensaios de resistência a compressão dos mesmos, foram realizados conforme a NBR 5739 (ABNT, 2015). Os rompimentos ocorreram aos 7 e 28 dias de cura. Antes do devido rompimento, os corpos de prova passaram por um processo de preparo para que alguma irregularidade na superfície viesse a influenciar nos resultados. Para isso utilizou-se uma retífica afim de retirar imperfeições na superfície do CP, evitando rompimento por falha do não contato em toda a área. Após isso os corpos foram rompidos em uma prensa da marca EMIC a qual registra o quanto de pressão os corpos suportaram, assim como nos dá também a curva de Tensão-Deformação dos corpos de prova. Nas figuras 28 e 29 estão apresentados os dois equipamentos utilizados durante essa etapa.

Figura 28 - Retífica utilizada nos corpos-de-prova.



Fonte: autor (2018).

Figura 29 - Prensa hidráulica utilizada para romper os corpos-de-prova.



Fonte: autor (2018).

5. RESULTADOS

De acordo com as proposições metodológicas mencionadas anteriormente, nesta seção serão apresentados os resultados da pesquisa. Levando em consideração os ímãs utilizados, os dados serão mostrados para o concreto produzido com água comum (doravante grupo controle - GC) e com água tratada sob influência do campo magnético (grupos testes). Aqui vale ressaltar que os grupos testes fazem referência a geometria L (doravante grupo teste 1 – GT1) e a geometria anel (doravante grupo teste 2 – GT2) dos ímãs envolvidos no tratamento.

Os resultados referem-se principalmente a trabalhabilidade e a resistência à compressão. Com a perspectiva de contribuir, os resultados com os diferentes ímãs serão comparados entre si para análise da viabilidade produtiva dentro das aplicações características do cimento de alta resistência inicial.

5.1. Abatimento de tronco de cone

O ensaio da trabalhabilidade via slump test foi realizado nos três traços produzidos. Os valores numéricos dos abatimentos foram coletados e apresentados na tabela 17 para uma melhor análise dos mesmos, vejamos logo abaixo:

Tabela 19 - Resultados do abatimento do concreto.

CONCRETO	ABATIMENTO (mm)
GC	115
GT1	136
GT2	104

Fonte: autor (2018).

Segundo os dados expostos na tabela 17, percebe-se variações no abatimento do concreto dosado com as mesmas quantidades de materiais. No entanto, ao confrontarmos os dados, observa-se que a trabalhabilidade do grupo GT2 não apresentou resultado satisfatório, visto que a sua queda foi inferior à do grupo GC. Já quando analisa-se o resultado do grupo GT1, percebe-se que sua queda foi superior 18,26% a do grupo controle o que demonstra uma trabalhabilidade satisfatória. Essa deficiência do grupo GT2 possa ser que seja atribuída ao fato da fonte de campo produzir o

mesmo com uma intensidade muito baixa, não sendo suficiente para atingir todas as regiões da água (ou precise de um tempo de exposição maior que 24 h) e devido a isso não diminui a dureza da água para proporcionar diferença na consistência. Seria algo ainda a ser estudado.

Em uma análise comparativa entre os dois grupos testes de tratamento na água, o grupo GT1 possui uma fonte de campo de intensidade 4 - 5 vezes maior que a intensidade da fonte do grupo GT2, essa diferença de intensidade aliada a geometria dos ímãs apresentou dados superiores a 30% de diferença na trabalhabilidade entre os dois grupos, o que é uma diferença bastante considerável quando deseja-se obter maiores plasticidades para aplicações específicas.

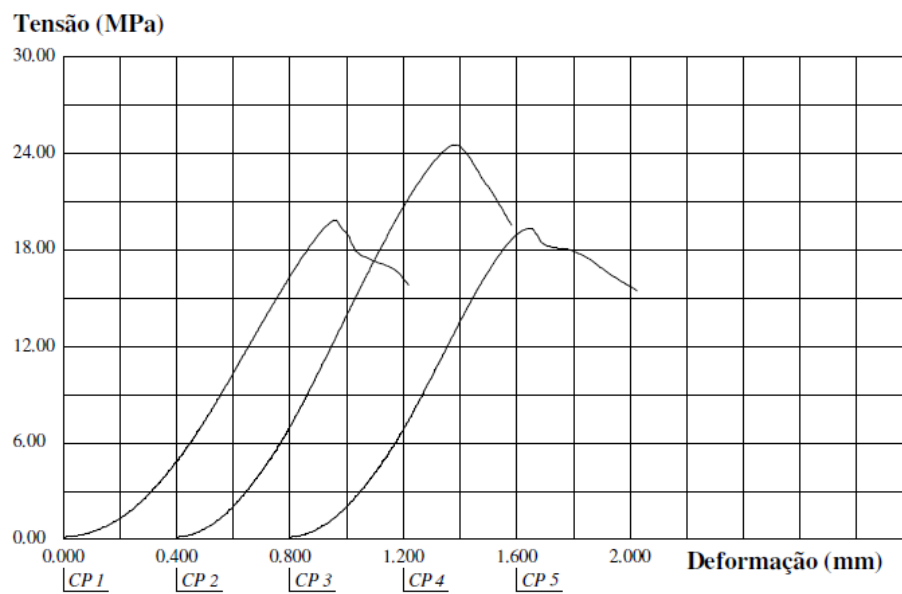
A utilização dos ímãs de neodímio proporciona uma melhora na plasticidade do concreto. Assim, possibilita adquirir uma fluidez sem a adição de água, tornando-se viável para possíveis aplicações futuras no mercado dentro desta característica. É válido sugerir que o ganho de plasticidade com a utilização dessa água, tenha se dado pela queda da tensão superficial causada na mesma, ocorrendo de forma significativa uma melhor hidratação de todos os compostos.

5.2. Ensaio de resistência à compressão

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 (CG, GT1 e GT2) 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 obtendo-se como resultado final, a média aritmética dos três rompimentos.

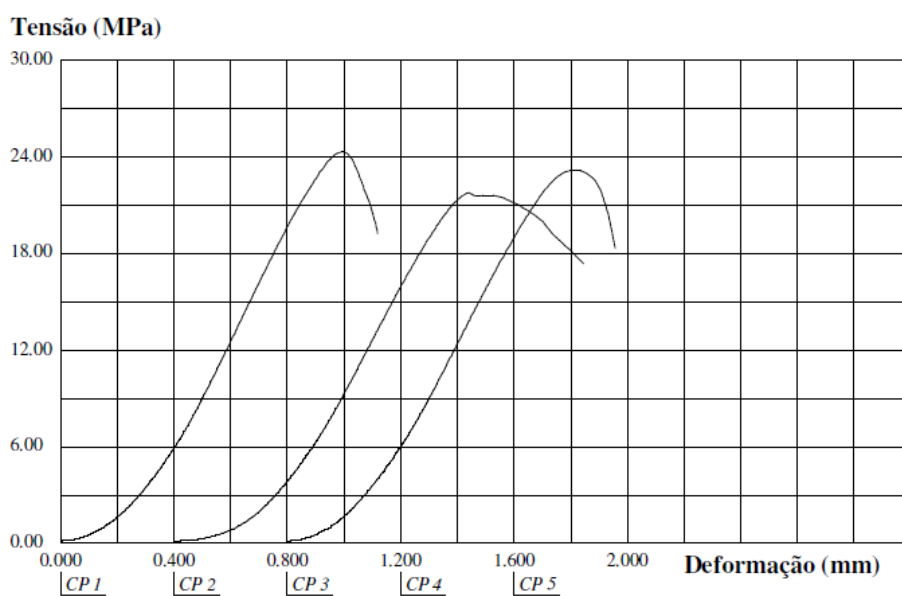
A resistência a compressão é analisada através da curva tensão-deformação na qual apresenta os resultados para os três corpos-de-prova de cada grupo. Nela cada curva está relacionada a um corpo de prova (CP) específico, mencionado no eixo horizontal como CP1, CP2 e CP3. Dessa forma, as figuras 30, 31 e 32 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 18 que se apresenta na sequência.

Figura 30 - Curvas de tensão-deformação para os corpos de prova do concreto do GC aos 7 dias de cura.



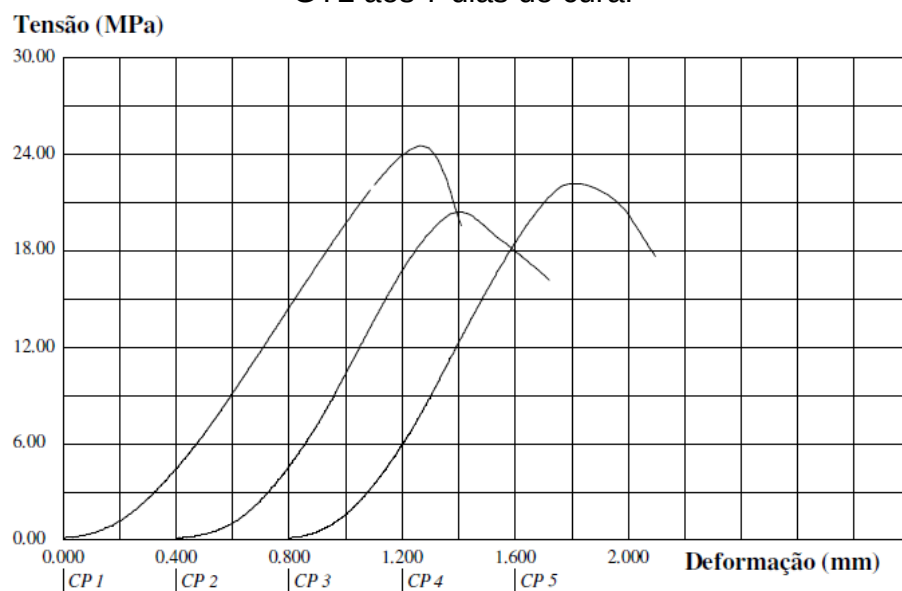
Fonte: autor (2018).

Figura 31 - Curvas de tensão-deformação para os corpos de prova do concreto do GT1 aos 7 dias de cura.



Fonte: autor (2018).

Figura 32 - Curvas de tensão-deformação para os corpos de prova do concreto do GT2 aos 7 dias de cura.



Fonte: autor (2018).

Tabela 20 - Resultados da resistência à compressão aos 7 dias de cura.

ÁGUA	CORPO DE PROVA	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa)	MÉDIA (MPa)
GC	CP I	19,86	21,25
	CP II	24,54	
	CP III	19,35	
GT1	CP I	24,31	23,08
	CP II	21,76	
	CP III	23,16	
GT2	CP I	24,42	22,34
	CP II	20,41	
	CP III	22,19	

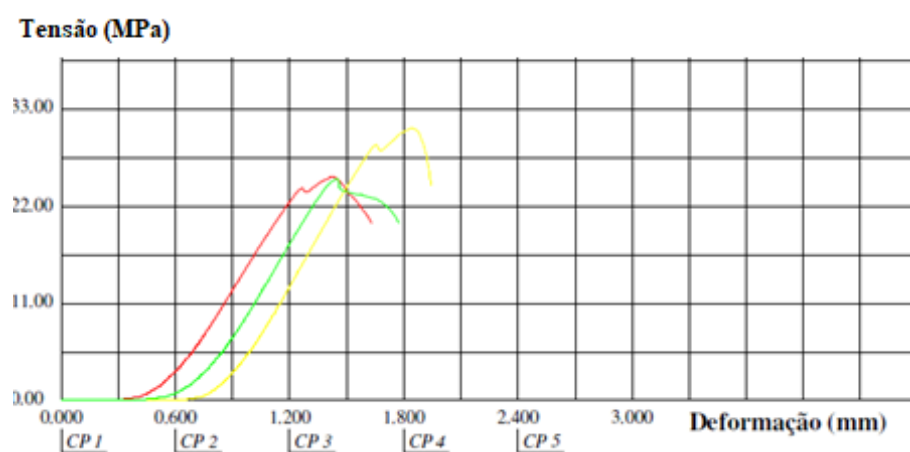
Fonte: autor (2018).

Em uma análise inicial, conforme dados apresentados anteriormente, é visível o aumento da resistência a compressão aos 7 dias de cura nos concretos produzidos com os grupos testes. Sendo que, a água sob influência do campo magnético gerado

pelo GT1 e pelo GT2 resultou, respectivamente, no aumento de 8,61% e 5,17% na resistência à compressão do concreto.

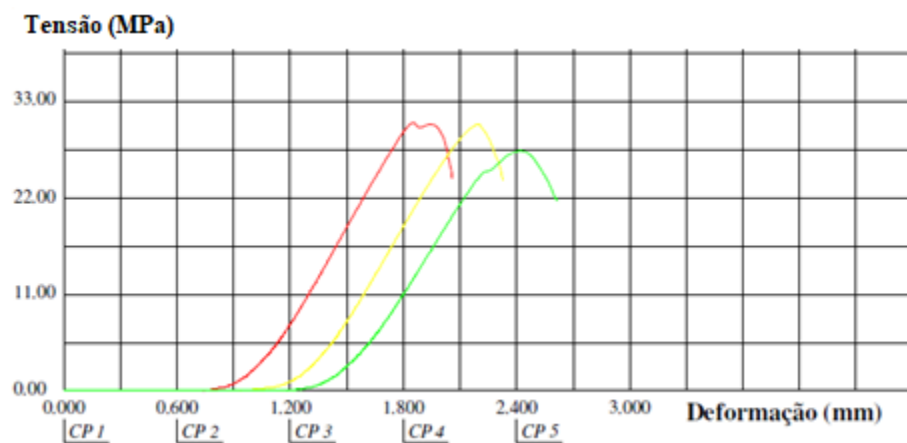
A seguir é demonstrado os resultados para 28 dias de cura e as demais análises pertinentes ao estudo.

Figura 33 - Curvas de tensão-deformação para os corpos de prova do concreto do GC aos 28 dias de cura.



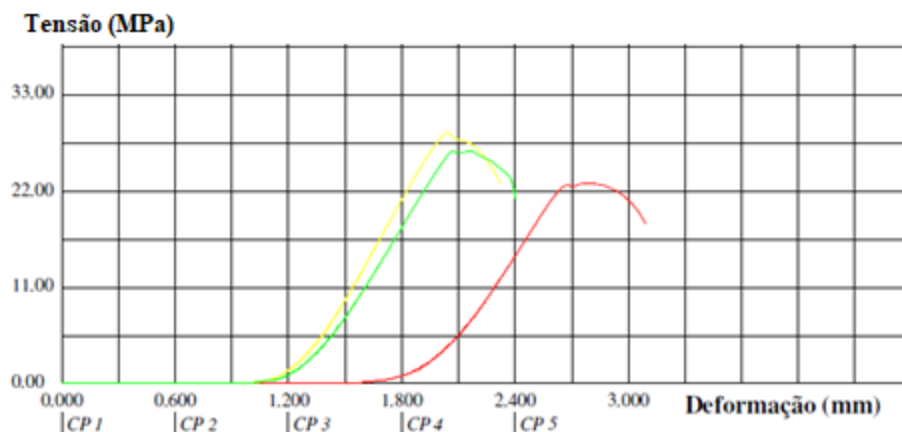
Fonte: autor (2018).

Figura 34 - Curvas de tensão-deformação para os corpos de prova do concreto do GT1 aos 28 dias de cura.



Fonte: autor (2018).

Figura 35 - Curvas de tensão-deformação para os corpos de prova do concreto do GT2 aos 28 dias de cura.



Fonte: autor (2018).

Tabela 21 - Resultados da resistência à compressão aos 28 dias de cura.

ÁGUA	CORPO DE PROVA	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa)	MÉDIA (MPa)
GC	CP I	25,28	27,08
	CP II	30,82	
	CP III	25,14	
GT1	CP I	30,63	29,44
	CP II	30,33	
	CP III	27,37	
GT2	CP I	22,89	26,07
	CP II	28,77	
	CP III	26,56	

Fonte: autor (2018).

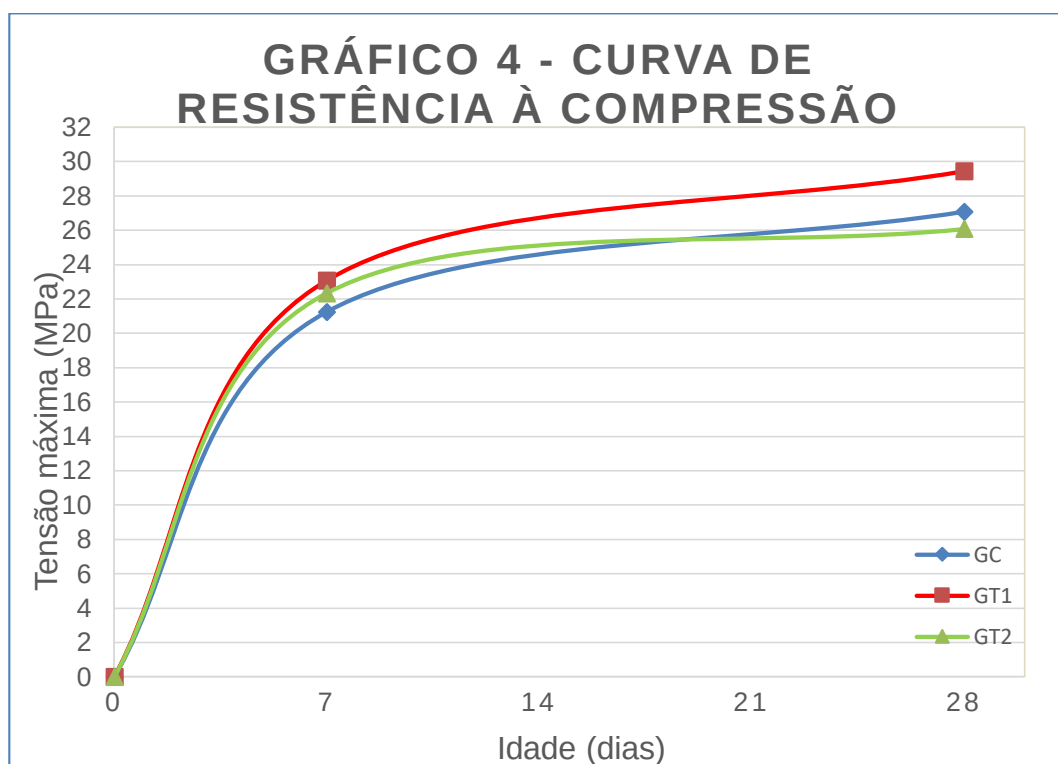
Conforme apresentado anteriormente, é visível a diferença nos resultados para os dois grupos testes. O aumento na resistência à compressão deu-se apenas no concreto produzido pelo GT1, com melhora de 8,71% em relação ao de controle. Já para o tratamento do GT2, este não apresentou aumento na resistência, muito pelo contrário, o resultado deste grupo ficou abaixo do GC.

Os dados acima nos revelam duas coisas. Primeiro que o grupo GT1 manteve o padrão de um pouco mais de 8% no crescimento da resistência em relação ao grupo

GC, no sétimo e no vigésimo oitavo dia. A segunda, é com relação ao grupo GT2, pois este não manteve seu padrão de crescimento, que seria de um pouco mais de 5% neste mesmo interstício de tempo. Isso nos mostra que ou o fator intensidade de campo ou o fator geométrico está agindo de forma negativa. Para entendermos direito o que está acontecendo, 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 com esse perfil e a confecção dos mesmos via fabricação, não daria tempo para desenvolver o estudo e apresentar os dados nesta pesquisa.

Outra análise que pode ser feita, refere-se ao módulo de elasticidade apresentado em todas as curvas. Definido como a razão entre a tensão aplicada e a 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 à compressão, o gráfico abaixo mostra as curvas para todos os raciocínios, permitindo assim uma melhor comparação entre elas.



Fonte: autor (2018).

No gráfico acima, a curva azul representa o grupo controle, a curva vermelha representa o grupo GT1 e a curva verde representa o grupo GT2. De acordo com o mesmo, é notório o aumento em todos os dias de cura para a produção do GT1, já o outro tratamento (GT2) 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 GT1 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 GT2, com um campo 4 vezes inferior, tenha 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 vista à segunda análise, pode-se ainda supor que em GT1, as formações dos hidróxidos de cálcio (HC) tenham ocorrido em uma menor escala em comparação com a utilização de água comum, aumentando a aderência da pasta de cimento na zona de transição e, conseqüentemente, o aumento da resistência à compressão. Já no GT2, esta resposta se teve apenas nas idades iniciais, onde o campo não possuía intensidade suficiente para evitar a formação dos HC durante a vida do concreto, gerando o decaimento da resistência.

6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

6.1. Conclusões

Investigou-se os efeitos do campo magnético na água utilizada para produzir concreto. Nesta investigação fez-se um tratamento estático da água utilizando ímãs permanentes com duas geometrias diferentes, um com geometria em forma de L e outro com geometria em forma de anel.

Tal investigação foi analisada através da trabalhabilidade e da resistência a compressão os quais foram usados como função resposta para uma série de conclusões. Neste sentido percebe-se que em termos de trabalhabilidade o concreto apresentou-se muito bem no sistema em que foi usado ímãs de geometria L, mostrando que a intensidade de campo aliado a geometria do ímã permanente faz a diferença. Quando os ímãs são de baixa intensidade e de geometria anel não torna o concreto mais trabalhável, nos nossos resultados chega ao ponto da água comum apresentar resultados melhores.

A produção de concreto usando água tratada por campo magnético, proporcionou um ganho na resistência à compressão em todas as idades de cura no tratamento realizado com o ímã de geometria L, obtendo resposta positiva apenas nas idades iniciais com a utilização do ímã de geometria anel.

Em se tratando de um ganho na resistência inicial, ambos os ímãs, tanto com geometria L com o de geometria anel apresentaram resultados satisfatórios. No entanto o primeiro apresenta-se melhor, pois além de ter uma melhor trabalhabilidade apresenta uma resistência superior ao segundo. Seguindo uma linha de tendência, os sistemas com geometria L apresentam um perfil no qual os proporciona uma melhora na resistência no decorrer dos dias de cura, e não apenas para idades iniciais.

No tocante a relação água/cimento, onde 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 à compressão, mantendo a mesma relação água/cimento.

É válido ressaltar a grande contribuição deste trabalho para toda a comunidade, utilizando-se de aspectos interdisciplinares para obtenção de um produto que pode,

futuramente, ser aplicado nos diversos canteiros de obra, proporcionando uma alternativa eficaz para solução de projetos de grande desempenho inicial.

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, tem-se vários raciocínios ainda por serem tratados. São eles por exemplo, tentar criar um modelo técnico que possa ser levado aos canteiros de obra utilizando a água tratada magneticamente, analisar o efeito da água tratada magneticamente sobre influência de altas temperaturas, analisar a resistência e a trabalhabilidade de acordo com o tempo de exposição da água sobre o campo magnético, verificar outras intensidades de campo, analisar por meio de MEV a formação de compostos na pasta de cimento durante diferentes dias de cura, dentre outros.

Como visto é uma área que ainda há muito o que se explorar.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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 6118 - Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.

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 9935 - Agregados – Terminologia.** Rio de Janeiro, 2011.

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.

BAUER, L.A.F., **“Materiais de Construção 1”** - 5ª Edição Revisada – Ed. LTC, Rio de Janeiro, 2013.

CALLISTER, W. D. RETHWISCH, D. G. *Materials Science and Engineering: An Introduction*: 7 ed. Nova York: JWS, 2007.

CARVALHO, J. D. N. Sobre as origens e desenvolvimento do concreto. **Revista Tecnológica**, [S.l.], v. 17, n. 1, p. 19-28, jan. 2008. Disponível em:

<<http://eduem.uem.br/ojs/index.php/RevTecnol/article/download/8169/5163>>. Acesso em: 25 jan. 2018.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTOS DO RIO GRANDE DO NORTE. **Relatório anual 2018 – Qualidade da água**. Natal: 2018. Disponível em: <

<http://www.adcon.rn.gov.br/ACERVO/caern/DOC/DOC000000000172768.PDF>>.

Acesso em: 24 abr. 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Norma Rodoviária DNER-ME 052/94 - Solos e agregados miúdos – determinação da umidade com emprego do “Speedy”**. 1994.

GIORDANO, A. et al. Spin-hall nano-oscillator: A micromagnetic study. *Applied Physics Letters*, v. 105, n. 4, 2014. Disponível em: <<http://scitation.aip.org/content/aip/journal/apl/105/4/10.1063/1.4892168>>. Acesso em: 05 fev. 2018.

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. **Anais...** Minas Gerais: 2003.

GUIMARÃES, C. O. **Avaliação do uso da água Magnetizada na Produção de Concretos em Centrais**. 2006. Dissertação (Mestrado em Construção Civil), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS-726HM4/disserta__o_cristiano.pdf?sequence=1>. Acesso em 05 jul. 2017.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física - Eletromagnetismo**. v.3. 9.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Ed., 2012.

MAFFITT, T. M. et al. Design considerations for mram. *IBM Journal Research and Development*, v. 50, n. 1, 2006.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. IBRACON, 2014.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto** – 2ª Edição – Ed. Pini, São Paulo, 1997.

OBERZINER, A. P. B. **As Equações de Maxwell e Aplicações**. 2008. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Matemática) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: <[https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/119376/Ana_Paula%20\(1\).pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/119376/Ana_Paula%20(1).pdf?sequence=1)>. Acesso em: 23 fev. 2018.

REDDY, B. K.; GHORPADE, V. G.; RAO, H. Sudarsana. Influence of Magnetic Water on Strength Properties of Concrete. **Indian Journal of Science and Technology**, v.

7, n. 1, p. 14-18, 2014. Disponível em: <http://www.indjst.org/index.php/indjst/article/view/46674/37865> Acesso em 05 jul. 2017.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil**. 3ª Ed. Belo Horizonte: editora UFMG; Escola de Engenharia da UFMG, 2011.

RIBEIRO, Giuliano Augustus Pavan. As Propriedades Magnéticas da Matéria: um Primeiro Contato. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Carlos, v. 22, n. 3, p. 299-305, set. 2000. Disponível em: http://sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22_299.pdf. Acesso em: 12 abr. 2017.

RODRIGUES, P. P. F. Associação Brasileira de Cimento Portland. **PARÂMETROS DA DOSAGEM RACIONAL DO CONCRETO**. 1983. Disponível em: http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/files_mf/34aRTIC1983.pdf. Acesso em: 05 mai. 2017.

SEELT, B. L. **Água submetida a campo magnético: influência do tempo de exposição na resistência à compressão e trabalhabilidade de concretos e argamassas**. 2017. Dissertação (Bacharel em Engenharia Civil), Instituto de Tecnologia, Infraestrutura e Território, Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Paraná. Disponível em: https://dspace.unila.edu.br/bitstream/handle/123456789/2082/TCC_BrunaSeelent.pdf?sequence=4&isAllowed=y. Acesso em: 02 fev. 2018

SOUZA, A.; GARCIA, D.; SUEIRO, L.; LICEA, L.; PORRAS, E. Pre-sowing magnetic treatment of tomato seeds: effects on the growth and yield of plants cultivated late in the season. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 3, p. 113-122, 2005. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/3077/71929c06bb898d058a8d30da313eb93a7b10.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2018.

SU, Nan; WU, Chea-Fang. 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, Nan; WU, Yeong-Hwa; MAR, Chung-Yo. 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.

TIPLER, P.A. MOSCA, G. **Física Para Cientistas e Engenheiros – Eletricidade e Magnetismo, Óptica**. Vol. 2 - 6ª Ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Ed., 2012.

TRINDADE, D. S. **Patologia em estruturas de concreto armado**. 2015. 88 p. trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015. Disponível em: http://coral.ufsm.br/engcivil/imagens/PDF/2_2015/TCC_DIEGO%20DOS%20SANTOS%20DA%20TRINDADE.pdf. Acesso em: 24 jan. 2018.