



**Ministério da Educação**  
**Universidade Federal da Integração Latino-Americana**  
**Instituto de Tecnologia, Infraestrutura e Território**  
**Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura**

## **ESTUDO DA TÉCNICA DE MAGNETIZAÇÃO DA ÁGUA COM ELETROÍMÃ PARA PRODUÇÃO DE CONCRETO**

MEIRE CLAUDIA BARBOSA

Foz do Iguaçu, PR  
Dezembro de 2017



**Ministério da Educação**  
**Universidade Federal da Integração Latino-Americana**  
**Instituto de Tecnologia, Infraestrutura e Território**  
Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura

## **ESTUDO DA TÉCNICA DE MAGNETIZAÇÃO DA ÁGUA COM ELETROÍMÃ PARA PRODUÇÃO DE CONCRETO**

MEIRE CLAUDIA BARBOSA

Plano de Trabalho apresentado à Banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da UNILA, como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

**Orientador:** Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Ana Carolina P. dos Santos

**Coorientador:** Prof. Dr. Rafael Otoniel R. R. da Cunha

Foz do Iguaçu, PR

Dezembro de 2017

## DEDICATÓRIA

A minha amada mãe, luz que me guia.  
Aos meus amigos e familiares por todo apoio e incentivo.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pois, sem ele eu nada seria.

A minha amada mãe (in memoriam) por sua capacidade de acreditar e investir em mim, seu cuidado e dedicação sempre me deram forças para prosseguir. Ao meu estimado pai, cuja presença significou segurança e a certeza de não estar sozinha nesta caminhada. As minhas amadas irmãs, e sobrinho, pois toda batalha junto a vocês se torna menos árdua, meu amor por vocês é incondicional.

Ao meu esposo e amigo, pessoa com quem amo partilhar a vida, pelas palavras necessárias nas horas mais oportunas. Obrigada pela paciência e sua capacidade de me trazer paz em meio a correria de cada semestre. A minha filha amada Maria, que me trouxe mais forças para continuar a jornada.

Agradeço a todos os professores que me acompanharam durante a graduação, em especial meus orientadores Ana Carolina e Otoniel Rafael, responsáveis pela realização deste trabalho, pela atenção e compromisso sempre.

Aos meus amigos da faculdade e da vida, que dividiram comigo alegrias e tristezas, pessoas que foram essenciais para que eu pudesse chegar até aqui. Em especial aos meus amigos Andrei, Bruna, Caroline, Diane, Fernando, Gilson, Jakelline, Vitor, Paula, entre tantos outros.

Aproveito para agradecer as pessoas que me auxiliaram diretamente com a realização deste trabalho, Caroline, Rafael, João, Jennifer, Pedro e aos funcionários do laboratório de Itaipu que prontamente me auxiliaram.

Enfim, todos que de alguma forma contribuíram para que se findasse essa jornada.

## RESUMO

Nos últimos anos tem se notado uma crescente preocupação e avanço, no que diz respeito ao desenvolvimento de concretos especiais, que são aqueles cujas propriedades específicas são alteradas em decorrência da aplicação ao qual o mesmo se destina. Entre os concretos especiais tem-se o concreto cuja água de amassamento foi previamente submetida a um campo magnético fixo. Na última década têm-se pesquisado a tecnologia de magnetização da água para produção de concreto, uma vez que, credita-se ao uso da mesma uma redução considerável do consumo de cimento, devido a mudança em sua reologia. Este trabalho tem por objetivo o estudo da técnica de magnetização da água de amassamento através de eletroímã para produção de concreto, bem como analisar a influência da magnitude de campo magnético nas propriedades do concreto em seu estado fresco e endurecido. Para tanto, produziu-se 10 argamassas com a mesma proporção dos elementos constituintes da mistura, para diferentes águas de amassamento, de abastecimento público, destilada, deionizada, e magnetizada, tendo sido ensaiados à resistência a compressão e índice de consistência. Os resultados encontrados não apresentaram variações nas propriedades quando comparados as águas de referência com as águas magnetizadas, não evidenciando as melhorias referidas na literatura.

**Palavras-chave:** Concretos especiais; Água imantada; Resistência à compressão.

## ABSTRACT

In recent years we have noticed growing concern and progress, we are not concerned with the development of special concrete, which are often more appropriate to its application to which it is intended. Among the special concretes is the concrete of the kneading water was previously subjected to a fixed magnetic field. In my account of a consumer consulting company, according to the demand for a concrete, since, according to the same measure. This work aims to study the technique of magnetization of water kneading through electromagnets for concrete production, as well as to analyze the influence of magnetic field magnitude on the well in its fresh and hardened state. For this purpose, 10 mortars with the same proportion of the constituent elements of the mixture were produced for different kneading, public, distilled, deionized and magnetized water, having been tested for compressive strength and consistency index. The results found are not common in comparisons as reference waters as magnetized waters, not evidencing improvements in the literature.

**Keywords:** Specials concretes; Magnetized water; Compressive strength

<b>Figura 1.</b> Contribuição dos subsetores para emissão de CO <sub>2</sub> de processos industriais (2012) .....	11
<b>Figura 2.</b> Molécula de água.....	20
<b>Figura 3.</b> Formação de cristais de Calcita e Aragonita respectivamente .....	23
<b>Figura 4.</b> Eletroímã utilizado no processo de magnetização .....	29
<b>Figura 5.</b> Granulometria da areia .....	30
<b>Figura 6.</b> Corpos de prova moldados .....	32
<b>Figura 7.</b> Ensaio de consistência de argamassas .....	33
<b>Figura 8.</b> Consistência da argamassa de acordo com Campo magnético aplicado .....	34
<b>Figura 9.</b> Resistência a compressão aos 7 dias .....	35
<b>Figura 10.</b> Resistência a compressão aos 28 dias.....	36

---

<b>Tabela 1.</b> Intensidade de corrente e respectivo campo magnético utilizados .....	29
<b>Tabela 2.</b> Granulometria da areia .....	30
<b>Tabela 3.</b> Caracterização da areia .....	30
<b>Tabela 4.</b> Traço utilizado.....	31
<b>Tabela 5.</b> Corpos de prova produzidos.....	32
<b>Tabela 6.</b> Índice de consistência (mm) .....	34



## SUMÁRIO

RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vi
1. INTRODUÇÃO .....	10
1.1 Justificativa .....	10
2. OBJETIVOS .....	13
2.1 Objetivo Geral .....	13
2.2 Objetivos Específicos .....	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	14
3.1 Processo de hidratação do cimento Portland .....	14
3.2 Água de amassamento .....	17
3.3 Estrutura molecular da água .....	19
3.4 Indução magnética da água .....	21
3.5 Métodos, campos e tempos de exposição encontrados na literatura.....	25
4. METODOLOGIA.....	28
4.1 Caracterização dos materiais .....	28
4.1.1 Água de amassamento do concreto.....	28
4.1.2 Cimento .....	29
4.1.3 Areia .....	29
4.2 Argamassas.....	31
4.2.1 Produção das argamassas .....	31
4.3 Ensaio a serem realizados.....	32
4.3.1 Ensaio de índice de consistência .....	32
4.3.2 Ensaio de resistência à compressão simples.....	33
5. RESULTADOS .....	34
5.1 Ensaio.....	34
5.1.1 Índice de consistência .....	34
5.1.2 Resistência à compressão .....	35
6. CONCLUSÕES .....	37
7. BIBLIOGRAFIA .....	38

## 1. INTRODUÇÃO

O concreto é um material composto que consiste essencialmente de um meio contínuo aglomerante, e fragmentos de agregados inertes. O meio aglomerante é formado por uma mistura de cimento e água. Segundo Araújo et al (2000), aglomerante é o material ativo, cuja principal função é a de união entre os grãos do agregado. O cimento Portland usado para a produção de concreto é um aglomerante hidráulico. Apresentam-se sob a forma pulverulenta, e depois de endurecido, resiste bem a ação da água. O seu endurecimento se dá pela ação da água, a partir da reação de hidratação. A resistência e outras propriedades do concreto dependem diretamente dos produtos de hidratação do cimento, que continuam a se formar ao longo do tempo (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p.8).

Sendo o concreto o material de construção civil utilizado em larga escala é justificável o elevado número de pesquisas destinadas a compreender o seu comportamento, contribuindo assim, para o seu aprimoramento. Nos últimos anos, inúmeros materiais foram investigados com o intuito de serem acrescentados no traço do concreto, bem como o desenvolvimento de novas técnicas, permitindo que suas principais características, tais como, resistência e durabilidade, pudessem ser superadas (WATANABE, 2008, p.1).

Dentre essas tecnologias encontra-se o concreto produzido com água submetida a campo magnético. Até o presente momento, a normalização vigente recomenda apenas a avaliação de características como, composição química e potabilidade. Em particular, toda água que não apresente cheiro, cor e/ou sabor, pode ser utilizada como água de amassamento na produção de concreto. Porém, existem incertezas na utilização de águas que apresentem características diferentes daquelas enunciadas anteriormente (GUIMARÃES, 2006, p.27).

A água de amassamento utilizada para produção de concreto possui critérios de aceitabilidade avaliados pela Norma brasileira NBR 15900-1 (ABNT, 2009), esta normativa tem por função especificar os requisitos necessários para que a água seja considerada adequada ao preparo de concreto, bem como descrever procedimentos de amostragem e métodos para sua avaliação. A norma em questão afirma ainda, que a água de abastecimento público é considerada adequada para uso em concreto não necessitando, portanto, ser caracterizada.

### 1.1 Justificativa

O concreto é o material de construção civil empregado em maior escala no mundo, por ser um material de grande aplicabilidade e aceitabilidade, variando seu uso de acordo com a

criatividade e também necessidade do projetista. Para ABESC (2017), o concreto é um material formado pela mistura de cimento, água, agregados graúdos e miúdos, e eventualmente aditivos.

O concreto convencional possui limitações de uso e/ou custos, por isso, surgiu a necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias, por exemplo, o desenvolvimento dos concretos especiais. Os concretos especiais são aqueles cujas propriedades específicas são modificadas para atender a uma finalidade específica, seja alteração de algum componente, e/ou adição incorporada, esses materiais surgiram basicamente com o intuito de suprir as debilidades do concreto convencional, como resistência e fluidez.

Segundo Ministério da Ciência, Tecnologia e inovação (2013, p.22), o subsetor da indústria química destinado a produção de cimento no ano de 2012 contribuiu com 29,6 % das emissões de dióxido de carbono no Brasil, ficando atrás somente o subsetor responsável pela produção de ferro gusa e aço, como pode se ver na **Figura 1**. Para Carvalho (2008, p.49) “O dióxido de carbono é o principal gás de efeito estufa responsável pelas mudanças climáticas e um dos gases emitido de forma significativa pela indústria do cimento”.

**Figura 1.** Contribuição dos subsetores para emissão de CO<sub>2</sub> de processos industriais (2012)

Produção de Ferro-gusa e Aço	42,9%
Produção de Cimento	29,6%
Uso de HFCs	7,7%
Produção de Cal	7,5%
Indústria Química	4,0%
Outros Usos do Calcário e da Dolomita	3,9%
Produção de Alumínio	3,7%
Uso da Barrilha	0,4%
Uso de SF <sub>6</sub>	0,2%

Sabendo que o material mais custoso na produção de concreto é o cimento, e aliado ao fato da produção acarretar a emissão de poluentes de efeito estufa, faz-se necessário o estudo de técnicas que visem um melhor desempenho do cimento, ou seja, um melhor aproveitamento do mesmo enquanto material. Nesse contexto, uma das técnicas que vêm sendo estudadas atualmente é a imantização da água de amassamento utilizada para produção do concreto, uma vez que a mesma oferece alterações nas propriedades, sobretudo à redução da tensão superficial proporcionada às moléculas de água, fator que aumenta a sua capacidade e eficiência de hidratação dos compostos cimentícios (GUIMARÃES, 2006, p.15).

Portanto, todo empenho deve ser feito no sentido de reduzir o consumo de cimento, sem que haja interferência nas propriedades desejáveis do concreto, em ambos os estados: fresco e endurecido. Em especial, pesquisar processos que promovam a melhoria em propriedades como trabalhabilidade, consistência, resistência e a durabilidade (GUIMARÃES, 2006, p.18).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a técnica de magnetização da água por eletroímã de água para produção de concreto e argamassas.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Para o desenvolvimento do presente estudo é necessário, portanto cumprir os seguintes objetivos específicos:

- a) Analisar a influência da intensidade do campo no processo de passagem da água através de campo magnético;
- b) Verificar os efeitos do campo magnético em uma argamassa padrão.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Processo de hidratação do cimento Portland

A Normativa Brasileira NBR 5732 (ABNT,1991) define cimento Portland como um aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, constituído em sua maior parte de silicatos de cálcio com propriedades hidráulicas, ao qual se adiciona durante a operação a quantidade necessária de uma ou mais forma de sulfato de cálcio.

As propriedades do concreto de cimento Portland desenvolvem-se como resultado de reações químicas entre os compostos do cimento Portland e a água, uma vez que essas reações de hidratação são acompanhadas por trocas de matéria e energia. O cimento Portland é composto essencialmente por Óxido de Cálcio ( $\text{CaO}$ ), Sílica ( $\text{SiO}_2$ ), Ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), Água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), Silicato Tricálcico ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ), Silicato Bicálcico ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ), Aluminato tricálcico ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ), e Ferro Aluminato Tetracálcico ( $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), cujas abreviações são dadas pelas letras C, S, F, H,  $\text{C}_3\text{S}$ ,  $\text{C}_2\text{S}$ ,  $\text{C}_3\text{A}$  e  $\text{C}_4\text{AF}$ , respectivamente. Dentre esses, os quatro últimos compostos são destacados como os principais constituintes do cimento (NEVILLE; BROOKS, 2010, p.10).

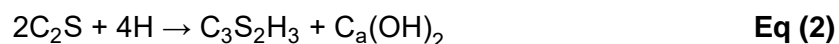
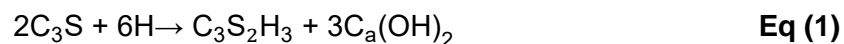
Sabe-se que a água é essencial para a produção de concretos, sua principal função é a hidratar o grão de cimento, o qual adquire propriedade adesiva promovendo a pega e o endurecimento. O processo de hidratação consiste em reações simultâneas dos compostos anidros com a água. Nessa hidratação, os compostos resultantes não se hidratam a uma mesma velocidade, sendo que os aluminatos se hidratam primeiramente do que os silicatos. Os aluminatos estão diretamente relacionados à perda de consistência e pega, enquanto que os silicatos definem as características de ganho de resistência dos concretos (GUIMARÃES, 2006, p.60-61). Os silicatos, que compõem aproximadamente 75% do cimento Portland comum, têm um importante papel na determinação das características de endurecimento (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p.200).

A composição química dos compostos presentes nos cimentos Portland não é exatamente a expressa pelas fórmulas comumente utilizadas:  $\text{C}_3\text{S}$ ,  $\text{C}_2\text{S}$ ,  $\text{C}_3\text{A}$  e  $\text{C}_4\text{AF}$ . Isso ocorre devido ao fato de prevalecerem altas temperaturas durante a formação do clínquer. Os elementos presentes no sistema, inclusive impurezas, tais como magnésio, sódio, potássio e enxofre, possuem a capacidade de entrar em soluções sólidas com cada um dos principais compostos do clínquer. Pequenas quantidades de impurezas em solução sólida podem não alterar significativamente a natureza cristalográfica e a reatividade de um composto com a água, porém, grandes quantidades sim (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p.194).

A hidratação de ambos os silicatos no cimento Portland produz uma família de cálcio hidratados estruturalmente similares, mas que variam quanto à relação cálcio/sílica e ao teor de água quimicamente combinada. Em geral, o material é pouco cristalino e forma um sólido poroso que apresenta características de um gel rígido. Tornou-se comum referir-se a esses hidratos simplesmente com C-S-H, uma notação que não implica em uma composição fixa. No caso da hidratação completa, a composição aproximada do material corresponde ao  $C_3S_2H_3$ , que é então usada para cálculos estequiométricos. As reações estequiométricas para pastas completamente hidratadas de  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$ , e  $C_4AF$ , podem ser expressas como se verá nas **equações 1, 2, 3 e 4** (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p.204).

As equações estequiométricas de hidratação dos silicatos não especificam as velocidades das reações. Ambos os silicatos de cálcio ( $C_3S$  e  $C_2S$ ) possuem importância fundamental na composição do cimento, sendo responsáveis pela resistência da pasta de cimento hidratado. Nota-se que  $C_3S$  hidrata a uma velocidade maior que o  $C_2S$ . Assume-se na prática que o  $C_3S$  contribua principalmente para o desenvolvimento de resistência durante as primeiras quatro semanas, enquanto o  $C_2S$  influencia no ganho de resistência posterior (NEVILLE; BROOKS, 2010, p.13-16). Os silicatos não são compostos puros, pois contém alguns óxidos secundários na solução. Esses óxidos têm efeitos significativos no arranjo atômico, forma dos cristais e propriedades hidráulicas dos silicatos.

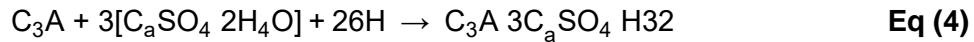
- Hidratação do  $C_3S$



O produto de hidratação do  $C_3S$  é o composto hidratado  $C_3S_2H_3$ , como se pode ver na **equação 1**, com a liberação de cal na forma cristalina de  $C_a(OH)_2$ . A presença de  $C_3A$  no cimento pouco contribui para a resistência do concreto, além do fato de a pasta ser atacada por sulfatos, e da possível formação de sulfoaluminatos de cálcio poder ocasionar a desagregação do concreto. A reação do  $C_3A$  com a água é imediata, formando rapidamente hidratos cristalinos, conforme se vê na equação 3, com liberação de grande quantidade de calor de hidratação. Devido a essa taxa alta de liberação de calor é que se adiciona a gipsita, com o intuito de controlá-la, caso contrário de nada servirá o concreto para os propósitos da construção civil. Na prática não são importantes as reações de  $C_3A$  sozinhas e sim a hidratação na presença de gipsita, uma vez que a gipsita facilita a combinação do óxido de cálcio com a sílica. Podemos ainda observar que a quantidade de água necessária é maior que a requerida na hidratação de ambos os silicatos (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p.201).



- Hidratação do  $C_3A$  com o gesso



É interessante discorrer sobre o  $C_3A$  e o ferroaluminato concomitantemente, pois os produtos formados quando o segundo reage com a água na presença de sulfato são estruturalmente semelhantes aqueles formados pelo  $C_3A$ . Entretanto, o papel desempenhado pelo ferroaluminato no cimento Portland, nas fases iniciais das reações de pega e endurecimento da pasta de cimento, dependem principalmente da sua composição química e temperatura de formação (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p.201).

- Hidratação do  $C_4AF$ :



O  $C_4AF$  também está presente em pequenas quantidades no cimento. Porém, pouco afeta o comportamento do concreto, entretanto, o mesmo reage com a gipsita para formar sulfoferrito de cálcio e sua presença pode acelerar a hidratação dos silicatos (NEVILLE; BROOKS, 2010, p.10-11).

Os compostos do cimento Portland são produtos de reações a alta temperatura que não estão em equilíbrio. Quando um cimento é hidratado, os compostos reagem com água e o processo é acompanhado pela liberação de energia na forma de calor. Em outras palavras, as reações de hidratação dos compostos do cimento Portland são exotérmicas. É possível modificar as características do desenvolvimento das resistências, simplesmente alterando as proporções destes compostos, por exemplo, se o cimento tiver grande quantidade de  $C_3S$  e  $C_3A$ , a resistência inicial a compressão do mesmo será alta, e a resistência inicial será baixa, se o cimento possuir grande quantidade de  $C_2S$ . Com base nesses dados é que de acordo com a finalidade de obra, se escolhe o tipo de cimento adequado.

Segundo COSTA (1999), os produtos da hidratação do cimento se dividem na seguinte proporção, aproximadamente: 70% de  $C_3S_2H_3$ , 20% de  $Ca(OH)_2$  e 10% de outros produtos. A formação da portlandita [ $Ca(OH)_2$ ], principal produto da hidratação do cimento, é regida pela reação do óxido de cálcio ( $CaO$ ), ou cal virgem com a água de hidratação, como apresentado:

Costa (1999), afirma que, por meio de cálculos estequiométricos foi comprovado que o  $C_3S$  quando hidratado produz 61% de  $C_3S_2H_3$  e 39% de  $C_a(OH)_2$ , sendo que sob a mesma condição de hidratação, o  $C_2S$  é capaz de produzir 82% de  $C_3S_2H_3$  e 18% de  $C_a(OH)_2$ . As



propriedades adesivas da pasta de cimento Portland surgem devido à formação de silicato de cálcio hidratado. Pode-se deduzir que a resistência do cimento portland, terá um acréscimo, à medida que se aumenta o teor de  $C_2S$ , aumentando assim também a sua durabilidade. Essa característica se deve em razão do menor teor de  $C_a(OH)_2$ , composto químico conhecido como portlandita. Assim, uma boa hidratação dos compostos cimentícios produz um concreto com maior resistência, e conseqüentemente maior durabilidade.

### 3.2 Água de amassamento

A água é indiscutivelmente o líquido mais abundante encontrado na natureza. Quase todas as águas naturais são apropriadas para uso em concreto, sendo necessário, no entanto, precauções quanto a utilização de águas de pântano, mar e industriais. A água é um material de importância fundamental nas reações de hidratação do cimento, atuando como agente promovedor da plasticidade dos constituintes (GUIMARÃES, 2006, p.58).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, por meio de normalização específica, NBR 12655 (ABNT, 2015) e NBR 15900-1 (ABNT, 2009), recomenda que a água de amassamento seja avaliada nos seguintes itens: quantidade de matéria orgânica presente expressa em oxigênio consumido; teor de sólidos totais e dissolvidos; teores de sulfetos e cloretos, pH e teor de sólidos em suspensão, não se referindo a qualquer tipo de alteração física ou química existente (SANTOS, 2006, p.7).

Para Mehta e Monteiro (1994, p.54), via de regra, uma água imprópria para beber não é necessariamente imprópria para o amassamento do concreto. Do ponto de vista da resistência do concreto os tipos de água, ácida, alcalina, salgada, salobra, colorida ou com mal cheiro não devem ser rejeitadas imediatamente. Uma maneira eficiente para determinar a aceitabilidade de uma água cujo desempenho é desconhecido, é comparar o tempo de pega do cimento e as resistências dos corpos de prova de argamassa feitos com essa água e com uma água limpa de referência. Sendo que os produzidos com a água desconhecida, devem obter valores de resistência de aproximadamente 90% dos produzidos com a água de referência, sem que a qualidade da mesma tenha afetado a hidratação do cimento a um grau inaceitável.

Estima-se que para a produção de  $1m^3$  de concreto, o consumo de água varie entre 160 e 200 l, e  $1cm^3$  de cimento produza aproximadamente  $2cm^3$  de pasta endurecida. Durante o processo de hidratação, o espaço que inicialmente era ocupado por cimento e água vai sendo substituídos pelo cimento e seus respectivos produtos de hidratação. A porosidade é constituída pelos vazios capilares que dependem diretamente da relação água/cimento da

mistura, e do grau de hidratação do cimento (ALVES, 2002, p.40). O teor de água do concreto fresco é dado pelo fator água/cimento, isto é, pela relação em peso água-cimento, essa relação varia geralmente entre 0,3 e 0,6. Quanto menor for o teor de água, menor será a trabalhabilidade, e maior a resistência do concreto (SANTOS, 2006, p.6).

Sabe-se da correlação existente entre a porosidade, resistência e vida útil das estruturas de concreto, uma vez que, a resistência mecânica do concreto é baseada na qualidade e na quantidade de sólidos representados pelos compostos hidratados do cimento. Na fase de mistura do concreto, o controle da quantidade de água adicionada a mistura é um item de fundamental importância para se obter o máximo de resistência para um determinado traço, ao passo que quanto mais água é adicionada na fase de mistura, menor a resistência mecânica. Assim, evidencia-se o papel ambivalente da água nas propriedades do concreto endurecido.

Dito isso, é importante salientar que, além da resistência mecânica, outras características importantes do concreto são afetadas pelo teor de água de amassamento empregado na mistura, tanto para o estado fresco quanto endurecido. No estado fresco tem-se a consistência, onde a composição dos grãos, misturadas à água, permitem o movimento relativo dessas partículas. A película de água formada nas superfícies dos sólidos elimina o atrito interno entre as partículas, permitindo a mistura deformar-se sob o efeito de qualquer assentamento (ALVES, 2002, p.21).

Ainda no estado fresco, a segregação da mistura ocorre, a grosso modo, quando os materiais se separam e o excesso de água empregada no concreto tem função transitória. Uma vez terminada a concretagem, a água sobe à superfície, evaporando-se em seguida. Às vezes, essa perda se processa durante a concretagem, prejudicando o manuseio e adensamento do concreto, motivo esse pelo qual a dosagem de água deva ser compatível com as condições de aplicação do concreto (ALVES, 2002, p.26).

Na fase endurecida, a principal “consequência” da água é a resistência mecânica. Entre os principais fatores que influem na variação da resistência do concreto estão a mudança da relação  $a/c$ , a falta de controle da água de mistura, as falhas na mistura, o transporte, a concretagem, entre outros (ALVES, 2002, p.27). Partindo do fato de que a água possui papel crucial na coesão da pasta de cimento hidratado, e conseqüentemente na sua resistência final, faz-se necessário classificá-la quanto ao grau de dificuldade que a mesma apresenta para se libertar para o exterior da mistura com o passar do tempo.

De acordo com Paredes e Bronholo (2013), as águas se classificam em: água quimicamente combinada, água zeolética, água adsorvida, água capilar e ainda água livre. Sendo água quimicamente combinada, a água de hidratação do cimento nas reações referidas anteriormente. No processo de endurecimento da pasta, a mesma não é liberada,

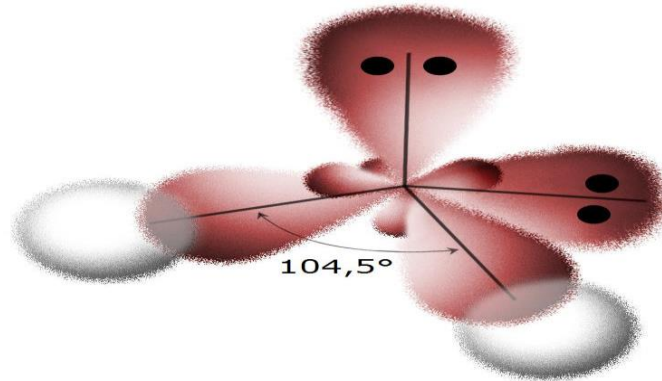
sendo possível sua liberação apenas quando atingidas temperaturas acima de 1000 C, às quais o material se decompõe. A água quimicamente combinada é por vezes utilizada para determinação do cálculo de hidratação do grão de cimento.

Água zeolética ou intersticial é também a água ligada à rede cristalina do gel da pasta de cimento hidratada. A sua saída ou entrada, não modifica a estrutura, alterando apenas o espaçamento entre essas camadas cristalinas. Podendo, portanto, essa água ser retirada sem que haja alteração direta na estrutura do cristal, sendo alterado apenas o espaçamento entre as lamelas da estrutura do cristal.

Água adsorvida é aquela que se encontra próxima à superfície do sólido, isto é, sob a influência de forças de atração, essas moléculas estão fisicamente adsorvidas na superfície dos sólidos na pasta. A água adsorvida à superfície dos produtos de hidratação do cimento é muito grande devido as dimensões dos cristais. A enorme quantidade de átomos na superfície de tais cristais, cujas forças não estão totalmente saturadas pelos átomos vizinhos, cria as chamadas forças de superfície, de adsorção ou forças de Van der Waals, que atraem as moléculas dos fluidos da sua vizinhança. Já a água capilar é aquela que ocupa o espaço nos capilares, sendo livre das forças de adsorção. E por fim água livre, é toda água que está na pasta de cimento ou no concreto, sem sujeição a quaisquer forças, ficando livre para evaporar durante o endurecimento da pasta ou concreto (PAREDES; BRONHOLO, 2013, p.21-22).

### 3.3 Estrutura molecular da água

A água tem uma estrutura molecular simples, é dada por duas ligações covalentes O-H. O átomo de oxigênio possui seis elétrons em sua camada de valência, sendo necessários dois elétrons para estabilização eletrônica. O átomo de hidrogênio que possui apenas um elétron em sua camada de valência. Para que atinja sua estabilidade necessita de um elétron. Portanto, na molécula de água ocorre o compartilhamento de um par de elétron entre cada átomo de oxigênio. Pelo fato de oxigênio possuir 4 orbitais, e dois deles estarem envolvidos nas ligações O-H, dois encontram-se livres, ocorrendo repulsão por parte destes orbitais livres, o que ocasiona uma aproximação entre ligações O- H, conforme pode ser visto na **Figura 2.**

**Figura 2.** Molécula de água

O átomo de oxigênio é mais eletronegativo que o de hidrogênio, o que significa dizer que o mesmo tem uma maior tendência de atrair elétrons em uma ligação química, ou seja, o núcleo de oxigênio atrai os átomos das ligações O-H, caracterizando a polaridade da molécula de água. Deste fato, resulta que o polo positivo de uma molécula atrai o polo negativo de outra. O equilíbrio das forças resultantes entre as diferentes orbitais de elétrons, determina uma disposição geometricamente assimétrica das ligações O-H, formando entre si um ângulo aproximado de  $104,5^\circ$ . A atração eletrostática entre as cargas positivas parciais dos átomos de hidrogênio e a carga negativa parcial do átomo de oxigênio resulta na formação de uma ligação denominada “ponte de hidrogênio”. Tais ligações permitem a união entre as moléculas de água e é responsável pela estrutura ordenada da água na fase líquida (GOMES e CLAVICO, 2015).

Segundo Santos (2006), cada uma das pontes de hidrogênio é uma ligação fraca que se desfaz facilmente. Ao passo que uma ponte se desfaz, outra se forma, de modo que as moléculas de água ficam fortemente unidas, mantendo a água fluida e estável em condições normais de temperatura e pressão. Essa forte atração entre as moléculas de água é denominada coesão. A coesão entre as moléculas da água no estado líquido é o fator responsável por sua alta tensão superficial. Os líquidos e, portanto, a água tende a voltar sempre ao equilíbrio, o que nos mostra que se encontram num estado de constante tensão. É possível dizer que a alta tensão superficial da água a impede de agir como um agente plastificante eficiente em misturas de concreto.

Para Barboza (2002), as alterações sofridas pela água depois de exposta a arranjos de campos magnéticos, não decorrem de uma magnetização e sim da capacidade do campo magnético de promover alterações de alguma natureza na água no estado líquido, que serão abordados com maior propriedade nos capítulos que se seguem.

### 3.4 Indução magnética da água

Primeiramente serão abordados nesse tópico noções sobre eletromagnetismo, uma vez que o protótipo utilizado para obtenção da água magnetizada utilizado neste estudo, faz uso dessas propriedades. A água de amassamento, objeto de estudo do trabalho, obtida pela passagem de água através de um campo magnético de intensidade fixa. Campo este obtido com o uso de um eletroímã, cuja intensidade e modo de obtenção serão melhor abordados no Capítulo 4.

Segundo Guimarães (2006, p.88-89), um ímã produz um campo magnético em todos os pontos do espaço ao seu redor. Um tipo familiar de ímã surge quando uma bobina de fio é enrolada em volta de um núcleo de ferro e uma corrente é passada por ele, sendo a intensidade do campo magnético determinada pela intensidade desta corrente. O campo magnético também pode ser definido em termos da força magnética exercida sobre uma partícula eletricamente carregada em movimento. A unidade no sistema internacional para o campo magnético é o Tesla  $\frac{N.s}{C.m}$ . Ou seja, uma partícula com carga de um Coulomb passando por um campo magnético de um Tesla com velocidade de 1 m/s perpendicular ao campo sente uma força de 1 N. Uma unidade ainda em uso corrente para campo magnético é o Gauss (G), sendo que, 1 Tesla equivale a 10.000 Gauss.

Convencionalmente classificam-se as substâncias com base no fenômeno estabelecido quando as mesmas são submetidas a um campo magnético externo, têm-se três tipos gerais básicos de substâncias que são: o diamagnetismo, ferromagnetismo e paramagnetismo.

Em termos mais gerais, o diamagnetismo está associado aos momentos de dipolo magnéticos orbitais dos elétrons nos átomos ou moléculas. O diamagnetismo se apresenta fracamente, podendo ser mascarado pelos outros dois tipos de magnetismo. Assim sendo, são gerados fracos momentos de dipolo magnético pelos átomos do material, quando o mesmo é colocado sobre presença de um campo magnético externo, de modo que eles ficam fracamente orientados em sentido contrário ao campo externo aplicado. Surgindo então, entre o ímã e a substância diamagnética, uma força de repulsão fraca. São exemplos de materiais diamagnéticos água, mercúrio, ouro, prata, bismuto, antimônio, zinco, etc (MUSSOI, 2005, p.16).

O Paramagnetismo se apresenta em substâncias compostas ou moléculas de transição, que apresentam momentos magnéticos permanentes. Na presença de um campo magnético é produzido um torque sobre a mesma, que tende a alinhar seus dipolos na direção do campo magnético indutor, evidenciando dessa forma uma certa magnetização na amostra, devido ao surgimento de uma força de atração fraca entre o ímã e a substância. Nos metais,

o paramagnetismo se dá pelo alinhamento dos momentos de dipolo magnéticos dos elétrons de condução. Esses materiais são fracamente atraídos pelos ímãs. São exemplos de materiais paramagnéticos o alumínio, o manganês, estanho, oxigênio líquido o sulfato de cobre, entre outros (MUSSOI, 2005, p.17).

As substâncias ferromagnéticas apresentam características bem diferentes das dos materiais paramagnéticos e diamagnéticos, os mesmos se imantam fortemente na presença de um campo magnético indutor, de modo que ficam majoritariamente orientados no mesmo sentido do campo aplicado e são fortemente atraídos por um ímã. São exemplos de substâncias ferromagnéticas o ferro, o cobalto, o níquel, e as ligas formadas por estas substâncias. São materiais muito utilizados quando o objetivo é obter campos magnéticos de maiores intensidades (MUSSOI, 2005, p.16).

Para Abdel- Magid et al. (2017), quando a água passa por um campo magnético é chamada de água magnetizada. O nível de magnetização é controlado pelo método de magnetização utilizado e a pureza da água utilizada. Os autores afirmam que a estrutura da água fica alinhada em uma direção após magnetização, havendo mudança de angulo e tamanho das moléculas, alterando viscosidade e área de superfície da mesma, acarretando um aumento na taxa de hidratação do cimento.

Com relação ao estudo da água submetida a um campo magnético fixo encontra-se na literatura estudos e aplicações nas mais variadas áreas. Apesar da água ser uma substância diamagnética autores diversos já discorreram acerca de alterações nas propriedades físico-químicas da mesma quando submetida a campo magnético. Para Barboza (2002, p.15), os principais efeitos químicos observados foram: alteração do ponto de fusão de soluções aquosas, aumento na absorção e adsorção de água em sólidos, aumento e diminuição da solubilidade de sais, sendo este último o mais estudado devido a proposta de minimizar os problemas gerados pelas incrustações de minerais em processos industriais, devido a uma mudança na formação de cristais de minerais presentes na água. Mais precisamente os carbonatos, mudando, em termos gerais, a “dureza” da mesma.

Alterações biológicas também constam na literatura, as melhorias foram contabilizadas no setor agrícola com efeitos benéficos como aumento da produtividade agrícola, aceleração e retardamento de germinação de vegetais e inibição de crescimento de alguns fungos, tendo como base a irrigação com água submetida a campo magnético fixo. (BARBOZA, 20)

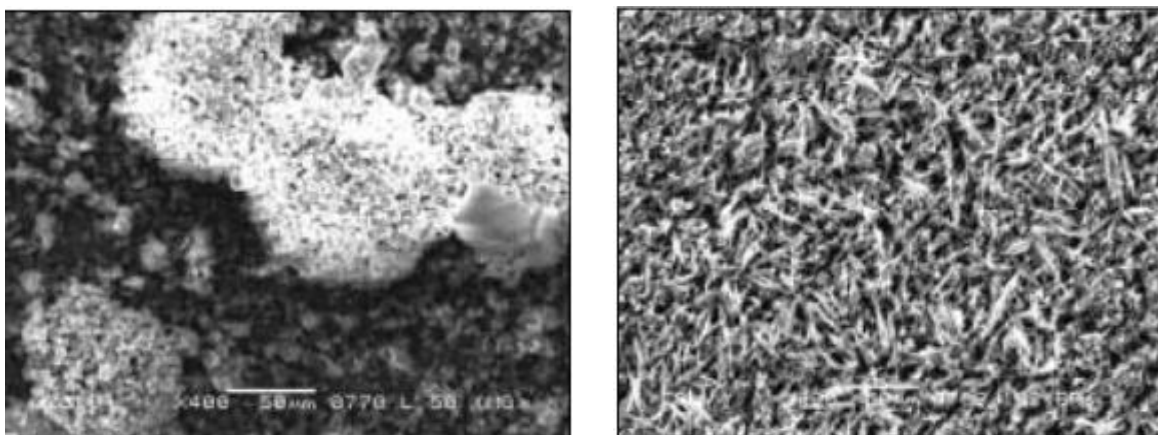
Como dito anteriormente, uma substância é dita magnetizada quando as suas moléculas constituintes ou elementos estruturais podem ser alinhadas numa direção definida pela influência de um campo magnético externo. Quando a água é submetida a um campo magnético, as suas moléculas tendem a se alinhar numa dada direção, ocasionando a diminuição do ângulo existente para menos de  $105^\circ$ , o que conduz a uma diminuição no grau

de consolidação entre as moléculas de água, e aumento no tamanho das mesmas. Razões estas, pela qual a viscosidade da água magnética tende a ser menor do que a viscosidade da água normal. Essa alteração na estrutura das moléculas de água provocam também uma alteração na permeabilidade da pressão, tensão superficial, pH e de condução eléctrica da mesma (AHMED, 2009, p.75).

Os primeiros estudos acerca do tratamento de água magnetizada estiveram voltados a catalogação dos efeitos da magnetização para os mais variados setores e não para uma explicação efetiva. Na indústria os primeiros estudos se concentraram em resolver o problema de incrustações presentes em equipamentos de processos industriais, o que do ponto de vista econômico é um dos mais dispendiosos da indústria mundial. As incrustações ocorrem devido a cristalização do carbonato de cálcio, um dos compostos presentes na água. Essa cristalização da origem a calcita que ocorrem em maior concentração, unindo-se umas as outras e fixando-se as paredes das tubulações, formando a camada calcária denominada incrustação.

De acordo com Costa (2006, p.68), quando a cristalização do carbonato de cálcio se dá sobre efeito de um campo magnético ocorre alteração na forma dos cristais, que se apresentam agora com formato discóide, diferente das agulhas naturalmente formadas. Estes cristais discóides, tem tendência menor de formação da calcita (**Figura 3**). Os discóides após passagens sucessivas por um campo magnético se unem como uma estrutura alterada e desenvolvem cristais maiores no formato de esferas, as aragonitas, não se prendendo a tubulação.

**Figura 3.** Formação de cristais de Calcita e Aragonita respectivamente



No ramo da construção civil, Santos (2006, p.9-18) afirma que a alteração física que ocorre na água se deve ao princípio da força de Lorentz, uma vez que existem íons  $H^+$ ,  $OH^-$ , livres na água e que sofrem influência de um campo magnético sob uma determinada velocidade. A redução da tensão superficial permite uma ampliação na área de contato entre a água e o cimento, acarretando uma maior hidratação e conseqüentemente um incremento de resistência e durabilidade.

Para Santos (2006, p.34), quando as partículas de cimento são envolvidas por uma água tratada magneticamente de mesma carga elétrica, as partículas de água são repelidas entre si, dispersando-se com maior facilidade pela mistura da água. Além disso, quando a hidratação ocorre, esta se dá formando camadas de hidratação do cimento exterior, o que previne a penetração das moléculas de água. Como as moléculas de água magnetizada estão em pequenos conjuntos, eles podem penetrar por meio das camadas de hidratação mais facilmente, o que permite que haja uma hidratação completa.

Para Su e Wu (2002, p.1), a água depois de passar por um campo magnético de determinada intensidade é chamada de água magnetizada. Os mesmos creditam ao uso dessa água uma redução de 5% no consumo de cimento para uma mesma dosagem. De acordo com os autores, a razão pela qual a água magnetizada pode melhorar as características do concreto pode ser explicada pela estrutura molecular da água. Seus estudos investigaram propriedades de trabalhabilidade e compressão da pasta de cimento e concreto, para água magnetizada e não magnetizada apresentando resultados satisfatórios para a primeira.

Su e Wu (2002), afirma que a morfologia dos produtos da hidratação, tais como  $C_3S_2H_3$  em gel, etringita e pasta hidratada de monossulfato produzido com água tratada magneticamente é similar ao produzido com água potável. Entretanto, largos cristais de  $Ca(OH)_2$  com placas hexagonais são observadas, na mistura que foi produzida a água potável. As moléculas da água não magnetizada tendem a se aglomerar entre si formando conjuntos. As largas placas de  $Ca(OH)_2$ , a qual se encontram na zona de transição, podem ser produzidas depois do cimento ter reagido com esses conjuntos de moléculas de água. Os cristais de  $Ca(OH)_2$  na pasta de hidratação tendem a ser menores e formados separadamente, isso porque as pequenas moléculas da água tratada magneticamente reagem com o cimento. Essa diferença explica, o fato de a resistência à compressão de materiais cimentícios com água magnetizada ser maior que a com água convencional.



### 3.5 Métodos, campos e tempos de exposição encontrados na literatura

O Estudo da técnica de tratamento magnético de água para utilização em concreto é recente, estudos datam do ano 2000, entretanto nos últimos anos é possível encontrar uma bibliografia razoável referente a este assunto. Com o intuito de nortear este estudo é que buscaremos um ponto de partida com relação a tempo de exposições e intensidades de campos magnéticos utilizados na literatura e quais foram os resultados apresentados. Os primeiros estudos acerca deste tema foram realizados em países como China, Índia e mais recentemente esta técnica está sendo estudada também no Brasil.

Percursos no estudo da técnica de magnetização de água para tratamento magnético, Su e Wu (2002), realizaram testes com utilização de campo magnéticos com intensidades de 0.2;0.4; 0.6; 0.8 1.2 e 1.35 Tesla, porém os autores não informam o tempo de exposição a estes campos e o tipo de magnetização utilizada. Foram produzidas concretos e argamassas com adições de escória de auto forno em proporções de 5%, 10% e 15%. Os melhores resultados segundo autores foram apresentados para os campos de 0.8 1.2 e 1.35 Tesla.

Segundo Guimarães (2006), no Brasil o primeiro equipamento utilizado proporcionava um campo magnético reduzido, insuficiente para alcançar as mudanças desejáveis nas propriedades da água, como redução da tensão superficial, e maior eficiência de hidratação e molhagem do cimento. Porém no ano de 2003 foi desenvolvido um aparato que alcançava um campo de 0.8 Tesla, que logrou êxito em alcançar as mudanças propostas nas propriedades da água.

Gomes et al. (2003), selecionou para seus estudos dois tipos de concretos distintos. O concreto convencional e concreto bombeado, com resistência característica de 30 e 40 MPa. Foram produzidos concretos com água de poço e água tratada magneticamente com 3 horas de exposição cada. Para o tratamento da água foi utilizado equipamento de indução magnética de imã variável, contendo cinco células de indução que geram um campo magnético aproximado de 20 milhões de "Gauss". Realizaram-se análises da propriedade tensão superficial para os tempos de 2, 4, 6 e 8 horas, segundo o autor ficou evidenciado uma melhoria na ordem de 2.1% para duas horas de exposição e 16% em comparação a água comum para 8 horas de exposição. Quanto a avaliação da consistência os resultados apresentados mostraram que a água tratada magneticamente apresentou valores na ordem de 20 mm superiores à água normal para ambos os traços. No que tange a resistência houveram aumento significativo nesta propriedade, os autores creditam este aumento a redução da tensão superficial da água oque incrementou a capacidade de hidratação da mesma, bem como uma reordenação da orientação do di-polo das moléculas.

Ahmed (2009), investigou a influência do tratamento magnético sobre a resistência a compressão e consistência do concreto. As misturas foram feitas com um campo de intensidade de 1.2 Tesla, com velocidades distintas de 1,27; 0,71; 0,42; 0,32; 0,25 e 0,20 m/s, totalizando sete misturas de concreto. Dentre estes, seis com água tratada magneticamente e um com água comum para referência. Foram moldados os corpos de prova e ensaiados a resistência a compressão aos sete dias. Os resultados mostraram que houve melhoria nas resistências a compressão de ambos os concretos produzidos com água tratada magneticamente, na ordem de 10-20%, sendo o campo com velocidade de corrente que passa pelo campo magnético de 0.71 m/s o que apresentou variação mais considerável.

Karam e Al-Shamali (2013), investigaram o uso de água magnetizada nas propriedades do concreto, a água foi tratada simplesmente pela passagem de água através de um aparelho magnético de intensidade 12.000 Gauss, velocidade de 9 m<sup>3</sup>/h e tempo de exposição de 45 minutos. Foram produzidos três misturas com e sem uso de água tratada magneticamente, os corpos de prova produzidos foram ensaiados quanto a trabalhabilidade, resistência a compressão. No que tange a trabalhabilidade os resultados apresentaram um aumento de 10 a 35% quando comparado a água comum, para a resistência a compressão houve um acréscimo na ordem de 10 a 15%, outras resistências mecânicas como tração e flexão apresentaram um aumento entre 7 e 28%.

Na Índia Reddy et al. (2014), avaliaram a técnica de magnetização da água para produção de concreto, magnetização esta obtida através da retenção de água em um copo de vidro colocado sobre um ímã de intensidade 958 Gauss. A água ficou exposta a esse ímã, por um período de 24 horas, foram moldados corpos de prova cuja finalidade era avaliar a propriedade resistência a compressão do concreto feito e curado com água magnetizada com relação a água comum. O resultado apresentado pelos autores mostra um incremento na ordem de 57% na resistência dos concretos devido a uso de água magnetizada para mistura e cura dos mesmos nos primeiros dias, essa mudança é creditada ao preenchimento de poros/vazios, ou seja, um maior número de produtos de hidratação presentes no concreto.

Abdel Magid et al. (2017), estudaram a prática da magnetização de água para produção de concretos, a água foi imantada usando um dispositivo magnético de mão, enquanto a água era invertida manualmente. Os autores realizaram de início seis misturas, destas, três com água normal e três com água magnetizada, variando a relação a/c, de 0.45, 0.5 e 0.55. Para os ensaios de consistência houveram, segundo autores uma melhoria na ordem de 400%, 300% e 25% para as relações a/c enunciadas anteriormente. Foram realizadas também misturas com redução do teor de cimento, para tanto foram realizadas outras quatro misturas, duas delas com água comum e convencional mantendo a relação água cimento, e outras duas reduzindo o teor de cimento em 12.5% e 25 %. Como conclusão

os autores relataram um aumento na trabalhabilidade de 400% quando comparado a água magnetizada, a força de compressão foi aumentada em 10% e o conteúdo de cimento na mistura pode ser reduzido em até 75 % sem que haja alteração na resistência a compressão quando combinada com o uso de água imantada.

Jain et al. (2017), investigou o efeito da água tratada magneticamente na resistência a compressão, absorção de água, porosidade. A água foi tratada através de um campo magnético de intensidades distintas, 0.8 0.9 e 1.0 Tesla, com tempo de exposição de 2 horas. As variáveis de teste incluíram a força magnética da água e idade de cura. Os resultados mostram que a resistência à compressão de amostras de concreto misturado com água magnética é maior do que a preparada com água da torneira normal. O aumento da resistência à compressão do concreto preparado com água magnética é mais significativo nas primeiras idades. O melhor resultado alcançado para absorção de água e porosidade foram obtidos na força magnética da água tratada é de 1T.

Gholhaki et al. (2017), fez estudos a respeito das propriedades do concreto auto adensável fazendo uso de água tratada magneticamente e adição de materiais pozolânicos. O campo aplicado possuía intensidade de 0.8 Tesla, foram produzidas dez misturas, duas delas com água comum e água magnetizada para servirem de referência, nas oito restantes foram utilizadas como água de amassamento a água tratada magneticamente e ainda haviam materiais pozolânicos distintos que foram incorporados a mistura em substituição ao cimento em 10 e 20%. Os resultados se mostraram satisfatórios quanto a utilização da água tratada magneticamente em substituição a água de amassamento convencional. A mistura com 20% de substituição apresentou uma melhoria de 21% na resistência quando comparada a mistura convencional.

## 4. METODOLOGIA

O presente capítulo apresenta os procedimentos utilizados nas amostragens de argamassa, as técnicas experimentais de execução dos ensaios laboratoriais, bem como os equipamentos utilizados. Os ensaios são necessários para caracterização das propriedades das argamassas em ambos os estados, fresco e endurecido.

### 4.1 Caracterização dos materiais

#### 4.1.1 Água de amassamento do concreto

A norma brasileira, NBR 15900-1 (ABNT, 2009) traz especificações referentes à qualidade da água a ser considerada adequada ao preparo de concreto, descrevendo procedimento de amostragem, bem como métodos para sua avaliação. De modo geral, a água pode ser verificada quanto à sua origem. Entre essas têm-se a água de abastecimento público, a qual é considerada adequada para uso sem necessidade de ser caracterizada. Portanto a água de abastecimento público de Foz do Iguaçu, foi adotada como sendo referência às demais.

Além da água de abastecimento público foram utilizadas como água de amassamento as águas destilada e deionizada para efeito de comparação, uma vez que se creditou benefícios nas propriedades da água, devido a existência de impurezas presentes na mesma. As águas deionizada e destilada foram conseguidas junto com o laboratório de química da Universidade Federal da Integração latino-americana.

Ambas as águas utilizadas como sendo de amassamento, foram submetidas a intensidades de campos distintos, campos estes conseguidos através do uso de um eletroímã, (**Figura 4**) de propriedade da UNILA, fazendo a alteração da corrente passante no mesmo. Foram utilizadas intensidades de campo de 0.4 a 1.2 Tesla, cujo valores de correntes foram medidas experimentalmente e se encontram dispostas na **tabela 1** a seguir.

**Tabela 1.** Intensidade de corrente e respectivo campo magnético utilizados

Corrente passante (A)	Intensidade de campo magnético (T)
0.53	0.222
1.01	0.415
1.51	0.623
2	0.823
2.57	1.046
3.03	1.204

**Figura 4.** Eletroímã utilizado no processo de magnetização

#### 4.1.2 Cimento

O cimento utilizado para a produção das argamassas foi o cimento Portland CII F - 32, da marca Supremo MAXI-FORT, com massa específica de 3.06 g/cm<sup>3</sup>.

#### 4.1.3 Areia

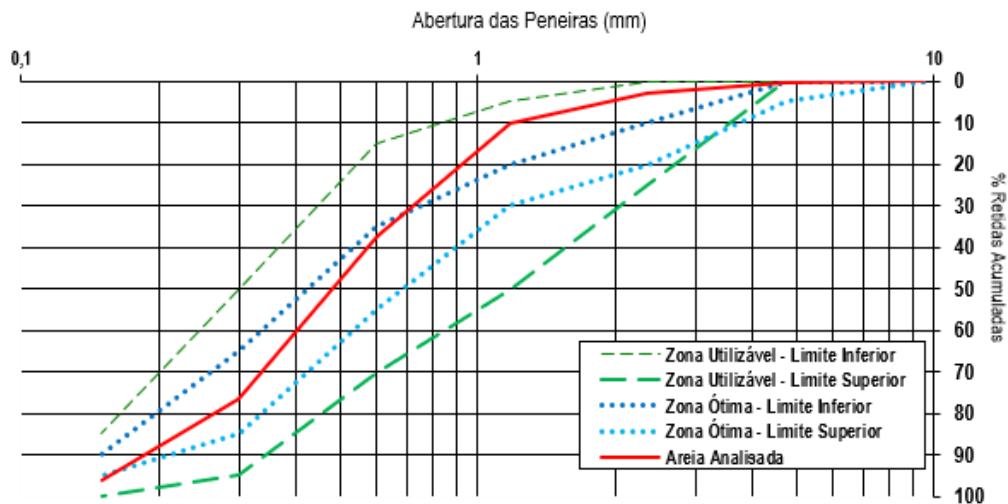
Os ensaios necessários para caracterização da areia são: granulometria, massa específica, massa unitária e absorção de água. O ensaio de granulometria seguiu o processo indicado pela normativa NBR NM 248 (ABNT, 2003), e o resultado da granulometria da areia utilizada encontra-se disposto na **Tabela 2**. Obteve-se com os dados da média retida acumulada, o módulo de finura da mesma, com valor de 2.24 e diâmetro máximo do agregado

de 2.36 mm. O que de acordo com a normativa NBR 7211 -, encontra-se dentro da zona ótima utilizável (**Figura 5**), cujo valor para o módulo de finura varia entre 2.2.

Tabela 2. **Granulometria da areia**

Diâmetro das peneiras (mm)	Areia Amostra 1 % Retida Acumulada	Areia Amostra 2 % Retida Acumulada	Média das amostras % Retida Acumulada
4.75	0.18	0.35	0.27
2.36	2.4	3.83	3.12
1.18	8.71	12.00	10.36
0.6	35.23	39.46	37.35
0.3	68.90	84.48	76.69
0.15	93.94	98.14	96.04
75	99.27	99.78	99.52
Fundo	100.00	100.00	100.00

**Figura 5.** Granulometria da areia



O ensaio de massa específica, massa unitária e absorção de água da areia foram realizados obedecendo os processos descritos nas normativas, NBR NM 52 (ABNT,2009); NBR NM 45 (ABNT,2006) e NBR NM 30 (ABNT, 2000), respectivamente. Ambos os ensaios têm seus resultados apresentados na **Tabela 3**, abaixo:

**Tabela 3.** Caracterização da areia

ENSAIOS	
Massa específica aparente do agregado seco	2.47 g/cm <sup>3</sup>
Massa específica do agregado saturado superfície seca	3.31 g/cm <sup>3</sup>
Massa específica	2.64 g/cm <sup>3</sup>
Massa unitária estado solto	1.68 g/cm <sup>3</sup>
Massa unitária estado compactado	1.76 g/cm <sup>3</sup>
Absorção de água	6.06%

## 4.2 Argamassas

### 4.2.1 Produção das argamassas

O traço escolhido para produção das argamassas é composto de uma parte de cimento para três de areia e relação água cimento de 0,5, usual para traços de concreto, já que se deseja simular uma pasta de concreto e não uma argamassa de revestimento.

Para produção das argamassas seguiu-se o recomendado pela normativa NBR 13276 (ABNT, 2016). Para água de abastecimento público, denominada água padrão, tanto para as águas deionizada e destilada submetidas a campos magnéticos de intensidades de 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 e 1.2 Tesla, com duração de exposição de 1 hora, bem como as águas sem magnetização.

Os corpos de prova foram elaborados com argamassa conforme o traço apresentado na **Tabela 4**, resultando em 10 corpos de prova cilíndricos no total, com dimensões de 5x10 cm. Os materiais acima caracterizados para a preparação de argamassa, foram devidamente pesados, separados, para preparo da mistura. Após preparadas as argamassas foram realizados os ensaios de índice de consistência e então moldados os corpos de prova (**Figura 6**), que posteriormente foram desmoldados e colocados em câmara úmida, para que se realizasse a devida cura dos mesmos, local onde foram mantidos até o seu capeamento para realização do ensaio de resistência à compressão. Os corpos de prova foram ensaiados à compressão nas idades de 7 e 28 dias.

**Tabela 4.** Traço utilizado

Traço (cimento: areia)	1:3
Relação a/c	0.5
Cimento	787.5 g
Areia	2362.5 g
Água	393.75 g

**Figura 6.** Corpos de prova moldados


Para efetivação dos resultados foram realizados em quantidades os seguintes corpos de prova, conforme **Tabela 5**.

**Tabela 5.** Corpos de prova produzidos

		Quantidade de corpos de prova					
		0	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
Referência	Campo aplicado (T)						
	Padrão	10	10	10	10	10	10
	Água deionizada	10	10	10	10	10	10
	Água destilada	10	10	10	10	10	10

### 4.3 Ensaios a serem realizados

#### 4.3.1 Ensaio de índice de consistência

O ensaio de índice de consistência se deu conforme a normativa NBR 13276 (ABNT, 2016), (**Figura 7**).



**Figura 7.** Ensaio de consistência de argamassas

#### 4.3.2 Ensaio de resistência à compressão simples

Os corpos de prova foram retirados da câmara úmida, capeados e ensaiados à compressão aos 7 e 28 dias, respeitando os tempos recomendados pela normativa regulamentadora NBR 5739: ABNT, 2007).

## 5. RESULTADOS

Depois de realizados os passos descritos no capítulo 5 deste trabalho, obteve-se os resultados para os ensaios propostos, afim de analisar o sugerido inicialmente pela literatura acerca da melhoria de propriedades da argamassa quando produzidas com água tratada magneticamente, buscando o objetivo que é a obtenção de um campo de intensidade ótima.

### 5.1 Ensaios

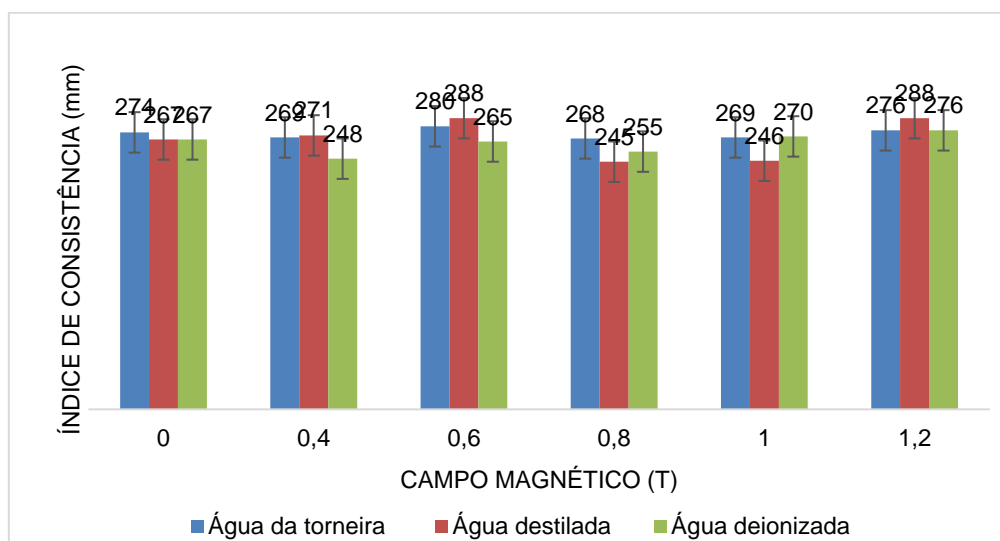
#### 5.1.1 Índice de consistência

O Ensaio de índice de consistência foi realizado em todas a argamassas produzidas para efeito de medição da alteração da propriedade da mesma. Os resultados de ambas medições se apresentam na **Tabela 6** e **Figura 8**.

**Tabela 6.** Índice de consistência (mm)

Referência		Campo aplicado (T)					
		0	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
<b>Padrão</b>	Índice de consistência	274	269	280	268	269	276
<b>Água destilada</b>		267	271	288	245	246	288
<b>Água deionizada</b>		267	248	265	255	270	276

**Figure 8.** Consistência da argamassa de acordo com Campo magnético aplicado



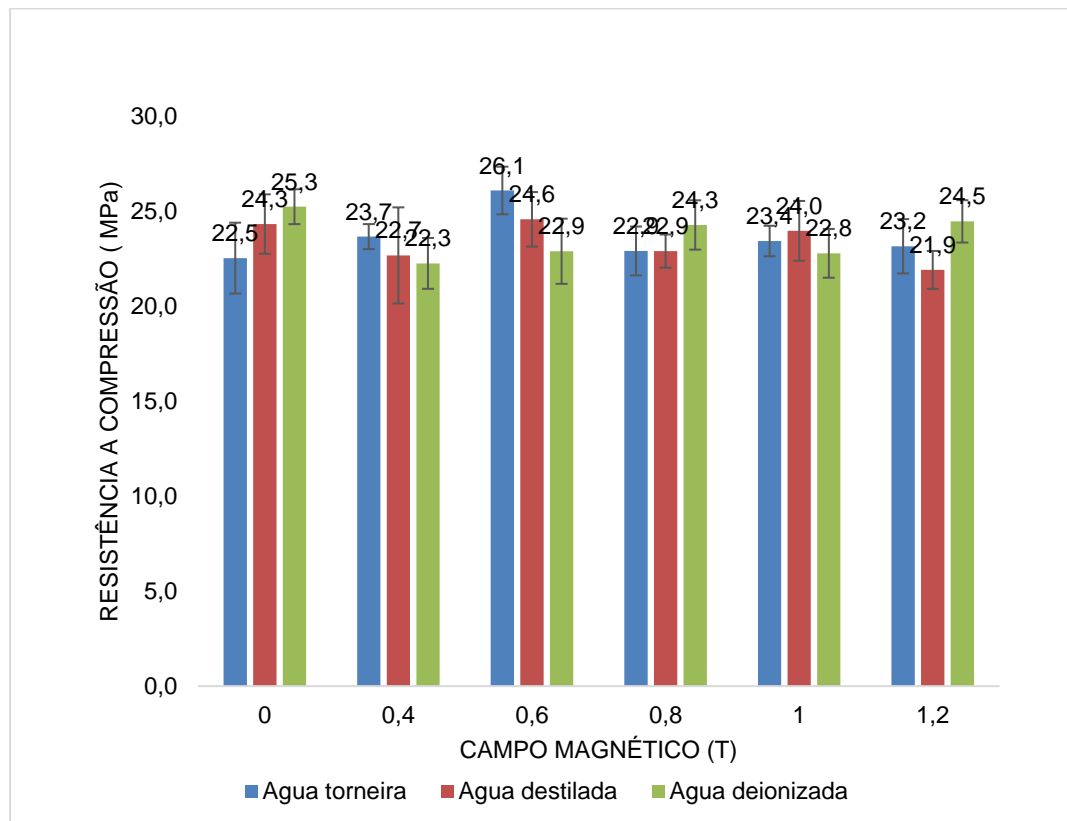
Pode se observar com os dados apresentados na **Tabela 6** e **Figura 8** referentes a consistência das argamassas que não houveram grandes variações para os diferentes campos aplicados. Os maiores valores de consistência foram encontrados para o campo de

1.2 Tesla, para duas das três águas analisadas, água destilada e água deionizada com valores de 288 e 276 mm respectivamente. Pode-se observar também que a água de abastecimento público foi a que apresentou menor variabilidade de resultados para os vários campos aplicados, tendo seu valor oscilando entre 268 e 280 mm, enquanto que a água destilada apresentou a maior variação oscilando de 245 para 0.8 Tesla à 288 mm para 1.2 Tesla. No geral houve uma variação de 265 +- 20mm nas consistências, esta variação pode ter se dado durante o processo de fabricação, devido a fatores como temperatura, umidade entre outros e não necessariamente pelo material utilizado.

### 5.1.2 Resistência à compressão

Os corpos de prova moldados foram rompidos aos 7 e 28 dias e os resultados se encontram dispostos nas **Figuras 9 e 10**, respectivamente.

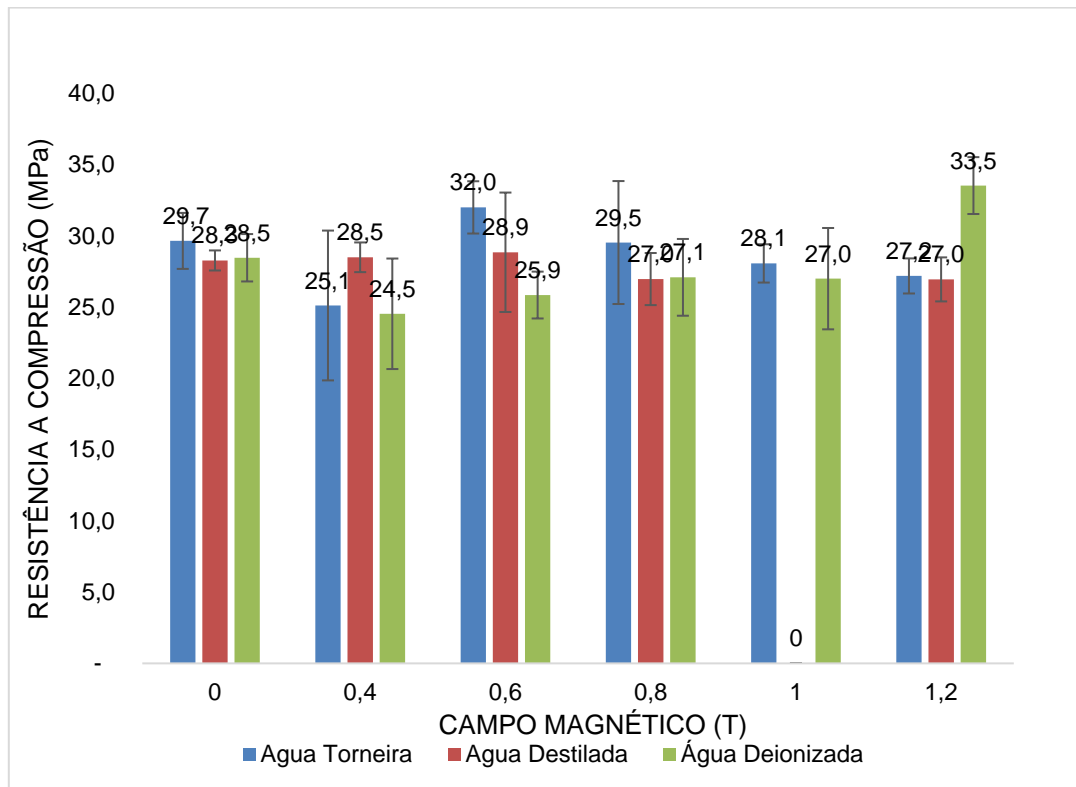
**Figura 9.** Resistência a compressão aos 7 dias



A partir dos dados apresentados na **Figura 9** acima, pode se observar que não houveram grandes variações para os diferentes campos aplicados, sendo os valores de resistência praticamente iguais. Apresentando uma variação nos valores de resistência dos corpos produzidos de  $24 \pm 2$  MPa. A água destilada foi a que menos apresentou variação nos valores de resistência tendo seu maior e menor valores de resistência de 24.6 MPa para 0.6 Tesla e 21.9 MPa para 1.2 Tesla respectivamente. Convém ressaltar que esta variação pode

ter se dado durante o processo de fabricação, devido a fatores como temperatura, umidade entre outros e não necessariamente pelo método utilizado.

**Figura 10.** Resistência a compressão aos 28 dias



Analisando os dados apresentados na **Figura 10** referentes a resistência a compressão das argamassas aos 28 dias, observa-se que a água destilada foi a que menos apresentou variabilidade de resultados, tendo seu maior e menor valor de resistência de 27 MPa para 0.8 e 1.2 Tesla, e 28.9 MPa para 0.6 Tesla. Em contrapartida a água deionizada apresentou uma variabilidade de resultados maiores que as demais, tendo seu maior e menor valores de resistência de 33.5 MPa para 1.2 Tesla e 24.5 MPa para 0.4 Tesla respectivamente.

As águas de abastecimento público e deionizada apresentaram uma variação nos seus resultados da ordem  $28 \pm 4$  MPa, enquanto que a água destilada apresentou uma variação de  $27 \pm 1$  MPa, variação esta que pode ter se dado durante o processo de fabricação, devido a fatores como temperatura, umidade entre outros e não necessariamente pelo método de magnetização utilizado. Sendo assim conclui-se que os resultados obtidos através das análises das argamassas produzidas com água padrão e água submetida a campo magnético foram muito similares, não observando as melhorias referenciadas na literatura científica. A partir disto decidiu-se adotar a intensidade de campo como sendo 1T para aprofundar os estudos em outras variáveis.

## **6. CONCLUSÕES**

A produção de argamassas com diferentes intensidades de campos magnético para o tratamento magnético da água, possibilitou a análise das propriedades de consistência e resistência a compressão do concreto e ambos os estados fresco e endurecido, objetivo deste trabalho.

No que concerne a determinação de um campo ótimo de exposição ficou evidenciado que a partir de um tesla não se percebe alterações nas propriedades das argamassas. No que diz respeito as águas utilizadas na produção das argamassas, a água destilada apresentou menor variabilidade de dados.

Sendo assim conclui-se que os resultados obtidos através das análises das argamassas produzidas com as águas de referência e a água magnetizada apresentaram resultados muito similares, não se observando melhorias, como citado na literatura científica

## 7. BIBLIOGRAFIA

ABESC, **Manual do concreto dosado em central**. Associação Brasileira das empresas de serviços de concretagem do Brasil. São Paulo. Abril, 2007.

AHMED, M. S. **Effect of magnetic water on engineering proprieties of concrete**. Iraque, 2009. Al-Rafidain Engineering. v.17, n.1, p. 71-82. fevereiro, 2009.

ALVES, D. J. **Manual de Tecnologia do Concreto**. Goiânia, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12655:2015**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_ (ABNT). **NBR 15900-1**: Água para Amassamento do Concreto, Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_ (ABNT). **NBR 5733**: Cimento Portland de Alta Resistência Inicial. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_ (ABNT). **NBR 5739:2007**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_ (ABNT). **NBR 7211**: Agregados para Concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_ (ABNT). **NBR 7215:1997**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_ (ABNT). **NBR NM 248**: Agregado miúdo: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_ (ABNT). **NBR NM 52**: Agregado miúdo: Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_ (ABNT). **NBR NM-ISO 7500-1:2004**: Materiais metálicos - Calibração de máquinas de ensaio estático uniaxial. Parte 1: Máquinas de ensaio de tração/compressão - Calibração do sistema de medição da força. Rio de Janeiro, 2004.

BARBOZA, M. A. **Ação de campos magnéticos em alguns sistemas químicos e biológicos**. 2002. 144 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, 2002.

CARVALHO, M. M. **Impactos e conflitos da Produção de cimento no Distrito Federal**. 2008. 187 p. Dissertação (Mestrado) - Centro de desenvolvimento sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

COSTA, da. W. **Estudo do condicionamento magnético da Água para fins industriais**. 2006. Dissertação (Mestrado) – Programa De Pós-Graduação Da Escola De Engenharia De Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia. SP, 2006.

COSTA, R. M. Estudo da Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG, Belo Horizonte, 1999.

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

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

GOMES, S. A.; CLAVICO, E. **Propriedades Físico-Químicas da água**. 2015. Disponível em: <http://www.uff.br/ecosed/PropriedadesH2O.pdf>. Acesso em jul. 2017.

GUIMARÃES, C. O. **Avaliação do uso da água magnetizada na produção de concretos em centrais**. 2006, 180 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação de engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

HORN, F; et al., **Propriedades físicas da água, difusão, osmose e diálise**. Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/fis01038/biofisica/agua/agua.htm>. Acesso em nov. 2017.

JAIN, A.; LAAD, A.; SINGH, K.; MURARI, K. **Effect of Magnetic Water on Properties of Concrete**. 2017. International Journal of Engineering Science and computing, 2016.

KARAM, H.; AL-SHAMALI, O. **Effect of using magnetized water o concrete properties.** Kuwait, 2013. Disponível em: <http://www.claisse.info/2013%20papers/data/e013.pdf>. Acesso em nov. 2017.

LIBARDI, L. P. **Dinâmica da água no solo.** 2005.

MAGID-ABDEL, M. I. T; HAMDANB, M. R; ABDELGADERC. B. A; OMERD, A. E. M; RIZG ALLAH, A. **Effect of magnetized water on workability and compressive strength of concrete,** Sudan, 2017. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817328060>. Acesso em nov. de 2017.

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

MUSSOI, R. L. F. **Fundamentos de eletromagnetismo.** Florianópolis, 2005. Disponível em: <http://intranet.ctism.ufsm.br/gsec/Apostilas/Eletromagnetismo.pdf>. Acesso em out. 2017.

NEVILLE, M. A.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto.** São Paulo, 2010.

PAREDES, A. C. D.; BRONHOLO, H. J. **Efeitos da temperatura da água de amassamento na resistência do concreto.** 2013, 44 p. Trabalho de conclusão de curso – Curso de tecnologia em concreto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

PIERETTI, A. R.; BRANCO, P. C. **Avaliação da resistência do concreto curado entre -5 e 0.** 2012, p.38. Trabalho de conclusão de curso - Curso de tecnologia em concreto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012.

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

TUTIKIAN, F. B.; HELENE, P. **Concreto ciência e tecnologia.** Ibracon, 2011.

SANTOS, A. H. A. **Estudo comparativo das propriedades mecânicas do concreto produzido com água tratada magneticamente.** 2006, 154 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação de engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

SHIYNIER, A.; et al., **Improving some of mechanical proprieties of concrete by magnetic water technology.** 2014, p.1-11, Ministry of Science and Technology. Iraque, Bágda. 2014.



SU, N.; WU, F. **Effect of magnet field treated water on mortar and concrete containing fly ash**. Taiwan, v.25, p.681-688, agosto. 2002.

WATANABE, S. P. **Concretos especiais – propriedades, materiais e aplicações**. 2008, p.185. Relatório final de pesquisa – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de São Paulo, 2008.