



Ministério da Educação

**Universidade Federal da Integração Latino-Americana
Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e
Território**

Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura
Engenharia Civil de Infraestrutura

**EFEITO DOS DIFERENTES TIPOS DE CIMENTOS EM
ARGAMASSAS ELABORADAS COM ÁGUA
SUBMETIDA A UM CAMPO MAGNÉTICO**

JENIFFER ANDREA SANCHEZ ANCI

Foz do Iguaçu, PR
Dezembro de 2017



Ministério da Educação

**Universidade Federal da Integração Latino-Americana
Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e
Território**

Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura
Engenharia Civil de Infraestrutura

EFEITO DOS DIFERENTES TIPOS DE CIMENTOS EM ARGAMASSAS ELABORADAS COM ÁGUA SUBMETIDA A UM CAMPO MAGNÉTICO

JENIFFER ANDREA SANCHEZ ANCI

Trabalho de Conclusão de curso 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.

Orientadora: Prof^o. Dr^o. Ana Carolina Parapinski dos Santos

Co-orientadora: Prof^o. Dr^o. Edna Possan

Foz do Iguaçu, PR
Dezembro de 2017

DEDICATÓRIA

A minha família e amigos pelo carinho e incentivo

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar saúde e força para superar todas as dificuldades apresentadas com o decorrer do curso.

A minha orientadora Ana Carolina Parapinski dos Santos e a minha co-orientadora Edna Possan pelo suporte no tempo que lhes coube, pelas correções e incentivos que me ajudaram durante o processo de realização deste trabalho.

A meus pais Elda e Jose, e meu irmão Jose por todo o carinho que me deram, além da educação, e apoio moral em todo momento apesar da distância durante esse tempo na universidade longe de casa.

A meu amor Jaime Robayo por sempre me brindar com seu apoio incondicional e por ter me ajudado nos momentos mais difíceis, obrigada.

A meus amigos e companheiros que fiz na UNILA, aos que me ajudaram no desenvolvimento deste trabalho em especial a Victor Sosa, Meire Barbosa, Caroline Bandeira, João Vichthor Holzmeister, Rafael Oliveira, Pedro Vitor Ildelfonso da Silva e aos que me ensinaram a ser mais forte frente aos problemas apresentados.

Ao professor Ulises Bobadilla por me incentivar o desenvolvimento do pensamento científico e ao professor Cesar Winter por brindar seu apoio durante o desenvolvimento desse trabalho.

As minhas melhores amigas que deixei no Peru para vir ao Brasil em especial a Alexandra Castro e Denise Cruz Espinoza, que mesmo na distância nunca me senti longe delas.

Ao Laboratório de Concreto de ITAIPU por me permitirem utilizar suas instalações para o desenvolvimento do trabalho em especial ao engenheiro Fabio, Claudinei, e João Bernardino, sem eles não seria possível a obtenção de resultados para meu trabalho de conclusão de curso.

RESUMO

Vários ensaios demonstram acerca da ação da água magnetizada em concreto, e tem comprovado que sua utilização influencia nas propriedades mecânicas e físicas do material. Diante disso, o objetivo do presente trabalho é avaliar a utilização de água de amassamento (torneira, destilada e deionizada) com e sem magnetização prévia, em argamassas elaboradas com 5 diferentes tipos de cimentos (CPII-Z, CPII-F, CPII-E, CPIV e CPV) . A água submetida à campo magnético - ASCM foi obtida através da passagem de um campo magnético fixo de 1T durante 1 hora. O traço empregado foi fixo (1:3) para todas as argamassas. Os resultados demonstram que existe melhoria nas propriedades no estado fresco nas argamassas produzidas com ASCM. Verificou-se aumento de consistência e trabalhabilidade das argamassas produzidas com a ASCM, para todos os cimentos validados, com exceção do cimento CPII-F. Já para o estado endurecido, não observou-se influência da ASCM na resistência à compressão das argamassas aos 7 e 28 dias. Logo para uma relação a/c fixa (0,5) a ASCM não traz benefícios nas propriedades mecânicas da argamassa endurecida. Todavia no estado fresco a ASCM reduz a quantidade de água de amassamento necessária para a obtenção de trabalhabilidade desejada, podendo atuar como um aditivo redutor de água de baixo custo em misturas cimentícias.

Palavras-chave: Água Magnetizada; Argamassa; Trabalhabilidade; Resistência.

ABSTRACT

It is known that some tests have been carried out to evaluate the action of magnetized water in concrete, it has been shown that its use influences its mechanical and physical properties of the material. The objective of this work is to evaluate the use of tap water, distilled and deionized tap, using previous magnetization and without field in mortar made with 5 different types of cement (CII-Z, CII-F, CII-E, CIV and CPV). The water subjected to the magnetic field - ASCM was obtained by passing a fixed magnetic field of 1T for 1 hour. The trait employed was fixed (1: 3) for all mortars. The results demonstrate that there is an improvement in the fresh state properties in mortars produced with ASCM. There was an increase in consistency and workability of the mortars produced with the ASCM, for all validated cements, except CII-F cement. As for the hardened state, there was no influence of the ASCM on the compressive strength of the mortars at 7 and 28 days. Therefore for a fixed a / c ratio (0.5) the ASCM does not bring benefits in the mechanic properties of the mortar. However in the fresh state the ASCM reduces the amount of kneading water necessary to obtain the desired workability and can act as a low cost water reducing additive in cementitious mixtures.

Keywords: Magnetized Water; Mortar; Workability; Strength.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Variação da resistência à compressão de acordo com as misturas de concreto ...	16
Figura 2. Variação de abatimento de tronco de cone respeito à relação a/c e tipo de água .	17
Figura 3. Resultados dos estudos de Wei <i>et al</i> de compressão e tração do concreto	18
Figura 4. O efeito dos ciclos de magnetização (frequência) na tensão superficial da água ..	18
Figura 5. Resultados da mudança da tensão superficial para água da torneira e água dura após aplicação de tratamento magnético.	20
Figura 6. Máquina geradora de campo magnético.....	22
Figura 7. Tratamento magnético desenvolvido por Cho e Lee	23
Figura 8. Protótipo de Indução Magnética de Guimarães.....	24
Figura 9. Equipamento GMX400	24
Figura 10. Máquina para submeter água a diferentes campos magnéticos.....	25
Figura 11. Equipamento AQUA-PHYD (APD).....	25
Figura 12. Aparelho para gerar campo magnético em água.	26
Figura 13. Modelo de magnetização da água PERMAG	26
Figura 14. Detalhe do aparelho de magnetização MWD-1	27
Figura 15. Projeto de experimentos.....	28
Figura 16. Curva granulométrica da areia.	29
Figura 17. Ensaio de massa específica do cimento no frasco de Chapman.....	30
Figura 18. Aparelho de Vicat	31
Figura 19. Vicamatic.....	31
Figura 20. Máquina para destilar a água	32
Figura 21. Máquina para deionizar a água.....	33
Figura 22. Processo da água sendo submetido a campo magnético e eletroímã.....	33
Figura 23. Diagrama do esquema do sistema de tratamento magnético da água.....	34
Figura 24. Mesa, molde tronco-cônico, soquete para ensaio de consistência e misturador mecânico.	36
Figura 25. Máquina de ensaio de compressão e moldagem dos corpos de prova.....	37
Figura 26. Corpos em cura na câmara úmida	37
Figura 27. Índice de consistencia para a argamassa elaborada com cimento CII-F	38
Figura 28. Índice de consistencia para a argamassa elaborada com cimento CII-Z	39
Figura 29. Índice de consistencia para a argamassa elaborada com cimento CII-E	40
Figura 30. Índice de consistencia para a argamassa elaborada com cimento CIV	41
Figura 31. Índice de consistencia para a argamassa elaborada com cimento CPV-ARI.....	42
Figura 32. Resistência à compressão para argamassa elaborada com cimento CII-F	43

Figura 33. Resistência à compressão para argamassa elaborada com cimento CII-E	43
Figura 34. Resistência à compressão para argamassa elaborada com cimento CII-Z	44
Figura 35. Resistência à compressão para argamassa elaborada com cimento CIII	45
Figura 36. Resistência à compressão para argamassa elaborada com cimento CP V-ARI..	45
Figura 37. Resumo do ensaio de consistência.....	46
Figura 38. Resumo do ensaio de resistência à compressão	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição dos cimentos Portland utilizados.....	14
Tabela 2. Identificação das misturas para o ensaio de compressão	16
Tabela 3. Porcentagem retida acumulada da areia	29
Tabela 4. Caracterização dos cimentos	32
Tabela 5. Dosagem empregada	34
Tabela 6. Resumo das argamassas	35
Tabela 7. Resumo do índice de consistência para argamassa elaborada com cimento CII-F e desvio padrão.....	39
Tabela 8. Resumo do índice de consistência para argamassa elaborada com cimento CII-Z e desvio padrão.....	39
Tabela 9. Resumo do índice de consistência para argamassa elaborada com cimento CII-E e desvio padrão.....	40
Tabela 10. Resumo do índice de consistência para argamassa elaborada com cimento CIV e desvio padrão.....	41
Tabela 11. Resumo do índice de consistência para argamassa elaborada com cimento CPV e desvio padrão.....	42
Tabela 12. Resumo do ensaio de consistência.....	46
Tabela 13. Resumo do ensaio de resistência à compressão	47

SUMÁRIO

RESUMO	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	9
2. OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo geral	11
2.2 Objetivos específicos	11
3. SÍNTESE DA BIBLIOGRAFIA FUNDAMENTAL	12
3.1 Influência do tipo de cimento em argamassas	12
3.2 Cimentos utilizados na pesquisa	12
3.2.1 Cimento Portland CP II	12
3.2.2 Cimento Portland Pozolânico (CPIV)	13
3.2.3 Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI)	13
3.3 Água de amassamento para produção de argamassa	14
3.4 Água submetida a um campo magnético na produção de argamassas	14
3.5 O efeito da ASCM na tensão superficial da água	18
3.6 Água destilada	20
3.7 Água deionizada	21
3.8 Definição dos tratamentos magnéticos para a água de amassamento	22
4. MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1 Etapas da pesquisa	28
4.2 Caracterização dos materiais	28
4.2.1 Areia	29
4.2.2 Cimentos	30

4.2.2.1	Massa específica do cimento.....	30
4.2.2.2	Consistência da pasta normal	30
4.2.2.3	Tempo de pega.....	31
4.2.3	Água.....	32
4.2.3.1	Água da torneira	32
4.2.3.2	Destilação da água	32
4.2.3.3	Deionização da água	33
4.2.3.4	Magnetização da água	33
4.2.4	Dosagem.....	34
4.3	Caracterização da argamassa	35
4.3.1	Ensaio no estado fresco - Ensaio de consistência	35
4.3.2	Ensaio no estado endurecido - Ensaio de resistência à compressão.....	36
5	RESULTADOS.....	38
5.1	Introdução.....	38
5.2	Consistência no estado fresco.....	38
5.2.1	Resultados do ensaio de índice de consistência	38
5.2.1.1	Análise do índice de consistência do cimento CII-F	38
5.2.1.2	Análise do índice de consistência do cimento CII-Z.....	39
5.2.1.3	Análise do índice de consistência do cimento CII-E.....	40
5.2.1.4	Análise do índice de consistência do cimento CIV.....	40
5.2.1.5	Análise do índice de consistência do cimento CPV-ARI.....	41
5.3	Resistência no estado endurecido.....	42
5.3.1.1	Análise da resistência à compressão da argamassa com cimento CII-F .	42
5.3.1.2	Análise da resistência à compressão da argamassa com cimento CII-E .	43
5.3.1.3	Análise da resistência à compressão da argamassa com cimento CII-Z .	44

5.3.1.4	Análise da resistência à compressão da argamassa com cimento CPIV ...	44
5.3.1.5	Análise da resistência à compressão do cimento CPV-ARI	45
5.4	Resumo dos resultados	46
5.4.1	Consistência	46
5.4.2	Resistência à compressão	47
6	CONCLUSÕES	48
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A água é um elemento que cumpre um papel fundamental na produção de argamassa e concreto, a qual pode levar ao melhoramento da qualidade, aumento da eficiência, redução dos custos, assim como influenciar na hidratação do cimento e na cura do concreto.

Contudo, as únicas restrições prescritas, tratam sobre a presença de substâncias nocivas em teores acima dos estabelecidos pela NBR 137(ABNT, 1997), o qual pode influenciar no seu comportamento e alterar as suas propriedades.

Gomes (1999) construiu um equipamento que capaz de fornecer um campo magnético de 2000 T. Porém foi no ano de 2002 que as pesquisas realizadas pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) permitiram observar uma melhoria nas propriedades físicas e mecânico no estado fresco e endurecido do concreto pelo uso de água magnetizada.

Shynier *et al.* (2014) relata um aumento entre 10% e 22% na resistência à compressão mediante a elaboração de 63 corpos de prova de concreto cúbicos, de dosagem fixa (1:1,75:2;75). Os autores utilizaram relação água/cimento de 0,46, obtendo melhores resultados com um de campo magnético de 0,925 T. Dessa maneira, confirma que pode-se reduzir a relação água/cimento, melhorando a resistência do concreto, sua trabalhabilidade, devido um aumento na fluidez com a eliminação de uso de aditivos.

De acordo com Wei *et at.* (2017) a adição de materiais a misturas de concreto supõe maior custo e não garante a uniformidade na mistura, quanto à utilização de ASCM onde os clusters ou aglomerados das moléculas de água se transformam em estruturas menores devido à influência do campo magnético provocando efeitos positivos na fluidez do concreto e argamassas, são observados além que o custo da magnetização é menor, e o processo é simples, de ser realizado, o que implica na diminuição da poluição ambiental devido a que não existe mistura química.

Diante disso, esse trabalho propõe avaliar como etapa preliminar no desenvolvimento de concretos a utilização de água com magnetização prévia em argamassas, observando as alterações nas propriedades físicas- mecânicas das mesmas. Neste contexto a pesquisa será realizada através da fabricação de argamassas com diferentes tipos de cimento disponíveis no mercado, com e sem água submetida a um campo magnético e dessa forma obter um maior espectro de avaliação das propriedades mecânicas.

Em suma, este trabalho está focado no desenvolvimento da produção de argamassas fabricadas com água submetida a um campo magnético (ASCM), além de ser considerado um projeto viável economicamente, já que é sabido que a argamassa é um dos componentes que demanda mais custo para a fabricação de concretos, fornece melhorias na qualidade das propriedades tornando-se um produto que satisfaz as especificações de desempenho. No âmbito acadêmico contribuirá com a comunidade científica que enriquecerá as pesquisas que já tem sendo desenvolvida sobre a utilização da água submetida a um campo magnético em argamassas e posteriormente em concreto.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo avaliar os efeitos do uso de diferentes cimentos nas propriedades de argamassas fabricadas com água submetida a um campo magnético.

2.2 Objetivos específicos

Para alcançar tal objetivo, será necessário atingir os seguintes objetivos específicos:

- a) Comparar as propriedades físicas das argamassas feitas com o mesmo cimento com e sem adição de água submetida a campo magnético;
- b) Analisar a influência dos cimentos CII-E, CII-F, CII-Z, CIV e CPV na resistência à compressão e na consistência das argamassas produzidas.

3. SÍNTESE DA BIBLIOGRAFIA FUNDAMENTAL

3.1 Influência do tipo de cimento em argamassas

O cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes, que endurece sob ação da água. Uma vez endurecido torna-se estável e mesmo que seja novamente submetido à ação da água não se decompõe. É composto de clínquer, que é o principal componente que está presente em todos os cimentos Portland e de adições tais como: o gesso, escórias de alto-forno, os materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos que podem variar e definem os tipos de cimentos.

As propriedades de argamassas e concretos dependem das proporções e qualidade dos materiais com que são elaborados, não obstante o cimento é o elemento mais ativo do ponto de vista químico e é o principal responsável pela transformação da mistura dos materiais componentes dos concretos e argamassas no produto final desejado (ABCP, 2002).

Inicialmente no Brasil havia um único tipo de cimento Portland (CP), porém com os avanços da tecnologia e conhecimentos novos foram fabricados novos tipos, cada um com características próprias para determinados usos os quais permitem que se obtenham argamassas ou concretos com resistências e durabilidade desejadas.

3.2 Cimentos utilizados na pesquisa

Existem no Brasil cimento Portland com diferentes composições, os quais são regidos por normas da ABNT e serão apresentados com maior detalhe a seguir:

3.2.1 Cimento Portland CP II

Segundo a NBR 11578 (ABNT, 1991), esse tipo de cimento gera calor numa velocidade menor do que o gerado pelo cimento Portland Comum, portanto, é mais indicado em lançamento de concreto onde o grande volume de concretagem e a superfície relativamente pequena reduzem a capacidade de resfriamento da massa. Além disso, também apresenta melhor resistência ao ataque de sulfatos contidos no solo. Nesta pesquisa foram utilizados os cimentos a seguir:

- CII-F

Recebe a designação F, pois possui adição de material carbonático denominado fíler. Pode ser usado no preparo de argamassas de assentamento, revestimento, concreto simples, protendido e armado, pisos e pavimentos de concretos.

- CII-Z

Esse cimento recebe a designação Z devido à adição de material pozolânico. Geralmente é utilizado em obras subterrâneas, industriais e marítimas, além disso, são utilizados na produção de argamassas, concreto simples, armado e protendido. Trata-se de um cimento mais impermeável e por isso mais durável.

- CII-E

Recebe a designação de E devido conter na sua composição adição de escória granulada de alto-forno. É considerado como uma composição intermediária entre o cimento Portland comum e o cimento Portland com adições (alto forno e pozolânico) que lhe garante resistência inicial superior e coloração escura. O seu uso é indicado desde aplicações do início da obra ao final. Possui diversas aplicações como estruturas de uso geral e de concreto, argamassa e pavimentação.

3.2.2 Cimento Portland Pozolânico (CPIV)

Conforme a NBR 5736 (ABNT, 1991) surgiu devido à necessidade de reduzir o consumo de energia durante o processo de fabricação do cimento, assim uma das alternativas para conseguir tal objetivo foi a utilização de materiais pozolânicos. A adição de materiais pozolânicos modifica a microestrutura do concreto, diminuindo a permeabilidade e a porosidade capilar, aumentando a durabilidade do concreto. Possui uma composição de Clínquer e Gesso entre 45% a 85%, e de 15% a 50% em material pozolânico.

3.2.3 Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI)

Esse tipo de cimento tem a peculiaridade de atingir altas resistências nos primeiros dias de aplicação. Tal característica é devido a utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila a produção do Clínquer, além da moagem mais fina do cimento, de modo ao reagir com a água, adquirirá elevadas resistências em menos tempo. Conforme NBR 5733 (ABNT, 1991) possui uma composição em massa de 95% a 100% de Clínquer mais gesso, e uma percentagem de 0 a 5% de material carbonático. A continuação segue o resumo da composição dos cimentos utilizados na Tabela 1.

Tabela 1. Composição dos cimentos Portland utilizados

		Composição (% em massa)				
Tipo de	Sigla	Clínquer +Gesso	Escória	Material	Material	Norma
cimento			granulada de	pozolânico	carbonático	Brasileira
Portland			alto forno	(Sigla Z)	(Sigla F)	
			(Sigla E)			
Composto	CP II-E	94-56	6 - 34	-	0--10	NBR 11578
	CP II-Z	94-76	-	6-14	0--10	
	CP II-F	94-90	-	-	6--10	
Pozolânico	CP IV	85-45	-	15-50	0-5	NBR 5736
Alta Resistência inicial	CP V-ARI	100-95	0-5	-	0-5	NBR 5733

Fonte: ABCP (2002).

3.3 Água de amassamento para produção de argamassa

A água é um elemento fundamental na engenharia como componente na fabricação de argamassas que influencia na segurança e qualidade numa obra. A água de amassamento refere-se aquela utilizada para a produção de argamassas e consequentemente também de concreto. Mehta e Monteiro (2014) consideram que a quantidade de água é expressa através do fator água/cimento (i.e relação entre o peso da água e o peso do cimento), elemento fundamental, já que quanto mais água adicionada na fase de mistura, menor será a resistência mecânica do concreto e maior a sua porosidade.

Contudo, a água pode apresentar impurezas na sua composição, prejudicando a pega do cimento ou a resistência do concreto, por isso é necessária uma avaliação preliminar, além da verificação das propriedades químicas de acordo com a NBR 15900-1 (ABNT, 2009).

3.4 Água submetida a um campo magnético na produção de argamassas

Como já foi descrito, a água de amassamento é um fator fundamental que influencia as propriedades como a trabalhabilidade, e qualidade de argamassas e concretos. Pesquisas em outros países como na China, Estados Unidos, Índia e Japão, sobre a utilização de água submetida a um campo magnético revelaram ganhos significativos na resistência à compressão e redução na quantidade de cimento utilizado.

Yu *et al* (1998) demonstra que a variação da condutividade elétrica da água de 0,316 mS/cm mediante um carregador de elétron durante três dias, os corpos de prova de

concreto apresentam aumento da resistência a compressão em 5% em comparação ao concreto curado em água normal à mesma temperatura.

Su, Wu e Mar (2000) desenvolveram um equipamento onde submeteram a água a campos magnéticos de 0,8 até 1,35 T. Esta pesquisa demonstrou que a resistência à compressão das amostras de argamassas aumentou de 9 até 19% do que aqueles misturados com água de torneira. Da mesma forma, a resistência à compressão do concreto preparado com água submetida a campo magnético aumentou de 10 até 21% mais do que amostras elaboradas com água da torneira. Também é encontrado que a água submetida a um campo magnético melhorou a fluidez da argamassa, o qual foi observado no ensaio de abatimento de cone ou Slump Test.

Investigações realizadas por Su e Wu (2003) mostram economia de cimento da ordem de 5% e ganhos de resistência à compressão em torno de 10% para concretos fabricados com cinzas volantes, e 10% até 23% em concretos produzidos com cimentos com escória de alto forno.

Segundo Santos (2006) com a utilização de água submetida a campo magnético consegue-se um ganho na faixa de 8% na resistência à compressão do concreto, independentemente do tipo de agregado e do tipo de cimento empregado, além disso, em relação ao aspecto da trabalhabilidade houve um aumento que ficou evidenciado no ensaio do abatimento do cone.

Afshin, Gholizadeh e Khorshidi (2010) afirmam que com a utilização da água submetida a campos magnéticos aumenta em 45% a depressão no Slump Test em comparação a concretos fabricados com água da torneira. Também observaram que a resistência à compressão do concreto aumentou em 18%.

A pesquisa realizada por Ubale, Pandit e Wadekar (2016) constata que quando a água é submetida a um campo magnético demonstra melhorias na resistência à compressão no concreto de 12% a 14%, na cura do concreto, assim como também na trabalhabilidade, desta forma, a água pode ser usada para resolver a necessidade de reduzir o uso de cimento no concreto.

Abdel-Magid (2017) avaliou a influência do uso de ASCM na elaboração de 4 misturas de concreto (Tabela 2), nas quais uma era sem ASCM e as outras três com ASCM. Para a avaliação da resistência a compressão (Figura 1), foram elaborados 6 corpos de prova de forma cubica (150 mm x 150 mm x 150 mm) para cada mistura: A, B, C e D, os quais foram ensaiados nas idades de 7 e 28 dias. Constatou-se um aumento do 10% na

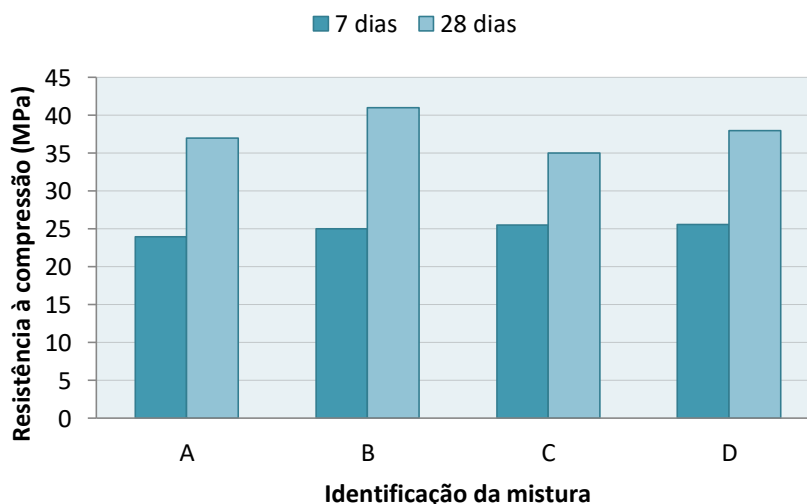
resistência à compressão nas amostras ensaiadas com ASCM, além disso observou-se que a redução da quantidade de cimento na faixa entre 12,5% até 25% em duas misturas elaboradas com ASCM não foi prejudicial referente à resistência a compressão, pois manteve-se aproximadamente constante.

Tabela 2. Identificação das misturas para o ensaio de compressão

Identificação da mistura	Tipo de água	Redução de cimento	Relação a/c
A	Normal	0.0%	0.45
B	ASCM	0.0%	0.45
C	ASCM	12.5%	0.5
D	ASCM	25.0%	0.55

Fonte: Abdel-Magid (2017)

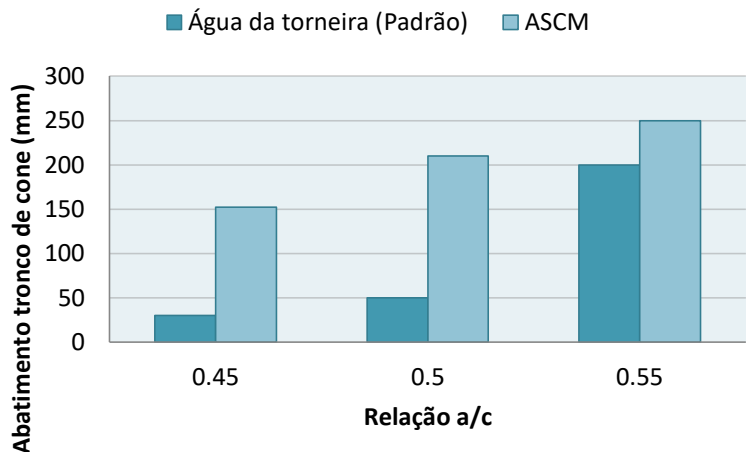
Figura 1. Variação da resistência à compressão de acordo com as misturas de concreto



Fonte: Abdel-Magid (2017).

Mediante o ensaio de abatimento de tronco de cone ou Slump Test observou-se um aumento na depressão de aproximadamente 400%, 300% e 25% para relações w/c de 0,45, 0,5, e 0,55 respetivamente mediante o uso de ASCM em comparação à utilização de água sem nenhum tipo de alteração (Figura 2).

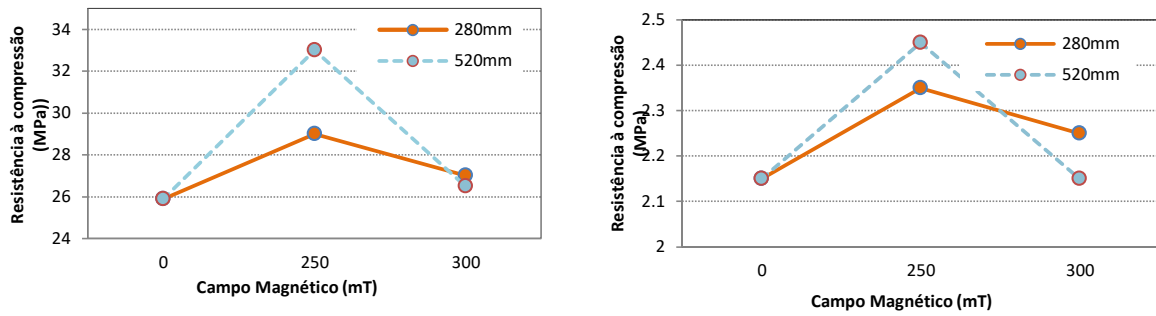
Figura 2. Variação de abatimento de tronco de cone respeito à relação a/c e tipo de água



Fonte: Abdel-Magid (2017).

Wei *et al* (2017), elaborou três tipos de mistura em corpos de prova cúbicos (150 mm x 150 mm x 150 mm), os quais foram submetidos a testes de resistência a compressão e tração aos 28 dias. Demonstrou que a ASCM possui mais atividade quanto à água da torneira no processo de hidratação do concreto, já que a ASCM pode penetrar mais facilmente nas partículas de cimento, assim a atividade fica melhorada e a hidratação torna-se mais profunda, efetiva e completa. No ensaio constata-se que o comprimento do campo magnético tem efeito direto sobre o aumento da resistência a compressão e de resistência à tração de 29,95% e 16,01% respectivamente devido à utilização de ASCM, utilizando um campo magnético de 260 mT, porém mediante a aplicação de um campo magnético diferente de 300mT exibe uma tendência contrária como mostra-se na Figura 3. Além disso, a tensão superficial da água ficou diminuída em 4,6%. Também demonstrou que a área de fissuração de concreto diminuiu em 72,2% graças ao uso de ASCM.

Figura 3. Resultados dos estudos de Wei *et al* de compressão e tração do concreto



O efeito do comprimento do campo magnético na força de compressão do concreto

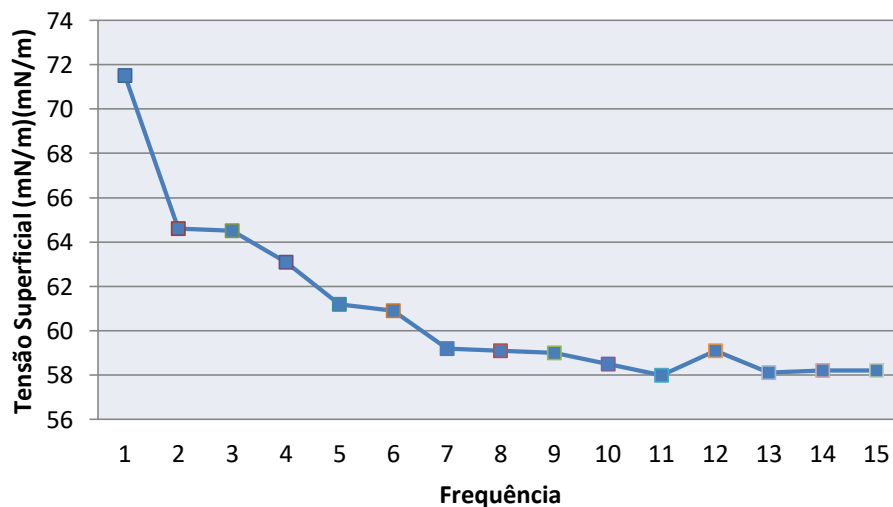
O efeito do comprimento do campo magnético na força de tração do concreto

Fonte: Wei *et al* (2017).

3.5 O efeito da ASCM na tensão superficial da água

Amiri e Dadkhah (2006) desenvolveram estudos sobre a mudança da tensão superficial em água de torneira e em água destilada. Verificou-se que essas mudanças dependem da frequência do tratamento magnético. A Figura 4 mostra o efeito que causa a aplicação de campos magnéticos na tensão superficial da água destilada e que se aproxima a certo valor após uns tratamentos ou ciclos. Essa tendência de mudança (redução no início e depois ficando constante) na tensão superficial após aplicação de mecanismos de magnetização, já foram relatadas por outros pesquisadores.

Figura 4. O efeito dos ciclos de magnetização (frequência) na tensão superficial da água



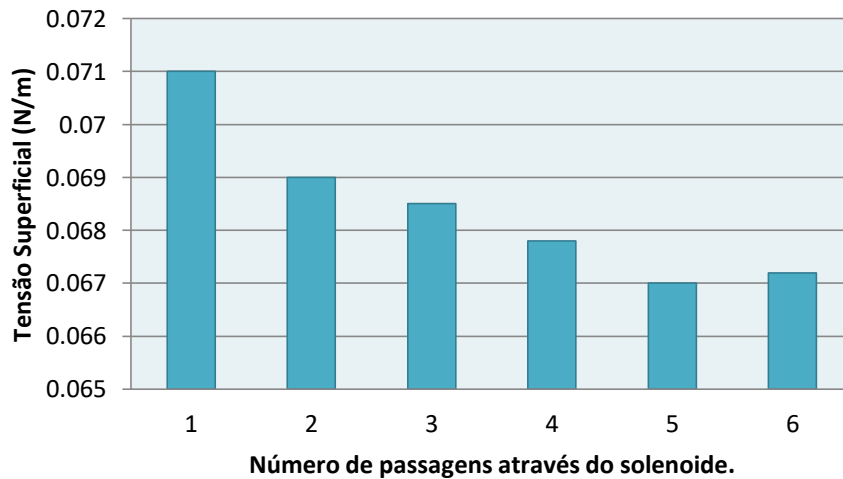
Fonte: Adaptado de Amiri e Dadkhah (2006).

Cho e Lee (2005) realizaram pesquisas para encontrar um tratamento físico na água dura que permita prevenir e remover a incrustação de minerais em tubos e paredes de permutadores de calor. O tratamento químico padrão requer manipulação e eliminação de produtos químicos perigosos, suscitando preocupações ambientais. Os autores avaliaram a utilização de um tratamento que seja benéfico não só para a indústria, mas também para o meio ambiente. Assim, fizeram o tratamento físico na água, aplicando campos magnéticos de 0,16 T, através de um ímã permanente e uma bobina de solenoide, para verificar o efeito desses dispositivos na mitigação de incrustação mineral. Para isso fizeram ensaios em água da torneira e água dura. Os resultados demonstraram que quando a água dura passa pelo dispositivo, devido a uma grande força do campo magnético, aumenta a solubilidade dos íons de cálcio dentro do permutador de calor, o que provoca que as incrustações de minerais possam ser removidas pelo próprio fluxo do permutador de calor.

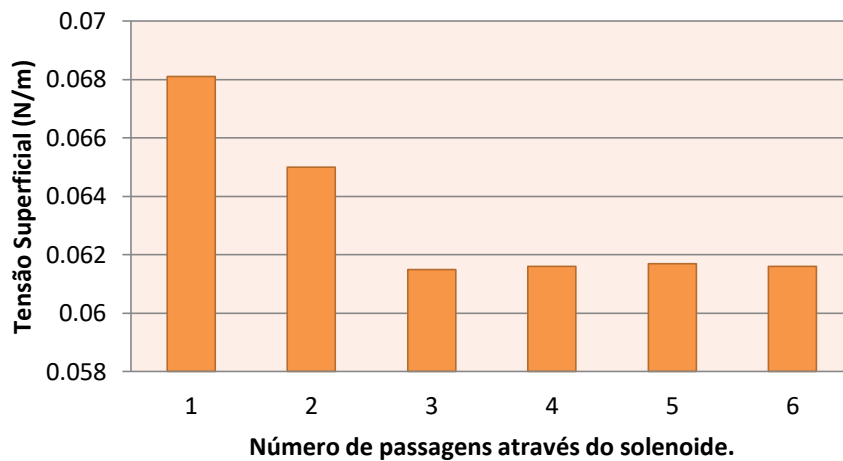
A Figura 5 mostra os resultados da tensão superficial da amostra tratada pelo dispositivo. No caso da água da torneira (ver Fig. 5a), a redução máxima da tensão superficial foi de 7,7%, e para o caso da água dura foi de 8,2% (ver Fig.5b), o qual sugere que a dureza da água não afeta a redução da tensão superficial. Após 30 passagens, a tensão superficial caiu 2% no máximo comparando-se com o estado inicial. Portanto, à medida que o número de passagens através do dispositivo de tratamento físico da água aumenta, o número e / ou o tamanho das partículas coloidais aumentam, reduzindo assim a tensão superficial da água.

Figura 5. Resultados da mudança da tensão superficial para água da torneira e água dura após aplicação de tratamento magnético.

a) Mudança da tensão superficial mediante o uso de água da torneira



b) Mudança da tensão superficial mediante o uso de água dura



Fonte: Adaptado de Cho e Lee (2005)

3.6 Água destilada

A destilação é a tecnologia mais antiga utilizada para produzir água pura. Consiste num procedimento simples que leva a água a um estado gasoso e assim recondensa-la para remover uma grande quantidade de impurezas.

A destilação difere de todas as demais formas de purificação da água, pois através desta, se remove a água das impurezas ao invés de remover as impurezas da água. A água é submetida a trocas de fases durante o processo, passando do estado líquido ao gasoso, onde é feita a remoção das impurezas e voltando novamente ao seu estado líquido.

Tudo que tenha um ponto de ebulição maior que da água (100°C), permanecerá no estado líquido, porém, a água e tudo aquilo que tenha um ponto de ebulição igual ou menor, será convertido em vapor.

Quando esse vapor é condensado, o único que ficam são os hidrogênios, oxigênio e umas poucas substâncias que fervem a menor temperatura que a água. A destilação remove efetivamente todos os sólidos ionizados, todos os orgânicos com um ponto de ebulição maior que a da água, todas as bactérias, e com ajuda de uma placa especial de desvio, todos os pirógenos. Porém os gases ionizados e os compostos orgânicos de baixo ponto de ebulição não são removidos por meio da destilação, mas elas podem ser removidas utilizando outras tecnologias.

3.7 Água deionizada

A deionização, ou também conhecida como desmineralização ou intercâmbio de íons, consiste na remoção de íons e minerais da água de entrada por meio de resinas sintéticas, as quais atraem os sais ionizados e dissolvidos. Estas resinas dividem-se em duas classificações: resinas catiônicas, que removem os íons positivos e resinas aniônicas que removem os íons negativos.

Os contaminantes iônicos encontram-se dissolvidos na estrutura química da água. Os sólidos e gases ionizados dissolvidos são extraídos utilizando resinas de intercâmbio iônico que atuam como pequenos ímãs retirando da água e substitui-os com íons de Hidrogênio e OH-, que finalmente se unem para formar água (H₂O).

A deionização, não remove as bactérias nem os micróbios. Para eliminar estes contaminantes, outros tipos de purificação são utilizados em conjunção com a deionização. A absorção usando carvão é utilizada para eliminar as matérias orgânicas e cloro. A filtração se utiliza para eliminar partículas mínimas e bactérias.

3.8 Definição dos tratamentos magnéticos para a água de amassamento

Nesta seção serão descritos alguns dos equipamentos que já tem sido dimensionado para o estudo da água submetida a um campo magnético.

Su e Wu (2003) desenvolveram uma máquina geradora de campo magnético para sua pesquisa (Figura 6), de dimensão de 120 x 60 x 72 cm³ e massa de 250 kg. A indução do campo magnético foi obtida por um eletroímã. A força do campo magnético que a máquina pode gerar varia de 0 T até 5 T (Considerando-se 0 T a água fornecida da torneira.) e uma corrente elétrica total de 15 A. A velocidade do fluxo da água que circula pela máquina é de 2000 l/h.

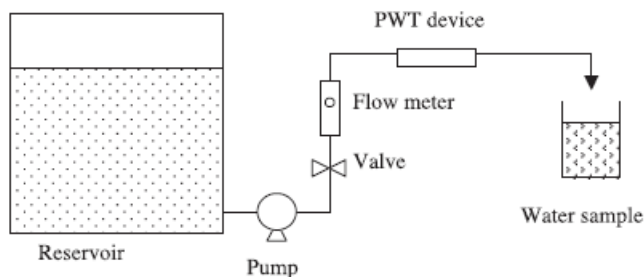
Figura 6. Máquina geradora de campo magnético



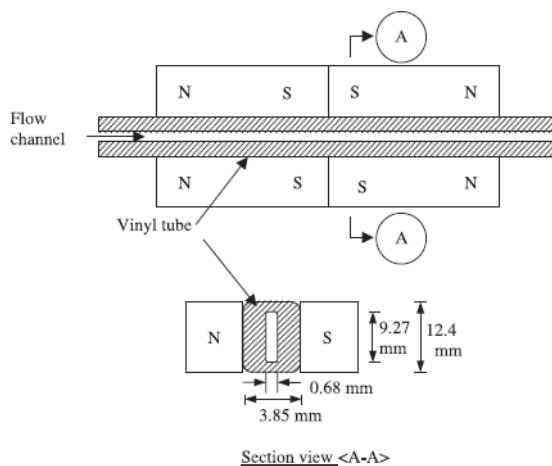
Fonte: Su e Wu (2003).

Cho e Lee (2005) desenvolveram o esquema mostrado na Figura 7.a para a preparação de amostras de água, o qual consiste em um reservatório, uma bomba, um medidor de vazão, uma válvula de controle e o dispositivo PWT usando ímãs permanentes ou uma bobina de solenoide. A Figura 7.b mostra a disposição e as dimensões de um dispositivo de magnetos (PMDU) fabricados na Universidade Drexel. Um total de 4 ímãs foram utilizados na pesquisa. A força do campo magnético foi de 0,16 T. A Figura 7.c mostra um esboço de um dispositivo de PWT usando a bobina de solenoide (SCED) a qual produziu uma corrente a uma frequência de 600 Hz.

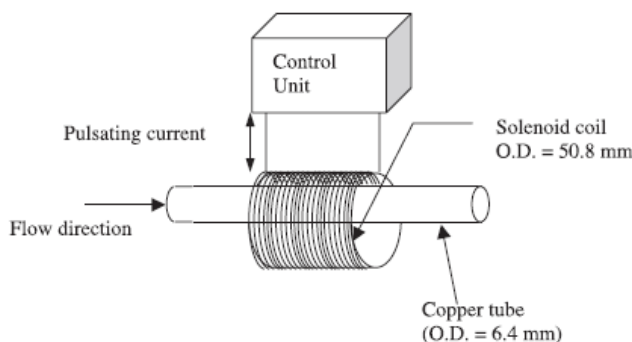
Figura 7. Tratamento magnético desenvolvido por Cho e Lee



a) Diagrama do esquema do sistema de tratamento magnético da água



b) Arranjo do magneto (PMDU)



c) Esquema do SCED e a bobina de solenoide

Fonte: Cho e Lee (2005).

De acordo com Guimarães (2006), a água é coletada diretamente da torneira e depositada num reservatório, o qual será submetida a um campo magnético de 0,8 T durante 6 horas, através da passagem por quatro células de indução, com uma vazão de bombeamento de 2940 l/h. Tal processo pode ser observado na Figura 8.

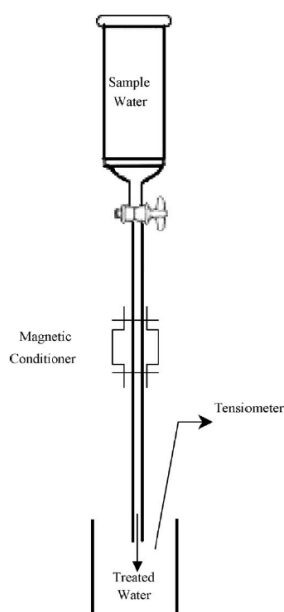
Figura 8. Protótipo de Indução Magnética de Guimarães



Fonte: Guimarães (2006).

Amiri e Dadkhah (2006) utilizaram o equipamento comercial modelo GMX400 (Figura 9) o qual possui 8 ímã de dimensões 2" x 1/2 " x 1/2" com força mínima de 0,38 T. A água foi fisicamente tratada através da passagem pela tubulação de PVC de 3/4".

Figura 9. Equipamento GMX400



Fonte: Amiri e Dadkhah (2006).

Santos (2006) propôs um modelo de máquina para submeter à água a um campo magnético entre 0,2 T e 0,4 T (Figura 10), o qual possui uma bomba com capacidade mínima de 2000l/h, altura de bombeamento do reservatório até o condicionador físico de 1 m, e velocidade de fluxo entre 900 m/h a 1200 m/h ou 0,25 m/s a 0,33 m/s.

Figura 10. Máquina para submeter água a diferentes campos magnéticos.



Fonte: Santos (2006)

Tawfic e Abdelmoez (2013) faz menção ao tratamento a um sistema de magnetização de água-AQUA-PYHD (APD), que é projetado para testes de laboratório o qual possui 1° polegada em ambas extremidades. O aparelho é avaliado para 75 GPM, além disso, cria campos magnéticos alternados de cerca de 0.75 T em torno de um núcleo magnético, que está suspenso dentro de uma carcaça de metal, a qual é de material aço-carbono. O núcleo magnético abriga um arranjo de ímãs de terras raras projetados para tratar a água à medida que flui em torno do núcleo como é mostrado na Figura 11.

Figura 11. Equipamento AQUA-PHYD (APD).



Fonte: Yasser (2013).

Na investigação realizada por Karam e Al-Shamali (2014) utilizaram um aparelho especial para geração do campo magnético de 1,2 T composto por um bomba de água, conforme a Figura 12, onde a água circula no aparelho durante 45 minutos com vazão de 9 m³/h.

Figura 12. Aparelho para gerar campo magnético em água.



Fonte: Karam e Al-Shamali (2014).

No mecanismo de magnetização apresentado por Bharath et al. (2016), a água circula através do magnetizador PERMAG N406 (Figura 13), e é submetido a um campo magnético de 1 T. A velocidade da água passada através do magnetizador foi de 1.32 m/s.

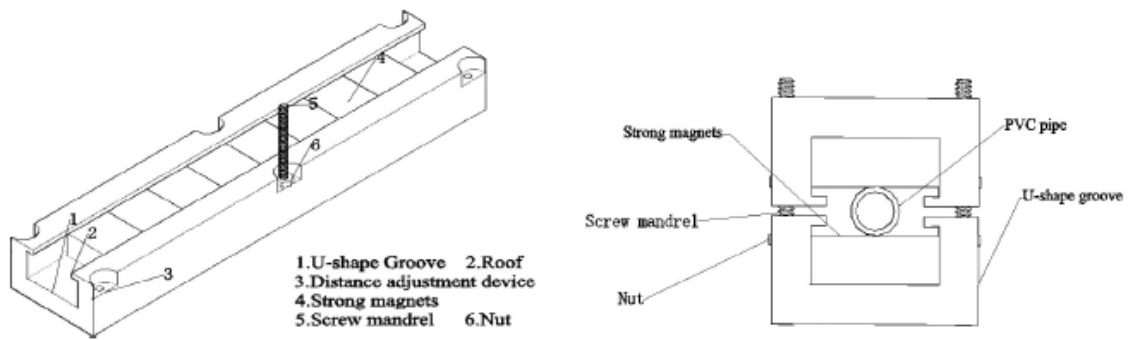
Figura 13. Modelo de magnetização da água PERMAG



Fonte: Bharath et al. (2016).

Wei et al (2017) desenvolveram o equipamento para submeter a água à magnetização com forças de 260 mT e 300 mT, com uma vazão de 0,8 m/s. O detalhe do aparelho é mostrado na Figura 14, com um comprimento de 600mm. O controle da força magnetiza é controlada ajustando duas ranhuras em forma de U. O ímã tem a dimensão de 40 x 25 x 10 mm. A vazão é ajustada manualmente.

Figura 14. Detalhe do aparelho de magnetização MWD-1



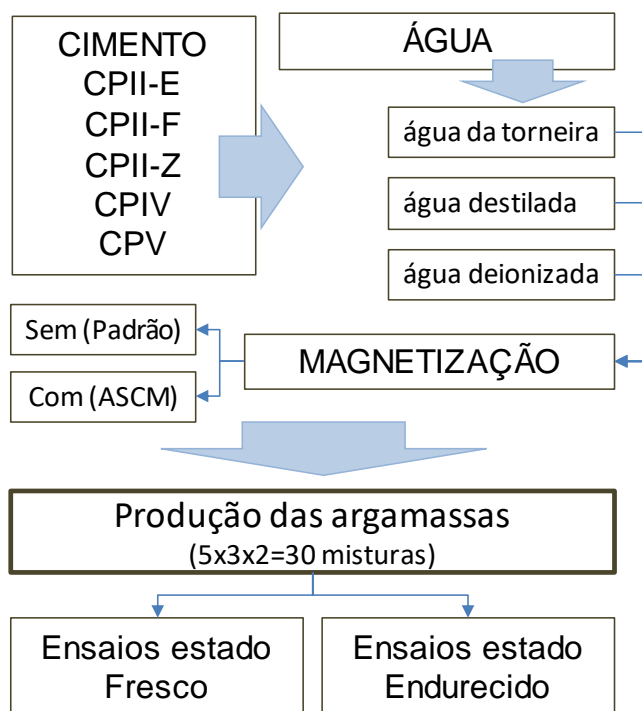
Fonte: *Wei et al* (2017)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Etapas da pesquisa

Na Figura 15 se apresenta a sequência dos processos que foram realizados no decorrer da pesquisa. A metodologia do presente trabalho envolveu duas etapas: a caracterização dos materiais utilizados para a produção da argamassa, e a caracterização da argamassa. Para alcançar os resultados foram realizados os seguintes ensaios: ensaio de consistência no estado fresco e ensaio de resistência à compressão no estado endurecido dessa maneira neste capítulo será apresentada a metodologia utilizada para viabilizar os objetivos proposto no presente trabalho.

Figura 15. Projeto de experimentos



4.2 Caracterização dos materiais

Para a fabricação das argamassas estudadas foram utilizados 5 tipos de cimento (CPII-E, CPII-F, CPII-Z, CPIV, CPV), areia comum, água da torneira, água destilada e água deionizada. Os três tipos de água ainda foram submetidos à magnetização. A seguir se especificam os materiais usados.

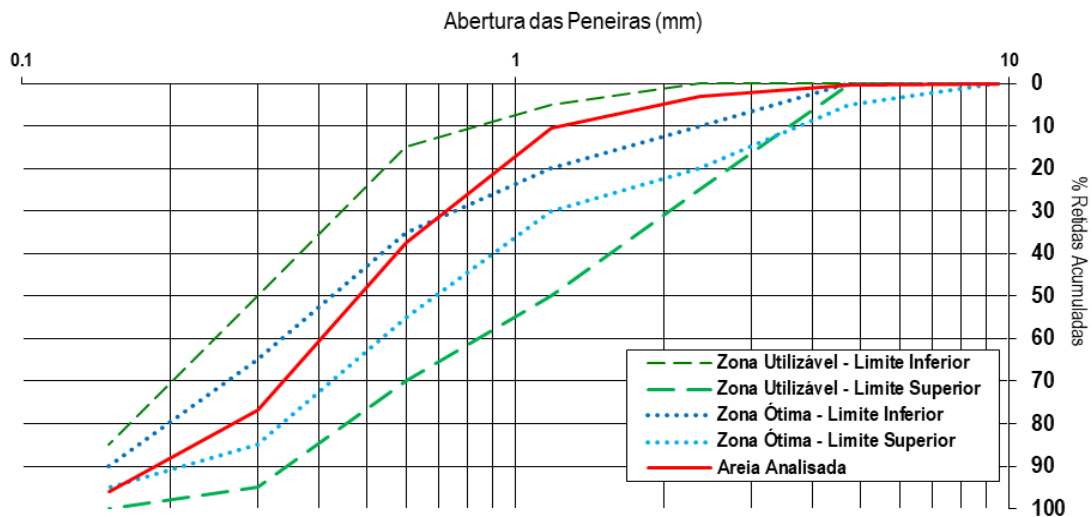
4.2.1 Areia

Realizou-se o ensaio de granulometria como segue na Tabela 3 para a caracterização da areia utilizada na fabricação das argamassas segundo a NBR NM248 (ABNT, 2003), para a realização da curva granulométrica da areia, como observado na Tabela 3.

Tabela 3. Porcentagem retida acumulada da areia

Peneira	Média
	% Retida Acumulada
Pnº 4 (4,75mm)	0.27
Pnº 8 (2,36mm)	3.12
Pnº 16 (1,18mm)	10.36
Pnº 30 (0,6mm)	37.35
Pnº 50 (0,3mm)	76.69
Pnº 100 (0,15mm)	96.04
Pnº 200 (75um)	99.52
FUNDO	100.00

Figura 16. Curva granulométrica da areia.



Foi realizado o ensaio de Chapman de acordo a NBR 9776 (ABNT, 1987) para a determinação da densidade específica com duas amostras, resultando uma densidade média de 2,6385 (gr/cm³).

4.2.2 Cimentos

Para a fabricação das argamassas foram utilizados diferentes cimentos: CII-F, CII-Z, CII-E, CII-V e CPV, por tanto com o objetivo de garantir a qualidade desejada e o atendimento às exigências das normas foi necessária a realização de ensaios de aceitação que examinam as propriedades do cimento a ser utilizado, os quais seguem a continuação:

4.2.2.1 Massa específica do cimento

Realizou-se o ensaio através do frasco de Chapman, o qual é normatizado pela NBR 9776 (ABNT, 1987). Obteve uma média dos resultados que é apresentada na Tabela 4.

Figura 17. Ensaio de massa específica do cimento no frasco de Chapman



4.2.2.2 Consistência da pasta normal

Para a análise foi preparada uma pasta de cimento pura, de consistência normalizada (500 gr de cimento e adição da água da consistência desejada). Assim, foi necessária a determinação da quantidade de água na pasta para cada cimento que resulte na consistência desejada, para poder realizar o ensaio para a determinação dos tempos de início e fim de pega. A consistência é medida pelo aparelho de Vicat, mostrado na Figura 18 utilizando uma sonda de 10 mm de diâmetro fixada ao suporte da agulha, cujos resultados são apresentados na Tabela 4.

Figura 18. Aparelho de Vicat



4.2.2.3 Tempo de pega

Com a quantidade de água estabelecida mediante o ensaio de consistência da pasta normal para cada cimento, foram medidos os tempos de início e fim de pega (Tabela 4) com a utilização do aparelho automático Vicamatic apresentado na Figura 19.

Figura 19. Vicamatic



Tabela 4. Caracterização dos cimentos

Marca	Tipo de Cimento	γ médio (g/cm ³)	Água de consistência (ml)	Tempo de início de pega (h:min)	Tempo de fim de pega (h:min)
Caue	CPII-E-32	2,93	145	02:35	04:35
Supremo	CPII-F-32	3,06	126	03:08	05:08
Itambé	CPII-Z-32	3,00	137	04:14	05:07
Liz	CP IV-32	2,93	146	02:43	04:51
Votorantim	CP V ARI	3,04	175	02:37	04:57

4.2.3 Água

4.2.3.1 Água da torneira

A água utilizada é proveniente do sistema público de abastecimento da cidade de Foz do Iguaçu-SANEPAR, a qual cumpre com os requisitos e padrões necessários estabelecidos pela NBR 15900-1 (ABNT, 2009).

4.2.3.2 Destilação da água

O processo de destilação da água foi realizado na máquina mostrada na Figura 20 no Laboratório de Química da UNILA. Para a realização do presente trabalho foi utilizada água destilada sem ser submetida a processo de magnetização (padrão), e também foi usado água destilada submetida a um campo magnético de 1 T durante 1 hora.

Figura 20. Máquina para destilar a água

4.2.3.3 Deionização da água

O processo de deionização da água foi realizado na máquina apresentada na Figura 21 no Laboratório de Química da UNILA. Para a realização do presente trabalho foi utilizada água deionizada sem ser submetida a processo de magnetização (padrão), e também foi usada água deionizada submetida a um campo magnético de 1 T durante 1 hora.

Figura 21. Máquina para deionizar a água



4.2.3.4 Magnetização da água

Nesta pesquisa foi utilizado o aparelho de magnetização (Figura 22), no qual foi utilizado um eletroímã, onde a água foi submetida a um campo magnético de 1 T durante 1 hora. O esquema do processo pode ser observado na Figura 23. A velocidade da água passada através do magnetizador é de 10 cm³/min e a vazão são reguláveis. Para o presente trabalho foram tratados os três tipos de águas analisadas: torneira, destilada e deionizada.

Figura 22. Processo da água sendo submetido a campo magnético e eletroímã.

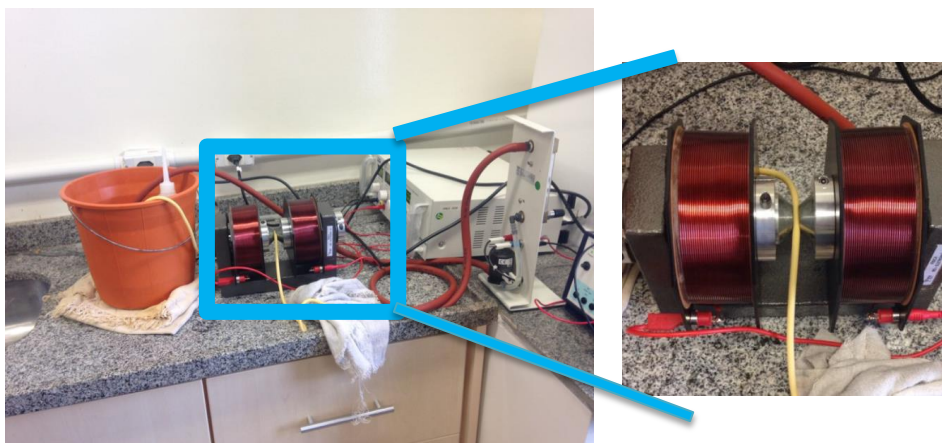
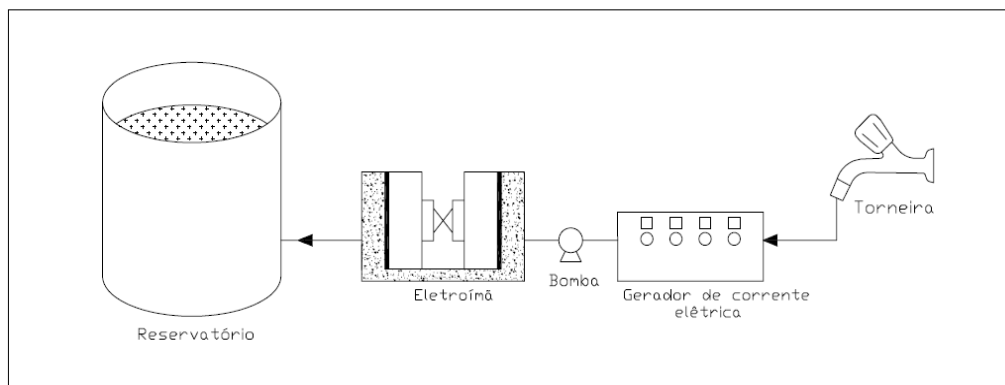


Figura 23. Diagrama do esquema do sistema de tratamento magnético da água



4.2.4 Dosagem

O traço empregado foi de 1:3 (uma parte de cimento e três partes de areia), utilizando cinco tipos de cimentos diferentes: CP II-E, CP II-F, CP II-Z, CP IV, CP V-ARI. Sendo assim, a partir do traço definido foi possível a fabricação das diferentes argamassas, como segue na Tabela 5.

Para facilitar os procedimentos, a areia foi previamente colocada na estufa e depois foi armazenada em bandejas de metal a temperatura ambiente para sua adequada utilização. Além disso, foi pesada e armazenada em sacolas de plástico com fechamento hermético, para sua rápida utilização. Similar procedimento foi realizado com os cimentos, os quais também foram previamente pesados e armazenados em sacolas de plástico, colocando-se a identificação. A água foi trazida do Laboratório de Química da UNILA e armazenada em garrafas pet.

No total foram efetuadas 30 argamassas diferentes, conforme Tabela 6, as quais foram preparadas segundo o procedimento da NBR 13276 (ABNT, 2016). No misturador mecânico foi colocada a areia, o cimento, e a água. Os corpos de prova foram identificados segundo o nome do cimento, a intensidade do campo magnético para sua magnetização (Figura 25), e finalmente colocados na câmara úmida aguardando a idade para sua ruptura (Figura 26).

Tabela 5. Dosagem empregada

Material (g)			
Cimento	Areia	Água	w/c
1050	3150	525	0,5

Tabela 6. Resumo das argamassas

Tipo de Cimento	Tipo de alteração	Tipo de água	Identificação da argamassa	CP's ensaiados aos 7 dias	CP's ensaiados aos 28 dias	Quantidade de CP's por argamassa
CPII-F	Padrão (Torneira)	Torneira	CPII-F AT	5	5	10
		Destilada	CPII-F ADT	5	5	10
		Deionizada	CPII-F ADE	5	5	10
	ASCM	Torneira	CPII-F AT 1T	5	5	10
		Destilada	CPII-F ADT 1T	5	5	10
		Deionizada	CPII-F ADE 1T	5	5	10
CPII-Z	Padrão (Torneira)	Torneira	CPII-Z AT	5	5	10
		Destilada	CPII-Z ADT	5	5	10
		Deionizada	CPII-Z ADE	5	5	10
	ASCM	Torneira	CPII-Z AT 1T	5	5	10
		Destilada	CPII-Z ADT 1T	5	5	10
		Deionizada	CPII-Z ADE 1T	5	5	10
CPII-E	Padrão (Torneira)	Torneira	CPII-E AT	5	5	10
		Destilada	CPII-E ADT	5	5	10
		Deionizada	CPII-E ADE	5	5	10
	ASCM	Torneira	CPII-E AT 1T	5	5	10
		Destilada	CPII-E ADT 1T	5	5	10
		Deionizada	CPII-E ADE 1T	5	5	10
CPIV	Padrão (Torneira)	Torneira	CPIV AT	5	5	10
		Destilada	CPIV ADT	5	5	10
		Deionizada	CPIV ADE	5	5	10
	ASCM	Torneira	CPIV AT 1T	5	5	10
		Destilada	CPIV ADT 1T	5	5	10
		Deionizada	CPIV ADE 1T	5	5	10
CPV-ARI	Padrão (Torneira)	Torneira	CPV AT	5	5	10
		Destilada	CPV ADT	5	5	10
		Deionizada	CPV ADE	5	5	10
	ASCM	Torneira	CPV AT 1T	5	5	10
		Destilada	CPV ADT 1T	5	5	10
		Deionizada	CPV ADE 1T	5	5	10
					TOTAL DE CP's ENSAIADOS	300

4.3 Caracterização da argamassa

4.3.1 Ensaio no estado fresco - Ensaio de consistência

A argamassa no estado fresco é caracterizada como um material recém-misturado, sendo que o mesmo se apresenta no estado plástico, ou seja, ainda com a capacidade de propiciar a moldagem, com aplicação de cargas, permanecendo moldado após cessar a aplicação de carga. As principais características da argamassa nesta fase podem ser apresentadas como trabalhabilidade e coesão.

A NBR 13276 (ABNT, 2016), especifica o método para determinar o índice de consistência da argamassa na mesa de consistência (Figura 24) a ser utilizada na realização de ensaios necessários à caracterização do material. A especificação da trabalhabilidade indica que as argamassas devem ser especificadas por classe de consistência.

Figura 24. Mesa, molde tronco-cônico, soquete para ensaio de consistência e misturador mecânico.



4.3.2 Ensaio no estado endurecido - Ensaio de resistência à compressão

Foi realizada moldagem dos 300 corpos de prova de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura conforme NBR 7215 (ABNT, 1996), para posteriormente submetê-los ao ensaio de resistência à compressão axial simples conforme mostrado na Figura 25. Para isso foram elaborados 20 corpos de prova (CP), para cada uma das 30 misturas de argamassa, onde 10 deles utilizaram água submetida a campo magnético e 10 corpos de prova foram utilizados água sem nenhum tipo de tratamento magnético, nos quais cada grupo de 10 corpos de prova, 5 foram submetidos ao ensaio de resistência aos 7 dias de idade, e os outros 5 restantes aos 28 dias de idade.

Figura 25. Máquina de ensaio de compressão e moldagem dos corpos de prova.



Figura 26. Corpos em cura na câmara úmida



5 RESULTADOS

5.1 Introdução

Este capítulo apresenta os resultados dos ensaios na caracterização das argamassas em seu estado fresco através do índice de consistência e apresenta os resultados no estado endurecido de resistência à compressão das argamassas. As argamassas foram elaboradas com diferentes águas: torneira, destilada, deionizada, tanto em estado padrão, como os diferentes tipos de água submetidos ao campo magnético de 1T durante 1 hora, como já apresentadas na Tabela 6.

5.2 Consistência no estado fresco

5.2.1 Resultados do ensaio de índice de consistência

Os valores do ensaio de índice de consistência que foram efetuados para as 30 argamassas diferentes produzidas são apresentados a seguir:

5.2.1.1 Análise do índice de consistência do cimento CII-F

Mediante o uso de ASCM não se observaram variações no índice de consistência, como pode ser observado na Figura 27. Tanto para a água da torneira, deionizada e quanto para água destilada, não se observa um aumento em termos de fluidez para o tempo de exposição magnética de 1h com 1T.

Figura 27. Índice de consistência para a argamassa elaborada com cimento CII-F

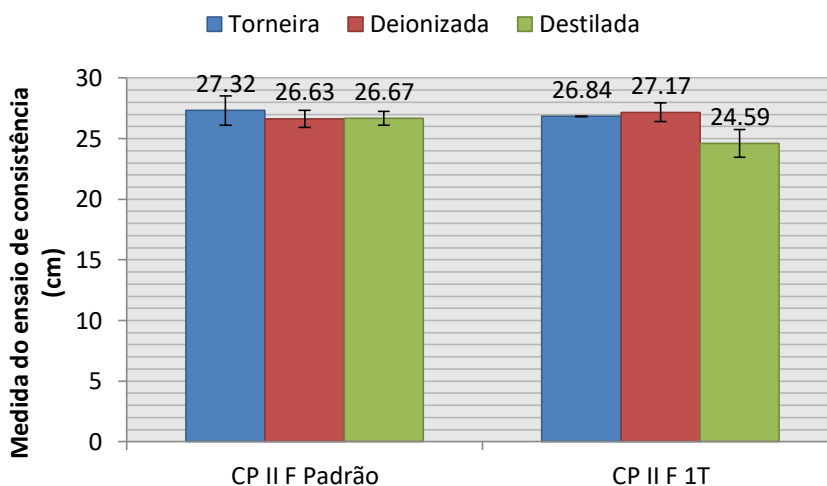


Tabela 7. Resumo do índice de consistência para argamassa elaborada com cimento CII-F e desvio padrão

Tipo de água	CII-F 0T			CII-F 1T		
	Torneira	Deionizada	Destilada	Torneira	Deionizada	Destilada
Argamassa	CII-F AT	CII-F ADE	CII-F ADT	CII-F AT 1T	CII-F ADE 1T	CII-F ADT 1T
Abatimento de tronco de cone (cm)	27,32	26,63	26,67	26,84	27,17	24,59
Desvio padrão	1,2	0,72	0,58	0,01	0,78	1,15

5.2.1.2 Análise do índice de consistência do cimento CII-Z

O uso de ASCM não mudou a consistência da água da torneira, tampouco da água destilada, já que os valores resultaram serem semelhantes independentes do uso de ASCM. Já usando água deionizada submetida a um campo magnético observou-se aumento na consistência perto de 20%, o qual pode ser observado na Figura 28.

Figura 28. Índice de consistência para a argamassa elaborada com cimento CII-Z

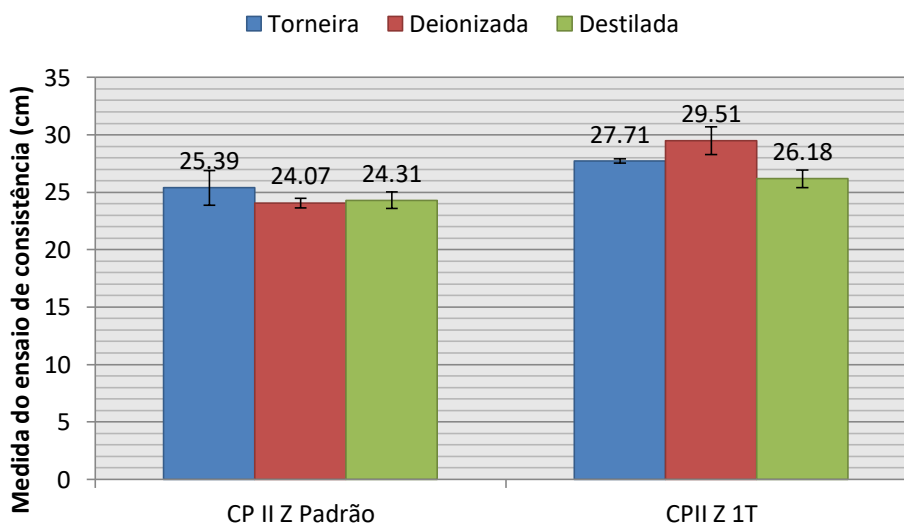


Tabela 8. Resumo do índice de consistência para argamassa elaborada com cimento CII-Z e desvio padrão

Tipo de água	CII-Z 0T			CII-Z 1T		
	Torneira	Deionizada	Destilada	Torneira	Deionizada	Destilada
Argamassa	CII-Z AT	CII-Z ADE	CII-Z ADT	CII-Z AT 1T	CII-Z ADE 1T	CII-Z ADT 1T
Abatimento de tronco de cone (cm)	25,39	24,07	24,31	27,71	29,51	26,18
Desvio padrão	1,52	0,42	0,72	0,18	1,21	0,76

5.2.1.3 Análise do índice de consistência do cimento CII-E

Na água da torneira observou-se um aumento da consistência cerca de 10% graças ao uso de ASCM. Na água deionizada observou-se um aumento da consistência cerca de 20% devido ao uso de ASCM, porém na argamassa elaborada com água destilada, não houve um aumento significativo da consistência pelo uso de ASCM, assim manteve-se semelhante. Os resultados são apresentados na Figura 29.

Figura 29. Índice de consistência para a argamassa elaborada com cimento CII-E

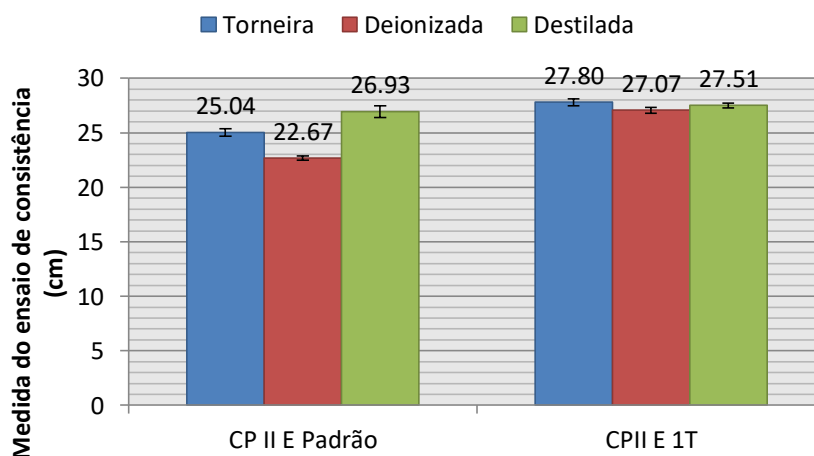


Tabela 9. Resumo do índice de consistência para argamassa elaborada com cimento CII-E e desvio padrão

Tipo de água	CPII-E 0T			CPII-E 1T		
	Torneira	Deionizada	Destilada	Torneira	Deionizada	Destilada
Argamassa	CPII-E AT	CPII-E ADE	CPII-E ADT	CPII-E AT 1T	CPII-E ADE 1T	CPII-E ADT 1T
Abatimento de tronco de cone (cm)	25,04	22,67	26,93	27,80	27,07	27,51
Desvio padrão	0,35	0,18	0,54	0,32	0,27	0,21

5.2.1.4 Análise do índice de consistência do cimento CPIV

Mediante o uso de ASCM na água de torneira observou-se um aumento na faixa dos 10% da consistência. Porém mediante o uso de água deionizada não se constatou mudanças na consistência uma vez que os resultados obtidos foram de valores semelhantes. Na argamassa fabricada com água destilada observou-se um aumento na faixa dos 10% da consistência devido ao uso de ASCM, apresentado na Figura 30.

Figura 30. Índice de consistência para a argamassa elaborada com cimento CPIV

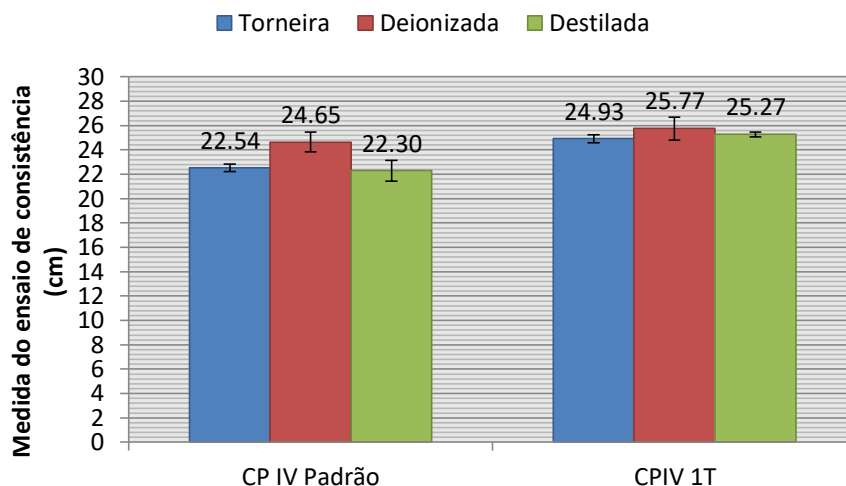


Tabela 10. Resumo do índice de consistência para argamassa elaborada com cimento CPIV e desvio padrão

Tipo de água	CPIV 0T			CPIV 1T		
	Torneira	Deionizada	Destilada	Torneira	Deionizada	Destilada
Argamassa	CPIV AT	CPIV ADE	CPIV ADT	CPIV AT 1T	CPIV ADE 1T	CPIV ADT 1T
Abatimento de tronco de cone (cm)	22,54	24,65	22,30	24,93	25,77	25,27
Desvio padrão	0,32	0,81	0,87	0,33	0,94	0,20

5.2.1.5 Análise do índice de consistência do cimento CPV-ARI

Na água de torneira observou-se um aumento na consistência da ordem do 10% devido ao uso de ASCM, descarta-se a influência da temperatura para esse aumento da consistência, pois ambas argamassas foram elaboradas no mesmo dia. Já no caso da água deionizada não foram observadas mudanças devido ao uso de ASCM. Por último no caso de água destilada observou-se um aumento na consistência da argamassa cerca do 10% graças ao uso de ASCM e também se descarta a influência da temperatura nos resultados devido a que ambas foram elaboradas no mesmo dia. Os resultados podem ser observados na Figura 31 e Tabela 11 com seu respectivo desvio padrão.

Figura 31. Índice de consistência para a argamassa elaborada com cimento CPV-ARI

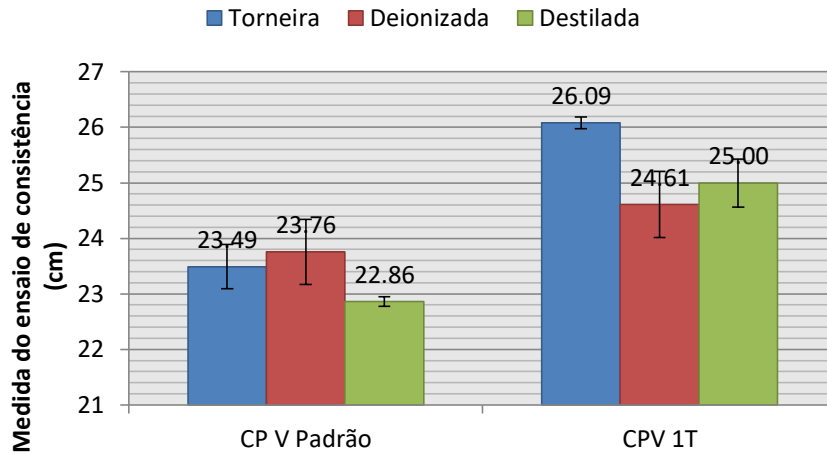


Tabela 11. Resumo do índice de consistência para argamassa elaborada com cimento CPV e desvio padrão

Tipo de água	CPV 0T			CPV 1T		
	Torneira	Deionizada	Destilada	Torneira	Deionizada	Destilada
Argamassa	CPV AT	CPV ADE	CPVF ADT	CPV AT 1T	CPV ADE 1T	CPV ADT 1T
Abatimento de tronco de cone (cm)	23,49	23,76	22,86	26,09	24,61	25,00
Desvio padrão	0,40	0,59	0,08	0,11	0,59	0,43

5.3 Resistência no estado endurecido

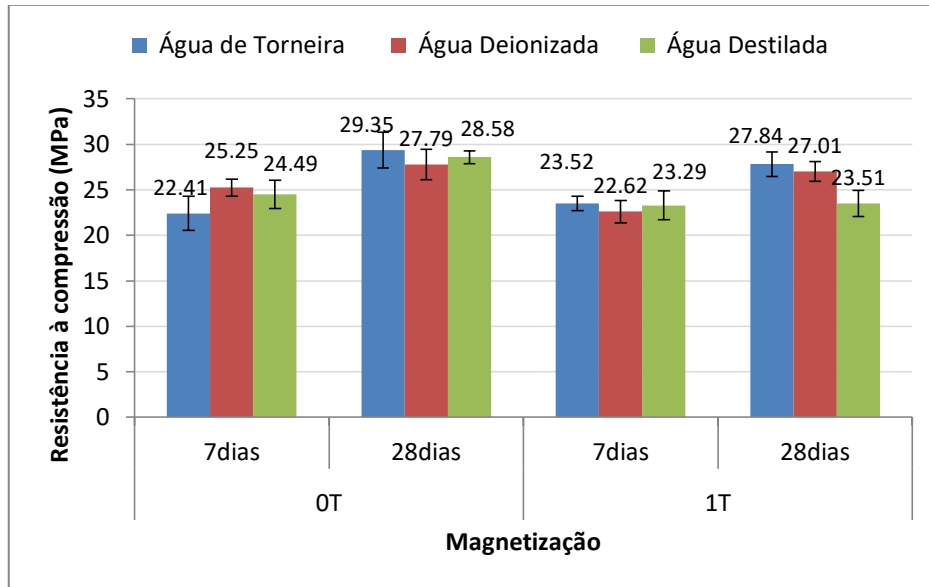
5.3.1 Resultados do ensaio de resistência à compressão

Os resultados do ensaio de resistência a compressão que foram efetuados para os 300 corpos de prova produzidos com cinco tipos diferentes de cimento se mostram a continuação para as idades de 7 e 28 dias.

5.3.1.1 Análise da resistência à compressão da argamassa com cimento CPII-F

Mediante a utilização do cimento CPII-F não foram observadas mudanças na resistência à compressão tanto na fabricação de argamassas com água padrão tanto as águas que foram submetidas à ação de um campo magnético de 1 T o qual pode ser observado na Figura 32. Em todas as argamassas houve um aumento da resistência aos 28 dias independentemente do tipo de água utilizado, com exceção da argamassa fabricada com água destilada onde a resistência manteve-se com valores muito similares na idade de 28 dias. Possivelmente houve erro na medição da resistência dessa argamassa, já que as demais argamassas tiveram comportamentos semelhantes.

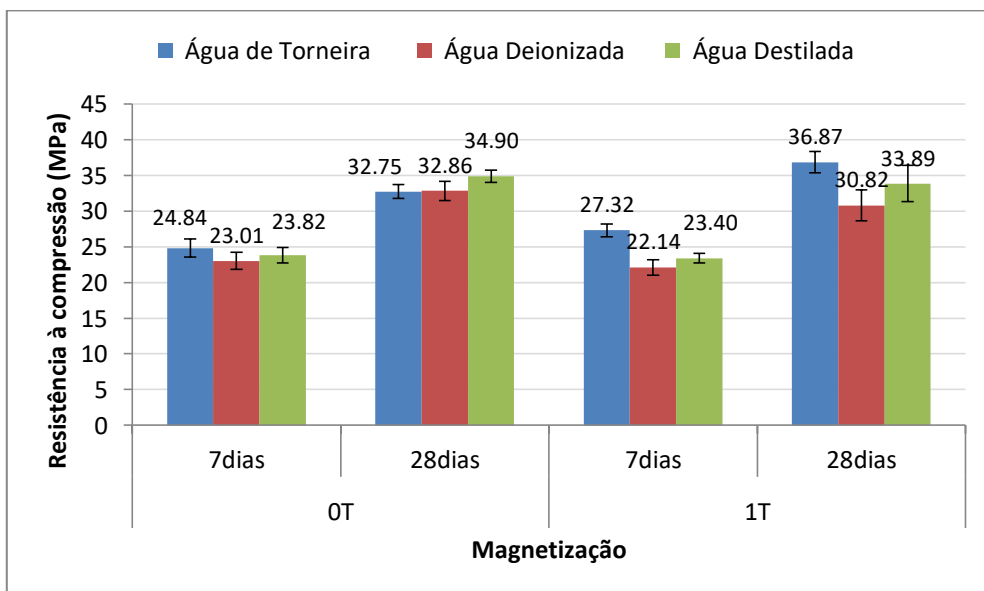
Figura 32. Resistência à compressão para argamassa elaborada com cimento CPII-F



5.3.1.2 Análise da resistência à compressão da argamassa com cimento CPII-E

Na fabricação da argamassa utilizando água da torneira na idade de 7 dias houve um aumento cerca do 10% na resistência à compressão, e aos 28 dias de idade apresentou um aumento na resistência à compressão um pouco superior do 10% na resistência a compressão graças ao uso de ASCM. Mediante o uso de água deionizada e destilada, tanto na idade de 7 dias e 28 dias, a utilização de ASCM não fez diferença, pois, seus resultados se mantiveram com valores semelhantes. Os resultados são apresentados na Figura 33.

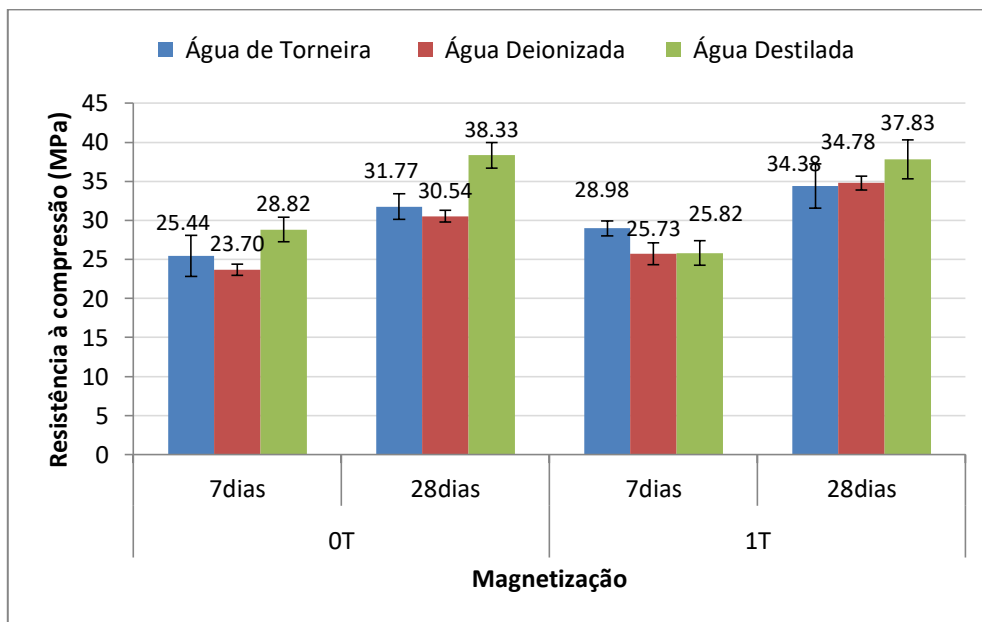
Figura 33. Resistência à compressão para argamassa elaborada com cimento CPII-E



5.3.1.3 Análise da resistência à compressão da argamassa com cimento CPII-Z

Na utilização de água de torneira houve um aumento na resistência à compressão cerca de 10% aos 7 dias de idade devido ao uso de ASCM e manteve-se constante para os 28 dias de idade. Nas argamassas elaboradas com água deionizada na idade de 7 dias não foram observadas mudanças, porém na idade de 28 dias observou-se um aumento da resistência a compressão foram superiores a 10% devido ao uso de ASCM. Com a utilização de água destilada a magnetização da água não fez mudanças na resistência à compressão, pois os valores se mantiveram semelhantes. Os resultados são apresentados na Figura 34.

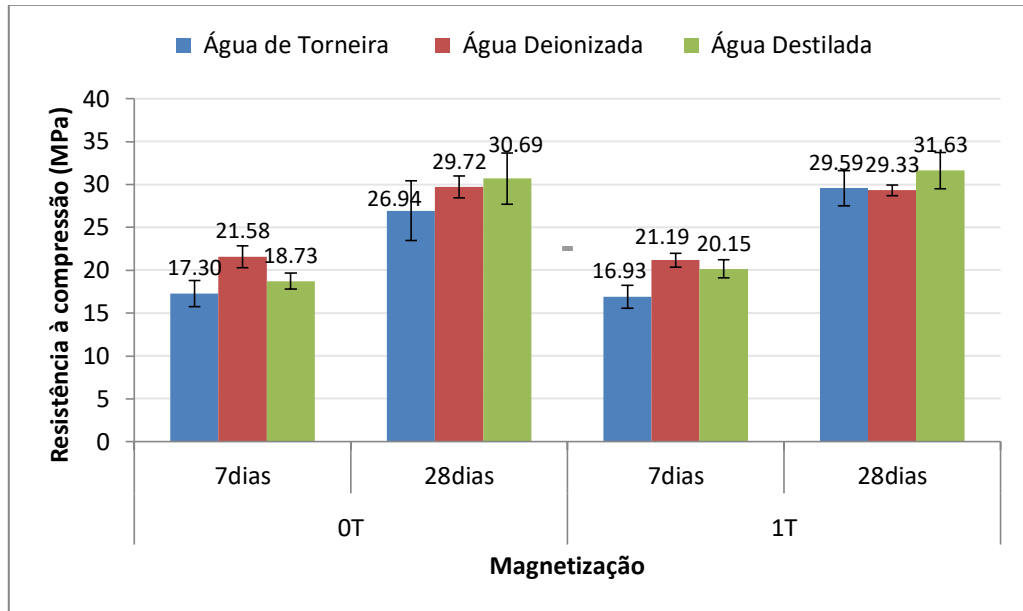
Figura 34. Resistência à compressão para argamassa elaborada com cimento CPII-Z



5.3.1.4 Análise da resistência à compressão da argamassa com cimento CPIV

Na argamassa elaborada com cimento CPIV não foram registradas mudanças de comportamento da resistência à compressão mediante o uso de ASCM, já que tanto a água da torneira, deionizada e destilada apresentaram o mesmo comportamento nas idades de 7 e 28 dias. Os resultados são apresentados na Figura 35.

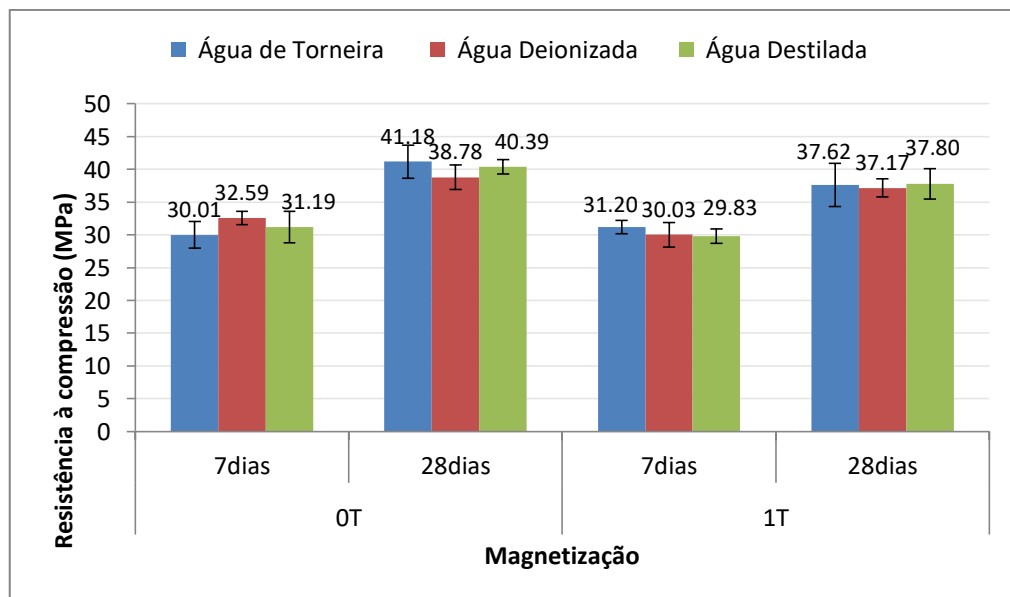
Figura 35. Resistência à compressão para argamassa elaborada com cimento CPV



5.3.1.5 Análise da resistência à compressão do cimento CPV-ARI

Na fabricação da argamassa com cimento CPV-ARI observou-se que a utilização de ASCM não faz diferença na resistência a compressão, tanto para água da torneira, deionizada e destilada em ambas as idades de 7 e 28 dias, o qual pode ser observado na Figura 36.

Figura 36. Resistência à compressão para argamassa elaborada com cimento CP V-ARI



5.4 Resumo dos resultados

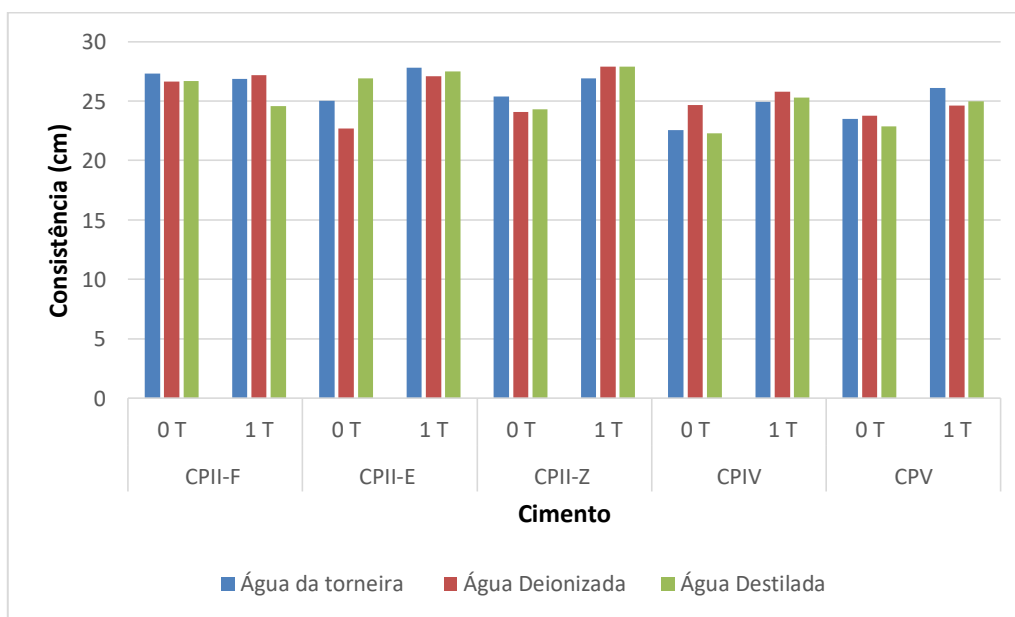
5.4.1 Consistência

A seguir na Tabela 12 e Figura 37 são mostrados os resultados do ensaio de consistência de todas as argamassas.

Tabela 12. Resumo do ensaio de consistência

Consistência (cm)				
Argamassa	Magnetização	Tipo de água		
		Torneira	Deionizada	Destilada
CPII-F	0 T	27,3	26,6	26,7
	1 T	26,8	27,2	24,6
CPII-E	0 T	25,0	22,7	26,9
	1 T	27,8	27,1	27,5
CPII-Z	0 T	25,4	24,1	24,3
	1 T	26,9	27,9	27,9
CPIV	0 T	22,5	24,7	22,3
	1 T	24,9	25,8	25,3
CPV	0 T	23,5	23,8	22,9
	1 T	26,1	24,6	25,0

Figura 37. Resumo do ensaio de consistência



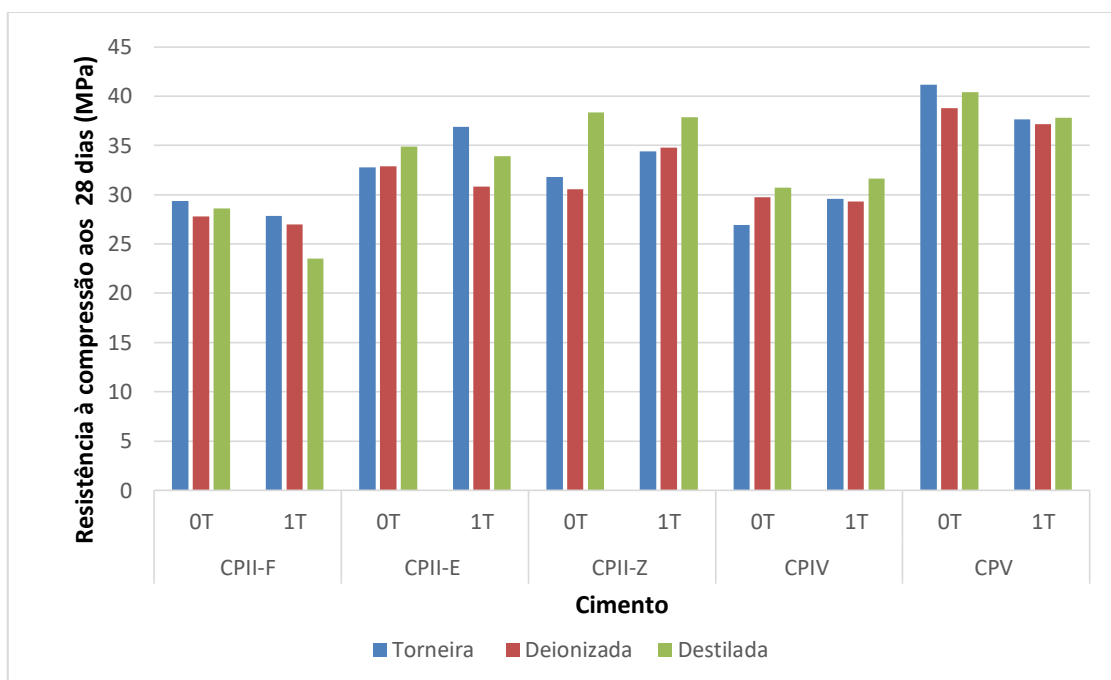
5.4.2 Resistência à compressão

A seguir na Tabela 13 e Figura 38 apresentam-se os resultados de todos os ensaios a compressão que foram submetidas as 30 argamassas.

Tabela 13. Resumo do ensaio de resistência à compressão

Resistência (MPa)				
Argamassa	Magnetização	Tipo de água		
		Torneira	Deionizada	Destilada
CPII-F	0T	29,35	27,79	28,58
	1T	27,84	27,01	23,51
CPII-E	0T	32,75	32,86	34,90
	1T	36,87	30,82	33,89
CPII-Z	0T	31,77	30,54	38,33
	1T	34,38	34,78	37,83
CPIV	0T	26,94	29,72	30,69
	1T	29,59	29,33	31,63
CPV	0T	41,18	38,78	40,39
	1T	37,62	37,17	37,80

Figura 38. Resumo do ensaio de resistência à compressão



6 CONCLUSÕES

Mediante a elaboração de diversas argamassas, utilizando 5 diferentes cimentos (CPII-Z, CPII-F, CPII-E, CPIV e CPV) com utilização de 3 tipos de água (torneira, destilada, deionizada) submetidas a campo magnético de 1T durante 1 hora, tornou-se possível a análises e comparação das propriedades físicas das amostras, quando comparados à argamassas elaboradas com água (torneira, destilada, deionizada) sem serem submetidas a nenhuma exposição de campo magnético, desta maneira cumprindo o objetivo estabelecido.

A partir deste trabalho foi possível concluir que a utilização de água submetida a um campo magnético de 1T durante 1 hora proporcionou um aumento nas propriedades no estado fresco na consistência e trabalhabilidade das argamassas mediante a utilização dos cimentos: CPII-Z, CPII-E, CPIV e CPV, com exceção do cimento CPII-F que não apresentou mudança nos resultados devido ao uso de ASCM. Esta mudança pode significar um aspecto positivo em casos onde seja preciso utilizar argamassas com maior fluidez e trabalhabilidade. Uma causa desse aumento na consistência da argamassa deve-se, sobretudo a redução da tensão superficial proporcionada às moléculas de água, o que provoca um aumento da eficiência de hidratação dos componentes do cimento.

Também se observou influência nas propriedades no estado endurecido devido ao aumento da resistência a compressão nas argamassas utilizando os cimentos relatados a seguir:

- Cimento CPII-E: Observou-se que utilizando água da torneira na idade de 7 dias houve cerca de 10% de incremento, e aos 28 dias, um incremento maior ao 10% devido ao uso da água submetida à campo magnético.
- Cimento CPII-Z: Na utilização de água de torneira houve aumento na resistência à compressão perto do 10% aos 7 dias de idade devido ao uso de ASCM. Nas argamassas elaboradas com água deionizada na idade de 28 dias observou-se um aumento da resistência a compressão um pouco maior ao 10% devido ao uso de ASCM.

Já em relação aos demais cimentos não foram observados mudanças, pois os resultados das resistências à compressão mantiveram-se similares, independentemente da utilização de ASCM. Sendo assim, conclui-se que os resultados obtidos nas análises da resistência à compressão mediante a utilização de água submetida à campo magnético não fazem melhoria significativa desta propriedade.

Contudo, cabe destacar a notável influência no estado fresco da melhoria da consistência e fluidez das argamassas elaboradas com água submetida a campo magnético, sendo que para determinados casos não seja necessário um aumento de água para melhorar a trabalhabilidade, podendo assim reduzir a quantidade de água utilizada na obra contribuindo para a durabilidade.

Sugestões para trabalhos futuros

Desenvolver um novo estudo fixando a consistência das argamassas, a fim de verificar se ASCM pode atuar como aditivo redutor de água.

Desenvolver um estudo com a água de torneira submetida a diferentes campos magnéticos, a fim de verificar a influência do campo magnético nas propriedades das argamassas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-MAGID, T. I. M. et al. Effect of Magnetized Water on Workability and Compressive Strength of Concrete. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 193, p.494-500, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.242>.

AFSHIN, H.; GHOLIZADEH, M.; KHORSHIDI, N.. Improving Mechanical Properties of High Strength Concrete by Magnetic Water Technology. **Scientia Iranica**, Tehran, v. 17, n. 1, p.74-79, 12 fev. 2010.

AHMED, S. M. Effect of Magnetic Water on Engineering Properties of Concrete. Journal of Al-Rafidain Engineering, v. 7, n. 1, p. 1, 2009.

AMIRI, M.c.; DADKHAH, Ali A.. On reduction in the surface tension of water due to magnetic treatment. **Colloids And Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, [s.l.], v. 278, n. 1-3, p.252-255, abr. 2006. Elsevier BV. .

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN (AMN). NBR NM 137: Argamassa e concreto- Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland.. 1.ed. Brasil,1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTOS PORTLAND (ABCP). Manual de revestimento de argamassa. Manual de Revestimentos. 2002.

_____.(ABCP). Manual de revestimento de argamassa. **Guia Básico de utilização de cimento Portland**. 2002. Acesso em 25 nov 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11578**: Cimento Composto. 1.ed. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência 2.ed. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e a compressão. 2.ed. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento. 2.ed. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. 1.ed. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5736**: Cimento Portland Pozolânico. 1.ed. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 7222**: Argamassa concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. 1.ed. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR15900-1**: Água para amassamento do concreto. Parte 1: Requisitos. 1.ed. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. 1.ed. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 9776**: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. 1.ed. Rio de Janeiro, 1987.

BERMÚDEZ, J. D. **Physical, chemical and mineralogical characterization of lime mortars used in historic bridges of brick arch in the region of the upper Cauca (Colombia)**. 2012. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Físicas, Faculdade de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Física y Química, Universidade Nacional de Colombia, Alto Cauca, 2012.

BHARATH, S.; SUBRAJA, S; ARUN KUMAR, P. Influence of magnetized water on concrete by replacing cement partially with copper slag. **Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences**, Chennai, v. 9, n. 4, p.2791-2795, dez. 2016.

CHO, Y. I.; LEE, S. Reduction in the surface tension of water due to physical water treatment for fouling control in heat exchangers. **International Communications in Heat And Mass Transfer**, [s.l.], v. 32, n. 1-2, p.1-9, jan. 2005. Elsevier BV. .

FARIA, M.; BARRETO, O. **Caracterização micro-nanoestrutural e química de argamassas de cimento Portland**. 2014. 248 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

GOMES, A. M.; SANT'ANA, R.; TRIFILO, B. **The use of water induced magnetically in the physical and mechanical properties of ready mixed concrete**. Ermco, Lisboa, 1999.

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, 2006. Acesso em: 19 jun 2017.

KARAM, H.; AL-SHAMALI, O. Effect of Using Magnetized Water on Concrete Properties. In: **Third International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies**. 2014. Disponível em: < > Acesso em: 18 jun. 2017.

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

MENDES F., A.A. **síntese e caracterização de hidroxiapatita e compósitos a partir de matéria-prima reciclada**. 2006. 181 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais., Escola de Minas., Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.

PADILHA, A. F.; AMBROZIO FILHO, F. **Técnicas de Análise Microestrutural**. 1.ed. São Paulo: Editora Hemus,2004, 190 p.

PICOLLI, R. A importância da utilização da difração de raios x na caracterização de argilas. **Senai**, Santa Catarina, v. 5, n. 2, p.1-8, 14 nov. 2009.

REDDY, B.; GHORPADE, V, G.; RAO, H. Influence of Magnetic Water on Strength Properties of Concrete. **Indian Journal of Science And Technology**, India, v. 7, n. 1, p.14-18, 18 jan. 2014.

RESENDE.C. **Teor de Argamassa ideal**: a correta proporção entre os agregados.2011. Disponível em:<> . Acesso em: 17 jun 2017.

SANTOS, A. **Estudo comparativo das propriedades mecânicas do concreto produzido com água tratada magneticamente**. 2006. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Mina Gerais, Belo Horizonte, 2006.

SHYNIER, A.; ABED, M.; FOUAD, Z.; KAZIM, A.; ISSE, R.; REHEEM, N.; CHALOOB, A.; MOHAMMAD, H.; JAMAL, N.; JASIM, H.; SADEQ, J.; SALIM, A. **Improving Some of Mechanical Properties of Concrete by Magnetic Water Technology**. Ministry of Science and Technology, 2014. Acesso em: 19 jun 2017.

SU, N.; WU, C. Effect of magnetic field treated water on mortar and concrete containing fly ash. **Cement & Concrete Composites**, Taiwan, v. 2, n. 8, p.681-688, 5 ago. 2003.

SU, N.; WU, Y; MAR, C. Effect of magnetic water on the engineering properties of concrete containing granulated blast-furnace slag. **Cement and Concrete Research**, Taiwan, v. 2, n. 30, p.599-605, 2000.

TAWFIC, Y.; ABDELMOEZ, W. (Egito). The influence of “water magnetization” on fresh and hardened concrete properties. **International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)**, Egito, v. 4, n. 6, p.31-43, nov. 2013.

UBALE, P.; PANDIT, R. D.; WADEKAR, A. P. Performance evaluation of magnetic field treated water on convectional concrete containing flyash. **International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)**, India, v. 5, n. 2, p.68-77, 8 jun 2017.

WEI, H.; WANG, Y.; LUO, J. Influence of magnetic water on early-age shrinkage cracking of concrete. **Construction and Building Materials**, [s.l.], v. 147, p.91-100, ago. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.140>.

YU. Q; SUGITA.K; Isojima,Y. Effect of electron water curing and electron charging curing on concrete strength. **Cement And Concrete Research**, Japão, v. 28, n. 9, p.1201-1208, 7 jul. 1998.