

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

THAMMY AKEMI KANASHIRO LEMES

**A INFLUÊNCIA DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE CIMENTO NA EVOLUÇÃO
DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E DA ABSORÇÃO D'ÁGUA DO
SOLO-CIMENTO AUTOADENSÁVEL**

**Ilha Solteira
2023**

THAMMY AKEMI KANASHIRO LEMES

**A INFLUÊNCIA DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE CIMENTO NA EVOLUÇÃO
DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E DA ABSORÇÃO D'ÁGUA DO
SOLO-CIMENTO AUTOADENSÁVEL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira –
Unesp como parte dos requisitos para
obtenção do grau de Engenharia Civil.

Prof. Dr. Marco Antonio de Moraes Alcantara
Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

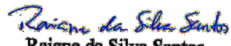
L552a Lemes, Thammy Akemi Kanashiro.
A influência de diferentes composições de cimento na evolução das propriedades mecânicas e da absorção d'água do solo-cimento autoadensável / Thammy Akemi Kanashiro Lemes. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
47 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2023

Orientador: Marco Antonio de Moraes Alcantara

Inclui bibliografia

1. Cimento. 2. Solo-cimento autoadensável. 3. Propriedades mecânicas.


Raiane da Silva Santos
Supervisora Técnica de Setor
Setor Técnico de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Bibliotecas e Documentação
CRB/8 - 9999

Thammy Akemi Kanashiro Lemes

**A INFLUÊNCIA DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE CIMENTO NA
EVOLUÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E DA ABSORÇÃO
D'ÁGUA DO SOLO-CIMENTO AUTOADENSÁVEL**

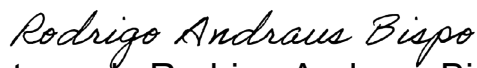
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado como parte dos requisitos para
obtenção do grau de Engenharia Civil, junto
ao Curso de Graduação em Engenharia
Civil, da Faculdade de Engenharia da
Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho", Câmpus de Ilha Solteira.

Aprovada em 22/05/2023

Comissão Examinadora


Prof. Dr. Marco Antônio de Moraes Alcântara
UNESP/FE Ilha Solteira (Orientador)


Prof. Dr. Artur Pantoja Marques
UNESP/FE - Ilha Solteira (Examinador)


Doutorando Rodrigo Andraus Bispo
UNESP/Ilha Solteira (Examinador)

Ilha Solteira
22 de maio de 2023

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Keiko e João Carlos, a minha irmã Hanny Naomi, aos meus avós Masaco e Eizo, dedico esse trabalho pelo apoio e amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a Deus, por guiar e iluminar minha vida.

À Nossa Senhora Aparecida e a Santa Rita de Cássia pelo apoio em minhas orações e jornada.

Aos meus pais, Keiko e João Carlos, por me proporcionarem a oportunidade de estudar e chegar até aqui. A minha irmã, Hanny Naomi, que foi um pilar durante a graduação. Aos meus avós, Eizo e Masaco, pelo apoio e incentivo aos estudos. A todos, agradeço o apoio incondicional em todos os momentos, carinho, amor e atenção.

Ao meu professor e orientador Marco Antonio de Moraes Alcantara, por todas as conversas, ensinamentos, atenção, auxílio e confiança para realizar minha iniciação científica e trabalho de conclusão de curso.

Aos técnicos do Laboratório Central de Engenharia Civil de Ilha Solteira, da Biblioteca da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira e do Departamento de Engenharia Civil da Unesp.

À Alicerce Empresa Júnior de Engenharia Civil, por me proporcionar o contato com a engenharia civil na prática e ao mundo empresarial. Ao Centro Acadêmico de Engenharia Civil, onde aprendi ainda mais sobre o meio acadêmico. Ainda, todos os amigos que fiz durante o período que estive nesses grupos.

A todos meus amigos e amigas da graduação: Luana, Isabella, Vitor, Christie, Augusto, Matheus e Felipe, os quais levo comigo até hoje, pelo apoio intelectual e emocional, momentos e lembranças durante estes 5 anos. Aos meus amigos de escola que me proporcionaram momentos incríveis e sempre me apoiaram.

RESUMO

O estudo teve por finalidade avaliar a influência de diferentes tipos e composições de cimento nos desempenhos mecânicos do estado fresco e do estado endurecido, de misturas solo-cimento autoadensável, contendo finos ativos como estabilizantes auxiliares. Para a realização do trabalho, propôs-se utilizar de dois tipos de cimentos: o cimento Portland comum (Tipo II) e o cimento Portland de alta resistência inicial. Como solo, utilizou-se de solo do tipo argissolo, contendo a incorporação de areia de origem natural, em torno de 15% com relação à massa seca do solo. Os teores de cimento foram de 20, 25 e 30% com relação à massa seca do solo. Ainda, foi utilizado superplastificante de origem estérica e eletrostática, à base de carboxilatos, para conferir as condições de fluidez das misturas, em teor de 0,04% com relação à massa total de cimento e solo, e, o teor de água da ordem de 32% com relação ao material seco. Além disso, incorporou-se o conteúdo de sílica ativa como finos, nos valores de 0% (composição de referência) e 7,5% com relação à massa do cimento. Ensaio de laboratório foram realizados nos estados fresco e endurecidos, de modo a poder avaliar as condições de escoamento em estados livre e confinados, e para a avaliação do comportamento mecânico e da absorção d'água. Os períodos de cura da pesquisa ocorreram aos 7 e 28 dias de cura. A avaliação final foi feita com base na comparação de resultados, para cada tipo de cimento, quando considerados os valores das composições com sílica ativa e os que foram apresentados para as respectivas composições de referência. Por fim, levou-se em consideração os mecanismos de ação, para cada tipo de cimento, para o desenvolvimento das reações químicas que conduzem ao endurecimento.

Palavras-chaves: cimento, solo-cimento autoadensável, propriedades mecânicas.

ABSTRACT

The study aimed to evaluate the influence of different types and compositions of cement on the mechanical performances of fresh and hardened states of self-compacting soil-cement mixtures containing active fines as auxiliary stabilizers. For the execution of the work, it was proposed to use two types of cement: ordinary Portland cement (Type II) and high early strength Portland cement (HE). As soil, an argissol type soil was used, incorporating naturally occurring sand at around 15% by dry mass of soil. The cement content was 20%, 25%, and 30% by dry mass of soil. Additionally, a sterically and electrostatically originated superplasticizer based on carboxylates was used to provide flowability conditions for the mixtures, at a dosage of 0.04% by total mass of cement and soil, and a water content of approximately 32% relative to the dry material. Moreover, the content of silica fume was incorporated as fines, at values of 0% (reference composition) and 7.5% by mass of cement. Laboratory tests were carried out in fresh and hardened states to evaluate the flow conditions in free and confined states, as well as the mechanical behavior and water absorption. The curing periods for the research were 7 and 28 days. The final evaluation was based on the comparison of results for each type of cement, considering the values of compositions with silica fume and those presented for the respective reference compositions. Lastly, the mechanisms of action for each type of cement were taken into consideration for the development of chemical reactions leading to hardening.

Keywords: cement; self-compacting soil-cement; mechanical proprieties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Resistência à compressão dos tipos de cimento Portland.	17
Figura 2 – Medição do ensaio de diâmetro de espalhamento.	24
Figura 3 – Diâmetro de Espalhamento dos SCAA.....	25
Figura 4 – Ensaio do tempo de escoamento em funil.....	26
Figura 5 – Tempo de Escoamento em Funil dos SCAA.	27
Figura 6 – Massa Específica Aparente dos SCAA no estado fresco.	28
Figura 7 – Alcalinidade dos SCAA no estado fresco.	28
Figura 8 – Absorção de água média do SCAA REF com 7 dias de cura.....	30
Figura 9 – Absorção de água média do SCAA REF com 28 dias de cura.....	30
Figura 10 – Absorção de água média do SCAA REF aos 7 e 28 dias de cura.....	31
Figura 11 – Absorção de água média do SCAA 7,5% Sílica com 7 dias de cura.	32
Figura 12 – Absorção de água média do SCAA 7,5% Sílica com 28 dias de cura. ...	33
Figura 13 – Absorção de água média do SCAA 7,5% Sílica aos 7 e 28 dias de cura.	33
Figura 14 – Resultados de Resistência à compressão axial SCAA com 7 dias.	35
Figura 15 – Resultados de Resistência à compressão axial SCAA com 28 dias.	36
Figura 16 – Resultados de Resistência à compressão diametral SCAA com 7 dias.	38
Figura 17 – Resultados de Resistência à compressão diametral SCAA com 28 dias.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índices de consistência do solo.....	22
Tabela 2 – Composição granulométrica do solo.	23
Tabela 3 – Resultados do ensaio de diâmetro de espalhamento.	25
Tabela 4 – Tempo de Escoamento em Funil.	26
Tabela 5 – Resultados dos ensaios em estado fresco dos SCAA.	27
Tabela 6 – Absorção de água do SCAA REF aos 7 dias de cura.	29
Tabela 7 – Absorção de água do SCAA REF aos 28 dias de cura.	30
Tabela 8 – Absorção de água do SCAA 7,5% Sílica aos 7 dias de cura.	32
Tabela 9 – Absorção de água do SCAA 7,5% Sílica aos 28 dias de cura.	32
Tabela 10 – Resultados de Resistência à compressão axial SCAA com 7 dias de cura.	34
Tabela 11 – Resultados de Resistência à compressão axial SCAA com 28 dias de cura.	35
Tabela 12 – Resultados de Resistência à compressão axial SCAA com 7 dias.	37
Tabela 13 – Resultados de Resistência à compressão axial SCAA com 28 dias.	37
Tabela 14 – Resultados estado endurecido.....	39

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
SCAA	Solo-cimento Autoadensável
ARI	Alta Resistência Inicial
CP	Cimento Portland
CP-II	Cimento Portland Tipo II
CP-III	Cimento Portland Tipo III
REF	Composição de Referência
Unesp	Universidade Estadual Paulista

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3.1	CIMENTO PORTLAND	16
3.1.1	CIMENTO PORTLAND TIPO II	17
3.1.2	CIMENTO PORTLAND DE ALTA RESISTÊNCIA INICIAL (ARI) OU TIPO III 17	
3.2	SOLO-CIMENTO AUTOADENSÁVEL (SCAA)	18
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
4.1	MATERIAIS	21
4.2	MÉTODOS	21
4.2.1	ENSAIOS.....	21
4.2.2	PREPARO DOS CORPOS DE PROVA	22
4.2.3	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	22
4.2.4	CRITÉRIOS DE JULGAMENTO.....	23
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1	ESTADO FRESCO.....	24
4.2	ESTADO ENDURECIDO	29
4.3	AVALIAÇÃO DE ASPECTOS DE INSTRUMENTAÇÃO	39
4.4	AVALIAÇÃO DE RESULTADOS.....	40
6	CONCLUSÃO.....	44

1 INTRODUÇÃO

Segantini e Alcantara (2017) apresentam o solo cimento “autoadensável”, o qual é proposto para ser adensado sob a ação do seu próprio peso e tem sido apresentado sob esta denominação a partir de tempos recentes. A funcionalidade do solo-cimento autoadensável depende de seus parâmetros de dosagem, vinculados às suas propriedades reológicas no estado fresco, de modo a poder se realizar as moldagens.

Assim, Berté e Alcantara (2013) apresentam um estudo tecnológico sobre o solo-cimento autoadensável com a utilização de solos lateríticos e superplastificantes. No estado endurecido, os valores de resistência mecânica à compressão simples se manifestaram com variações entre 2,0 MPa a 7,5 MPa, em conformidade com as dosagens propostas, envolvendo consumos de cimento que variaram de 20 a 30% com relação à massa seca do solo. Ainda, Alcantara et al (2014) apresentam um estudo sobre a fabricação do solo-cimento autoadensável com solos residuais da região de regiões de clima temperado. De acordo com os autores, os materiais apresentaram propriedades favoráveis no estado fresco, e com valores de resistência à compressão simples que variavam entre 2,0 a 6,5 MPa, seguindo o consumo cimento da ordem de 20 a 30% com relação ao peso seco do solo, da mesma forma que Berté e Alcantara (2013).

Ainda, Alcantara et al (2015) apresentam um estudo sobre a incorporação de cinzas de casca de arroz às misturas solo-cimento, de modo a poder incrementar o valor da resistência mecânica, encontrando-se valores superiores com a incorporação de cinzas de casca de arroz. Verificou-se ganhos de resistência mecânica para com as misturas de solo-cimento com a incorporação de finos, com relação às respectivas composições de referência, sendo estes ganhos de resistência, de modo geral, proporcionais aos valores dos teores de cimento e de cinzas incorporados.

Considera-se, por hipótese, que o aumento proporcionado no valor da resistência mecânica do solo-cimento autoadensável com a incorporação de finos reativos seja em decorrência de reações pozolânicas, de modo coerente com o aumento do consumo de finos e de cimento, visto que, o cimento Portland tem como subproduto final de hidratação a cal hidratada, de modo que, a cal liberada da

hidratação do Portland, juntamente com os finos reativos, proporcionem a formação de compostos cimentantes pelo processo pozolânico.

De acordo com Neville (2016), a liberação de cal hidratada pelo cimento Portland pode ocorrer conforme tipo de cimento, sendo que, a contribuição do cimento de Alta Resistência Inicial se constitui em valores muito mais relevantes do que para os casos de cimentos convencionais, para uma mesma classe de resistência. Ainda, com respeito ao estado fresco das misturas, se considera que o solo pode sofrer variações em sua consistência mediante a interferência na dupla camada difusa, pela presença de íons Ca^{++} , ou de íons monovalentes, pelo processo de troca iônica.

Por fim, considerando todos os pontos abordados acima, percebe-se importante a realização de um estudo do SCAA acerca da variação do tipo de cimento, contendo o uso de finos ativos como aditivos auxiliares, e de modo a se compreender os processos nos estados frescos e endurecidos.

2 OBJETIVOS

O estudo tem por finalidade avaliar a influência de diferentes tipos de composições de cimento no desempenho mecânico de misturas de solo-cimento autoadensável, contendo finos ativos como estabilizantes auxiliares, para o incremento das resistências mecânicas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CIMENTO PORTLAND

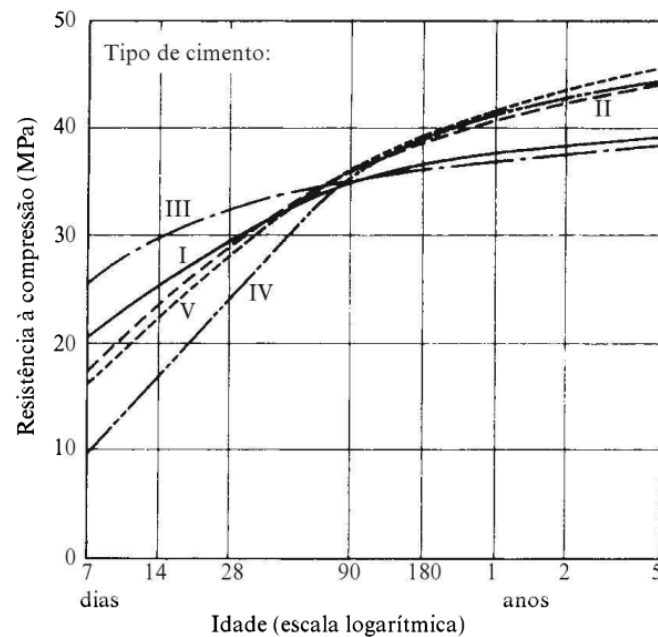
Segundo Neville (2016), o cimento Portland, patente por Joseph Aspdin em 1845, é um cimento hidráulico desenvolvido por James Parker através da calcinação de nódulos de calcário argiloso. Esse cimento foi sofrendo otimizações até Isaac Johnson calcinar uma mistura de argila e giz até a clinquerização, de modo que ocorressem as reações necessárias à formação de compostos de alta capacidade cimentante. Assim, o cimento Portland consiste na moagem de suas matérias-primas e na queima em grandes fornos, onde o material torna-se as esferas conhecidas como clínquer; que, após resfriar, é adicionado pequenos teores de sulfato de cálcio e, por fim, moído até se tornar um pó bastante fino.

O cimento Portland pode ser considerado um material aglomerante pelas reações que acontecem em sua pasta, composta por água e cimento. Essas reações formam produtos hidratados que ao longo do tempo resultam em um material firme e resistente; os componentes do cimento reagem com a água diretamente pela adição de água ou pela hidrólise. Além disso, a velocidade de hidratação da pasta de cimento diminui continuamente, ou seja, ainda que tenha se passado um longo período, existirão cimentos anidros. Considerando um cimento bem hidratado, a taxa de água não-evaporável é cerca de 18%; ao passo que essa taxa pode chegar a 23% nos cimentos totalmente hidratados.

A resistência de uma argamassa de cimento dependerá da coesão e aderência dos componentes de sua pasta; para a determinação dessa resistência, utiliza-se uma argamassa feita com cimento e areia, sem agregados a fim da resistência deles não interferir nos ensaios.

Com um mundo com diversas exposições e necessidades, fez-se necessário o desenvolvimento de vários tipos de cimento Portland a fim ter um que mais se adeque à cada particularidade. A figura abaixo evidencia a resistência à compressão ao longo do tempo nos diferentes tipos de cimento Portland.

Figura 1 – Resistência à compressão dos tipos de cimento Portland.



Fonte: NEVILLE (2016).

3.1.1 CIMENTO PORTLAND TIPO II

Dentro dos diversos tipos de cimento Portland, foi escolhido para este trabalho, o Cimento Portland Tipo II (CP-II), que possui baixa resistência inicial e alta resistência final. Esse comportamento exemplifica a teoria de que quanto mais lentamente se formar a estrutura, maior será a resistência final devido a maior densidade do gel (NEVILLE, 2016).

Ainda segundo Neville (2016), esse tipo de cimento é considerado como o “equilíbrio” ou melhor “custo-benefício”. Além disso, um dos motivos por escolher este tipo de cimento em específico foi a sua vasta e popular utilização na construção civil.

3.1.2 CIMENTO PORTLAND DE ALTA RESISTÊNCIA INICIAL (ARI) OU TIPO V

O Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (ARI), também denominado Cimento Portland Tipo V (CP-V), desenvolve uma resistência de forma mais rápida que, portanto, originou-se seu nome característico.

Fisicamente, o Cimento Portland Tipo V é mais fino que o Cimento Portland comum, que garante o aumento de resistência inicial (entre 1º e 20 horas) até os primeiros 28 dias. Entretanto, em condições de cura úmida, as resistências de

ambos os tipos de cimento se equiparam e após, o cimento de menor finura supera os cimentos mais finos (NEVILLE, 2016). Dessa forma, se faz necessário cautela ao utilizar este tipo de cimento, visto que possui características significantes que podem ou não condizer com a proposta da obra.

3.2 SOLO-CIMENTO AUTOADENSÁVEL (SCAA)

Segundo Segantini e Alcantara (2017), o solo-cimento possui três categorias: o solo-cimento compactado, o solo-cimento plástico e o solo-cimento autoadensável. Considerando o objeto deste estudo, o solo-cimento autoadensável é definido pelo produto da mistura íntima do solo como microagregado, do cimento como aglomerante e da água que não necessita de energia no processo de adensamento. Cabe aqui ressaltar que, no traço, a maior proporção deve ser a de solo para que haja economia no consumo do cimento.

Considerando-se o estudo de Berté e Alcantara (2012), dos parâmetros de dosagem, percebe-se que embora a quantidade de água incorporada ao solo tenha importância dentro do processo tecnológico tanto quanto a proporção de cimento no SCAA, evidenciou-se algumas problemáticas ao adotar um fator a/c (água/cimento) como uma variável de estudo.

De acordo com Fonseca et al. (2009), pode ser considerado questões como a interação físico-química, porosidade e o tempo de compactação das misturas. Lima (1981), também corrobora para essa hipótese; assim, pode-se inferir que, para o SCAA, o valor da resistência à compressão simples está relacionado a combinação entre a quantidade de vazios do solo com o volume de cimento adicionado a mistura. Cabe aqui ressaltar que o cimento é um aglomerante hidráulico e que, por isso, sua evolução mecânica e ganho de resistência se baseia à cinética da hidratação do cimento.

Levando em consideração Segantini e Alcantara (2010), alguns tipos de solo (principalmente os de granulometria mais fina), necessitam quantidades elevadas de água a fim de se atingir a consistência plástica desejada, similar a uma argamassa de emboço. Para tanto, deve-se considerar a relação a/c ideal menor que 1.

Assim, quanto ao parâmetro de dosagem do SCAA, ela é composta por três variáveis: a quantidade de água, a quantidade de cimento e a massa específica aparente seca.

Ainda, Berté e Alcantara (2012) realizaram um estudo sobre o comportamento do SCAA com superplastificantes e com solo Podzólico Vermelho Amarelo (objeto de estudo deste trabalho), muito comum na região oeste do estado de São Paulo e outras regiões do Centro-Sul brasileiro, tanto no estado fresco quanto endurecido. Nesse estudo, evidenciou-se resultados de resistência à compressão simples médios de 3,89MPa e até algumas misturas com valores de até 7,5MPa. Ainda, realizou-se ensaios de funil, espalhamento, segregação, adensamento e moldagem dos corpos de prova via escoamento por gravidade no estado fresco e no estado endurecido, compressão axial e absorção de água.

Alcantara (2004) ressalta a importância da inserção de aditivos superplastificantes em misturas cimentícias, sobretudo os de ação estérica e eletrostática, que promovem as boas condições de trabalhabilidade e fluidez para as misturas de SCAA, considerando ainda a água que é um fator chave para promover a boa dispersão do cimento. Ainda, este estudo considera que os finos assumem um papel de grande importância no escoamento da mistura, dada sua ação de superfície e formação de pasta, que, em alguns casos, favorecem o escoamento por efeito de lubrificação ou refreiam a partir de determinado teor da mistura.

Por isso, vale ressaltar Alcantara et al (2014) que também realizou um estudo do SCAA com solo da região do Porto, assim como Berté e Alcantara (2012), variando os teores de cimento, água e de superplastificante. Dessas misturas, realizou-se ensaios de espalhamento com utilização de mini-cone, fluidez com auxílio de funil para o estado fresco e para o estado endurecido, resistência à flexão, avaliação da massa específica aparente, porosimetria e vale ressaltar os resultados entre 2,7 a 6,5MPa de resistência à compressão simples.

Pensando em otimização da mistura, Alcantara e Figueiredo (2020) adicionaram sílica ativa e realizaram um estudo nos estados fresco e endurecido. Os componentes desse estudo foram: solo argissolo, cimento CP-II, areia natural, sílica ativa, água e superplastificante de ação estérica e eletrostática. Assim como os dois estudos acima, também variou-se os teores de cimento, areia, sílica ativa, água e superplastificante. Realizou-se estudos de espalhamento livre, escoamento em meio confinado com auxílio de funil, segregação por peneiramento no estado fresco; para o estado endurecido, foi feito ensaio de resistência à compressão diametral e simples (7 e 28 dias de cura) e cabe destacar seus resultados entre 0,98 e 5,0MPa.

Abordando construções habitacionais, o SCAA é uma alternativa a ser considerada, visto que possui caráter ecológico e sustentável ao meio ambiente por utilizar de um componente abundante que, muito provavelmente, existe no local da obra. Além disso, sua técnica é fácil de ser assimilada, o que facilita sua aplicação e execução; também possui bom desempenho térmico e mecânico (dentro das exigências para paredes e vedações). Dessa forma, o SCAA é uma ótima opção “custo-benefício” para construções habitacionais.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

Para a realização do trabalho propôs-se utilizar cimentos de dois tipos variados, como: cimento Portland Tipo II (CP-II) e o cimento Portland de Alta Resistência Inicial (ARI). O solo foi do tipo argissolo, o qual tem sido já utilizado em outros trabalhos sobre o uso do solo-cimento autoadensável e apresenta textura favorável. Incorporou-se areia de origem natural, a qual foi também utilizada como parte do solo, água do sistema de abastecimento municipal e superplastificante de origem estérica e eletrostática, à base de carboxilatos, para conferir as condições de fluidez das misturas. E, por fim, se utilizou um tipo de fino como adição mineral: a sílica ativa.

4.2 MÉTODOS

- Os teores de cimento para com o solo foram iguais, variando em 20, 25 e 30% com relação à massa seca do solo;
- O teor de areia incorporada ao solo foi da ordem de 15%.
- Para cada tipo de cimento, se otimizou:
 - uma composição de referência;
 - uma composição contendo 7,5% de finos ativos com relação à massa do cimento.

4.2.1 ENSAIOS

Como ensaios de laboratório, propôs-se os seguintes, envolvendo os estados fresco e endurecidos:

i. Estado fresco

Realizou-se os ensaios de espalhamento livre, gravitacional, e ensaio com o escoamento confinado; com base no ensaio para argamassas, adaptado da norma NBR NM 13276:2005 onde o escoamento se deu de modo autoadensável, observando-se os valores dos diâmetros de espalhamento conforme critérios de Milani e Barboza (2016). As avaliações se deram para cada composição.

ii. Estado endurecido

Avaliou-se os valores da resistência mecânica à compressão simples, em acordo com a NBR 12025:2012.

Os ensaios do estado endurecido de resistência mecânica foram realizados aos 7 e 28 dias de cura, de modo a poder avaliar a influência do tempo de cura no processo interno.

Além disso, foram realizados os ensaios de absorção d'água, conforme a NBR 13555:1996.

4.2.2 PREPARO DOS CORPOS DE PROVA

As composições foram preparadas em betoneira, seguindo os protocolos de mistura seca: misturar após adição de 70% da água e após a incorporação de 30% de água com a adição de superplastificante.

Como ponto de partida, o teor de água com relação ao material seco foi fixo da ordem de 32% e o teor de superplastificantes de 0,04% com relação ao material seco total.

Após a mistura, os materiais foram moldados pelo processo autoadensável, sem uso de vibração, em moldes cilíndricos de PVC com dimensões de 5 x 10 cm. A desmoldagem dos materiais ocorreu 24 horas após a mistura, com o auxílio de ar comprimido.

A cura dos corpos de prova foi feita após a desmoldagem, sendo acondicionados em câmara úmida sujeita ao teor de umidade de aproximadamente 100% e temperatura de aproximadamente 22°C.

4.2.3 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Tendo como base Paulinich e Alcantara (2018):

Tabela 1 – Índices de consistência do solo.

Limite de Liquidez	Limite de Plasticidade	Índice de Plasticidade
26	16	10

Fonte: Paulinich e Alcantara (2018).

E, para a composição granulométrica do solo:

Tabela 2 – Composição granulométrica do solo.

Material	Teor (%)
Argila	30
Silte	17
Areia Fina	51
Areia Média	2
Areia Grossa	0

Fonte: Paulinich e Alcantara (2018).

4.2.4 CRITÉRIOS DE JULGAMENTO

Como critérios de julgamento para os resultados, se deverá tomar em consideração os valores que poderão ser alcançados para a resistência mecânica do solo-cimento autoadensável, além dos valores do pH das misturas após a cura, tomados em comparação com os valores da composição de referência; para cada tipo de cimento, buscará se observar possíveis correlações entre a atividade físico-química do solo, dado pelo pH, o qual poderá variar em função do ganho de resistência e crescente consumo de cal, ou da quantidade inicial de cal liberada pela hidratação do Portland.

Para o estado fresco, se tomará em consideração as possíveis influências das condições de alcalinidade, conferida pela composição do cimento, sobre as propriedades reológicas das misturas, as quais poderão sofrer, possivelmente, variação das condições de consistência, em razão da influência da condição dos estados de floculação do solo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ESTADO FRESCO

i. Diâmetro de espalhamento

- Composições de referência

Para os casos das composições de referência, se observa que o diâmetro de espalhamento diminuiu com o aumento do teor de cimento, influenciando desfavoravelmente nas condições de fluidez. O cimento CP-II foi o mais afetado com o aumento do teor de cimento.

Acredita-se que, o aumento do teor de cimento influenciou sobre as condições de coesão e viscosidade das misturas, em razão das propriedades dos materiais finos sobre as condições de mobilidade, em face de seus elevados valores de superfície específica.

Figura 2 – Medição do ensaio de diâmetro de espalhamento.



Fonte: Elaborado pela autora.

- Composições com sílica ativa

Pelas mesmas razões, da elevada finura, a presença da sílica ativa veio a acentuar as propriedades viscosas, tanto para os casos de cimento ARI como para os casos de cimento CP-II.

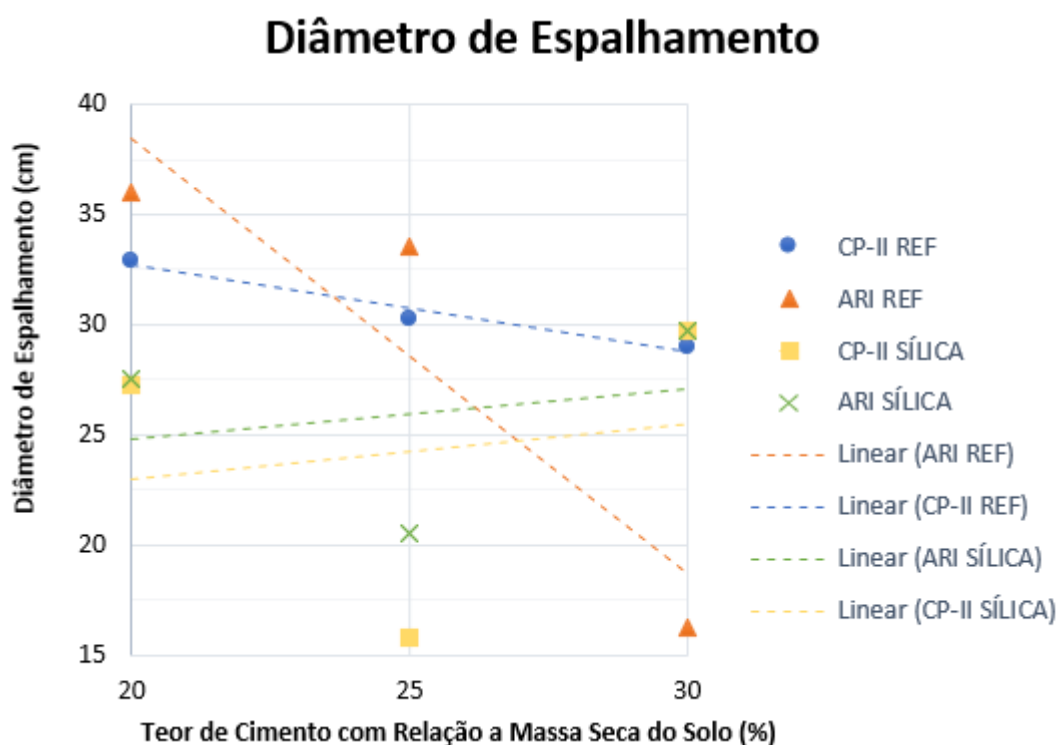
Assim, os resultados obtidos para o ensaio estão dispostos na tabela abaixo.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de diâmetro de espalhamento.

Composição	Diâmetro de Espalhamento (cm)		
	20% Cimento	25% Cimento	30% Cimento
CP-II - REFERÊNCIA	32,9	30,3	26,5
ARI - REFERÊNCIA	36,0	33,5	29,0
CP-II 7,5% SÍLICA	27,3	15,8	16,3
ARI - 7,5% SÍLICA	27,5	20,5	29,8

Fonte: Elaborado pela autora.

A fim de facilitar a análise dos dados acima, elaborou-se a figura abaixo.

Figura 3 – Diâmetro de Espalhamento dos SCAA.

Fonte: Elaborado pela autora.

ii. Tempo de escoamento em funil

• Composições de referência

O tempo de escoamento em funil se apresenta pouco afetado pelo aumento do teor de cimento, salvo para os casos de cimento CP-II.

Figura 4 – Ensaio do tempo de escoamento em funil.

Fonte: Elaborado pela autora.

- Composições com sílica ativa

Para os casos do escoamento em funil, o cimento ARI se mostra pouco variável, salvo para o caso de 25% de cimento; enquanto para os casos de cimento CP-II o escoamento pode ser afetado para o aumento do teor de sílica.

Considera-se importante que não se manifestou bloqueios durante os ensaios do funil. Observa-se também que, a influência desfavorável sobre o tempo de escoamento se deu em coerência com a diminuição das condições de fluidez, dadas pelos ensaios de espalhamento.

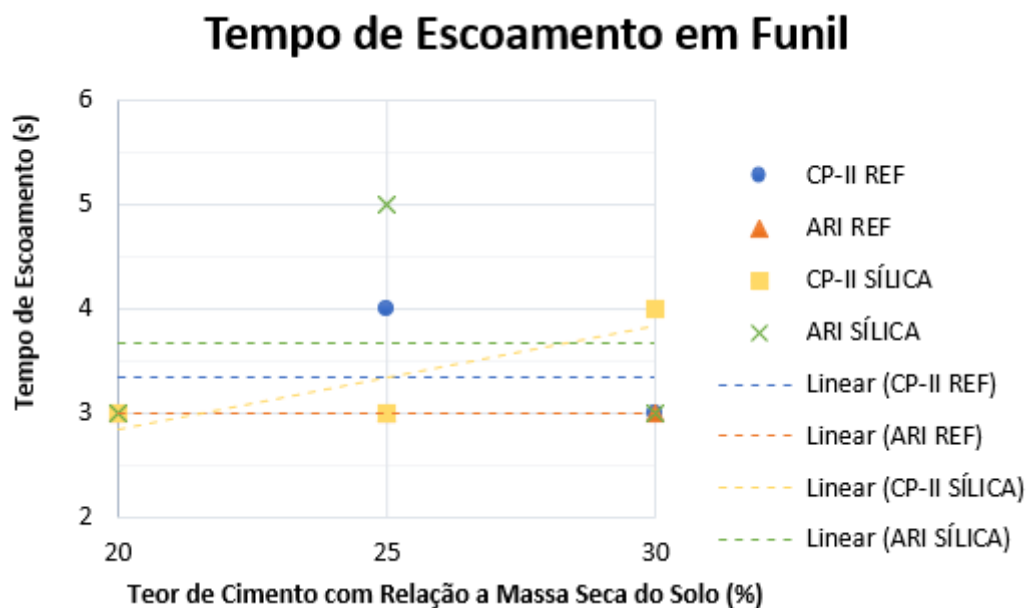
Com isso, os resultados obtidos com o ensaio de tempo de escoamento em funil estão representados na tabela abaixo.

Tabela 4 – Tempo de Escoamento em Funil.

Composição	Tempo de Escoamento em Funil (s)		
	20% Cimento	25% Cimento	30% Cimento
CP-II - REFERÊNCIA	3,0	4,0	3,0
ARI - REFERÊNCIA	3,0	3,0	3,0
CP-II 7,5% SÍLICA	3,0	3,0	4,0
ARI - 7,5% SÍLICA	3,0	5,0	3,0

Fonte: Elaborado pela autora.

Ainda, para facilitar a análise, também se elaborou a figura abaixo.

Figura 5 – Tempo de Escoamento em Funil dos SCAA.

Fonte: Elaborado pela autora.

Assim, os resultados de ambos os ensaios (diâmetro de espalhamento e tempo de escoamento em funil) e a massa específica calculada (utilizando um recipiente cilíndrico de volume de 0,75L) estão dispostos na tabela a seguir.

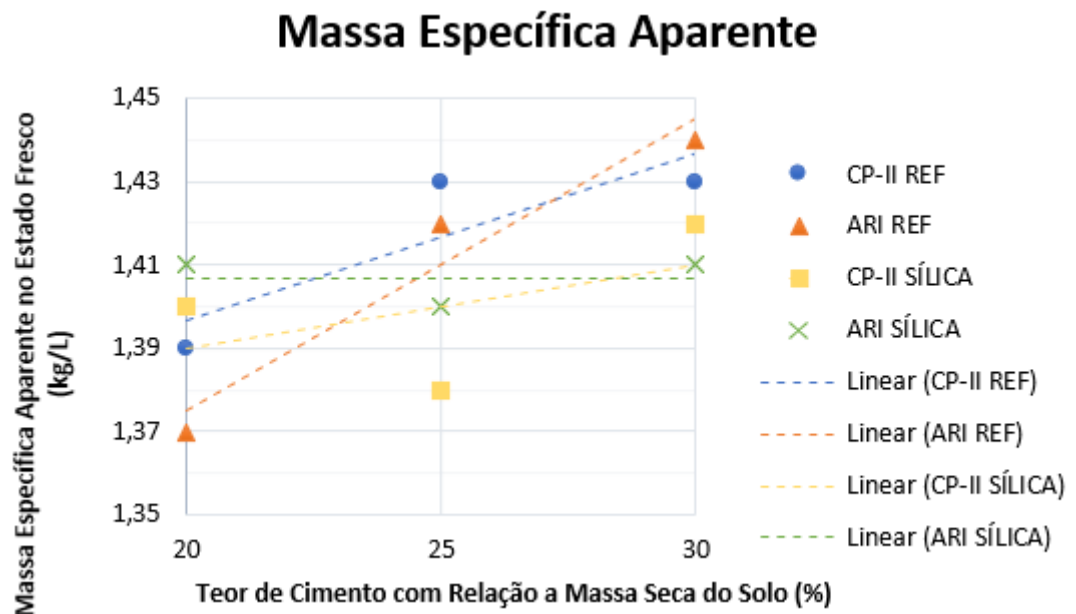
Tabela 5 – Resultados dos ensaios em estado fresco dos SCAA.

Composição	Diâmetro médio (cm)	FUNIL		Massa Específica (Vol=0,75 L)	pH
		Massa (kg)	Tempo (s)		
20% - CII - REF	32,93	0,98	3,00	1,39	12,25
20% - ARI - REF	36,00	0,89	3,00	1,37	12,75
25% - CII - REF	30,25	0,96	4,00	1,43	12,73
25% - ARI - REF	33,50	0,97	3,00	1,42	12,87
30% - CII - REF	26,50	0,94	3,00	1,43	13,16
30% - ARI - REF	29,00	0,94	3,00	1,44	13,22
20% - CII - 7,5% SILICA	27,25	1,02	3,00	1,4	13,3
20% - ARI - 7,5% SILICA	27,50	0,91	3,00	1,41	13,08
25% - CII - 7,5% SILICA	15,25	0,35	3,00	1,38	13,09
25% - ARI - 7,5% SILICA	20,50	0,77	5,00	1,4	13,15
30% - CII - 7,5% SILICA	16,25	0,72	4,00	1,42	13,00
30% - ARI - 7,5% SILICA	29,75	0,96	3,00	1,41	13,07

Fonte: Elaborado pela autora.

Da mesma maneira, elaborou-se a figura a seguir para visualizar e analisar as massas específicas aparentes do SCAA.

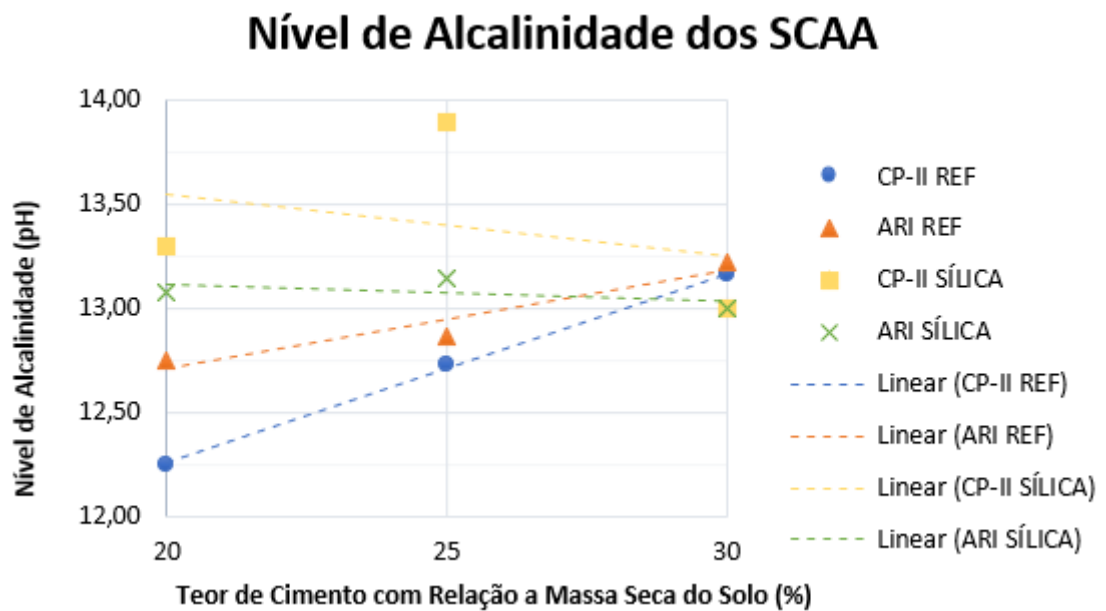
Figura 6 – Massa Específica Aparente dos SCAA no estado fresco.



Fonte: Elaborado pela autora.

Por fim, da mesma maneira, elaborou-se a figura abaixo para visualizar e analisar a alcalinidade dos SCAA.

Figura 7 – Alcalinidade dos SCAA no estado fresco.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.2 ESTADO ENDURECIDO

iii. Ensaaios de absorção de água

- Composições de referência

Os ensaios de absorção d'água para as composições de referência mostram que estas tendem a diminuir com o aumento do teor de cimento; coerente com o aumento das reações cimentícias, as quais tendem a diminuir a porosidade.

Também é observado que a absorção d'água com o teor de cimento é maior para os casos de cimento ARI, para 20% de cimento, vindo a ser progressivamente menor para 25 e 30% de cimento.

A aparente porosidade dos casos de cimento ARI pode ser responsável pela maior absorção com 20% de cimento, decorrente da influência sobre a textura do material, em face à floculação induzida pela intervenção sobre a dupla camada difusa das partículas do solo.

Observa-se pelas figuras 8 e 9 que a absorção d'água tende a diminuir com teor de cimento e com o tempo de cura para os dois tipos de cimento, estando em valores próximos para os teores de 30% de cimento.

Os resultados obtidos para 7 dias de cura estão representados na tabela abaixo.

Tabela 6 – Absorção de água do SCAA REF aos 7 dias de cura.

Composição	Absorção de Água SCAA com 7 dias		
	Amostra 1 (%)	Amostra 2 (%)	Média
CP-II REF (20% Cimento)	25,44	25,24	25,34
CP-II REF (25% Cimento)	24,20	24,18	24,19
CP-II REF (30% Cimento)	23,64	23,62	23,63
ARI REF (20% Cimento)	25,52	27,22	26,37
ARI REF (25% Cimento)	25,16	24,37	24,67
ARI REF (30% Cimento)	23,74	23,68	23,71

Fonte: Elaborado pela autora.

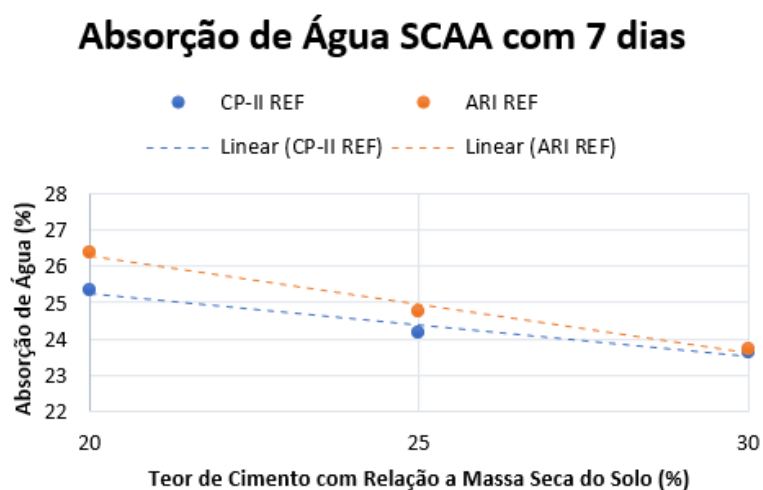
Ainda, os resultados para 28 dias estão na tabela a seguir.

Tabela 7 – Absorção de água do SCAA REF aos 28 dias de cura.

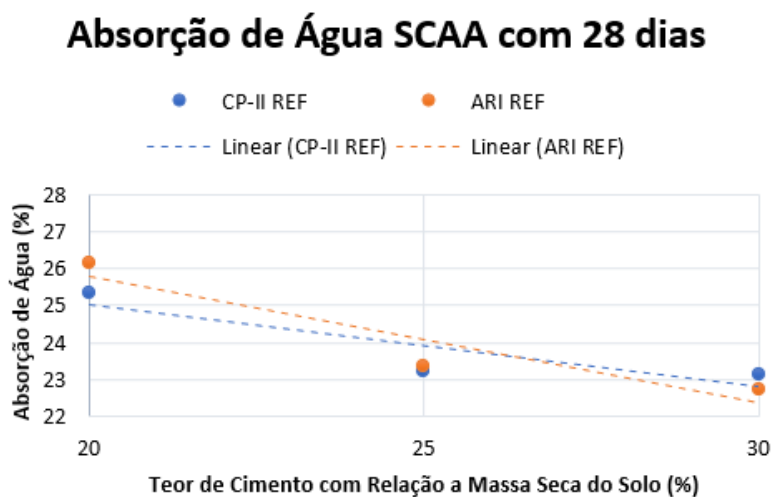
Composição	Absorção de Água SCAA com 28 dias		
	Amostra 1 (%)	Amostra 2 (%)	Média (%)
CP-II REF (20% Cimento)	25,60	25,07	25,34
CP-II REF (25% Cimento)	23,62	22,87	23,24
CP-II REF (30% Cimento)	23,07	23,23	23,16
ARI REF (20% Cimento)	25,60	26,73	26,17
ARI REF (25% Cimento)	23,37	23,30	23,34
ARI REF (30% Cimento)	22,74	22,72	22,73

Fonte: Elaborado pela autora.

Para facilitar a análise isolada, elaborou-se as figuras 8 e 9.

Figura 8 – Absorção de água média do SCAA REF com 7 dias de cura.

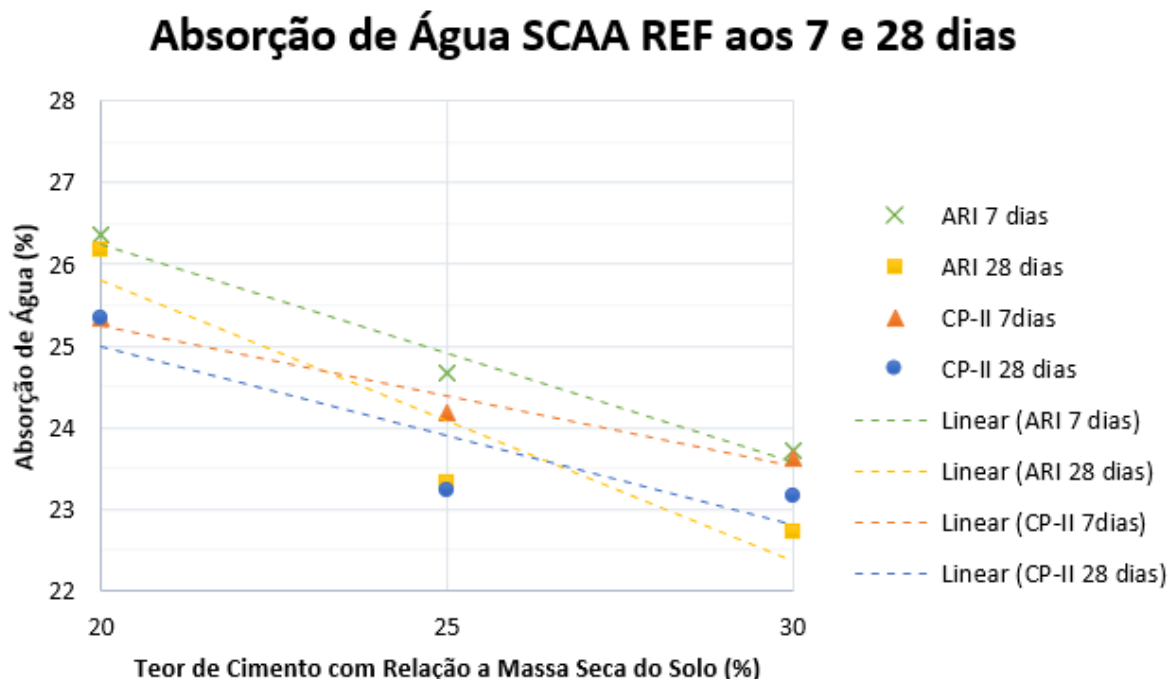
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 9 – Absorção de água média do SCAA REF com 28 dias de cura.

Fonte: Elaborado pela autora.

Por fim, a figura 10 ilustra todos os resultados de absorção de água do SCAA.

Figura 10 – Absorção de água média do SCAA REF aos 7 e 28 dias de cura.



Em Fonte: Elaborado pela autora.

- Composições com a sílica ativa

Para os casos de sílica ativa se mostra uma situação pouco diferente para os casos de cimento ARI e de cimento CP-II. Para o cimento ARI se observa diminuição do valor de absorção com o teor de cimento, seguindo-se de um crescimento, quando em 30% de cimento. Já para o cimento CP-II se observa a tendência de diminuição constante com o teor de cimento.

Para o caso do cimento ARI se justifica o aumento da absorção para 30% de cimento em decorrência provável do caráter higroscópico da sílica ativa.

Os resultados obtidos para 7 dias de cura estão representados na tabela abaixo.

Tabela 8 – Absorção de água do SCAA 7,5% Sílica aos 7 dias de cura.

Composição	Absorção de Água SCAA com 7 dias		
	Amostra 1 (%)	Amostra 2 (%)	Média (%)
CP-II 7,5% Sílica (20% Cimento)	25,99	25,72	25,86
CP-II 7,5% Sílica (25% Cimento)	24,70	25,15	24,93
CP-II 7,5% Sílica (30% Cimento)	24,10	23,40	23,75
ARI 7,5% Sílica (20% Cimento)	25,97	26,37	26,17
ARI 7,5% Sílica (25% Cimento)	24,86	25,21	25,04
ARI 7,5% Sílica (30% Cimento)	25,73	25,61	25,67

Fonte: Elaborado pela autora.

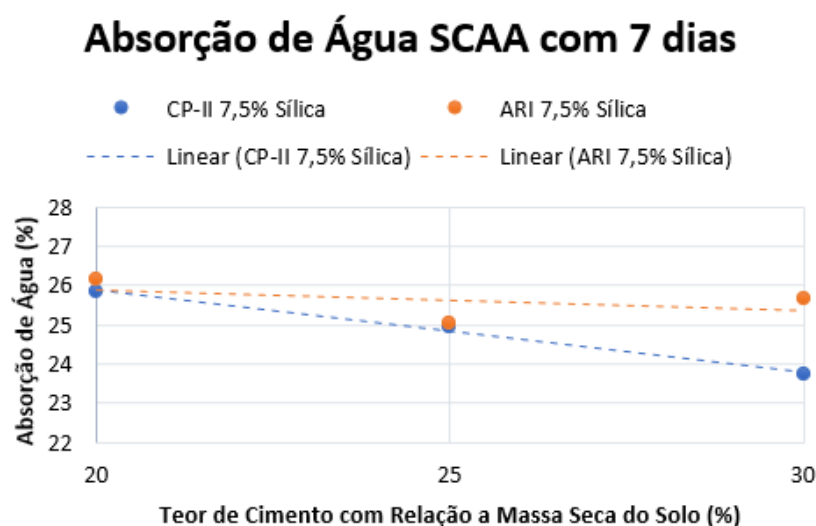
Ainda, os resultados para 28 dias estão na tabela a seguir.

Tabela 9 – Absorção de água do SCAA 7,5% Sílica aos 28 dias de cura.

Composição	Absorção de Água SCAA com 28 dias		
	Amostra 1 (%)	Amostra 2 (%)	Média (%)
CP-II 7,5% Sílica (20% Cimento)	25,49	25,63	25,55
CP-II 7,5% Sílica (25% Cimento)	24,61	24,59	24,60
CP-II 7,5% Sílica (30% Cimento)	23,14	23,14	23,14
ARI 7,5% Sílica (20% Cimento)	25,10	24,90	25,00
ARI 7,5% Sílica (25% Cimento)	24,07	24,03	24,05
ARI 7,5% Sílica (30% Cimento)	25,48	24,90	25,19

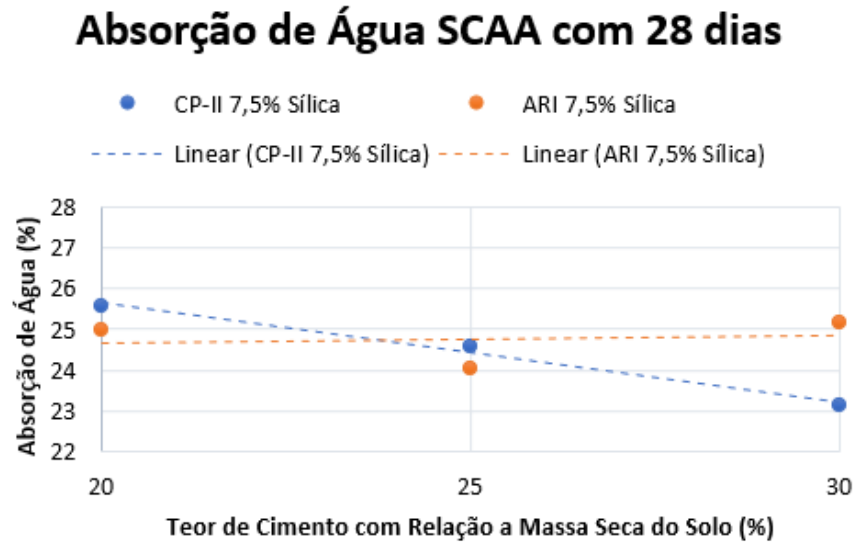
Fonte: Elaborado pela autora.

Para facilitar a análise isolada, elaborou-se a figura 11 e 12.

Figura 11 – Absorção de água média do SCAA 7,5% Sílica com 7 dias de cura.

Fonte: Elaborado pela autora.

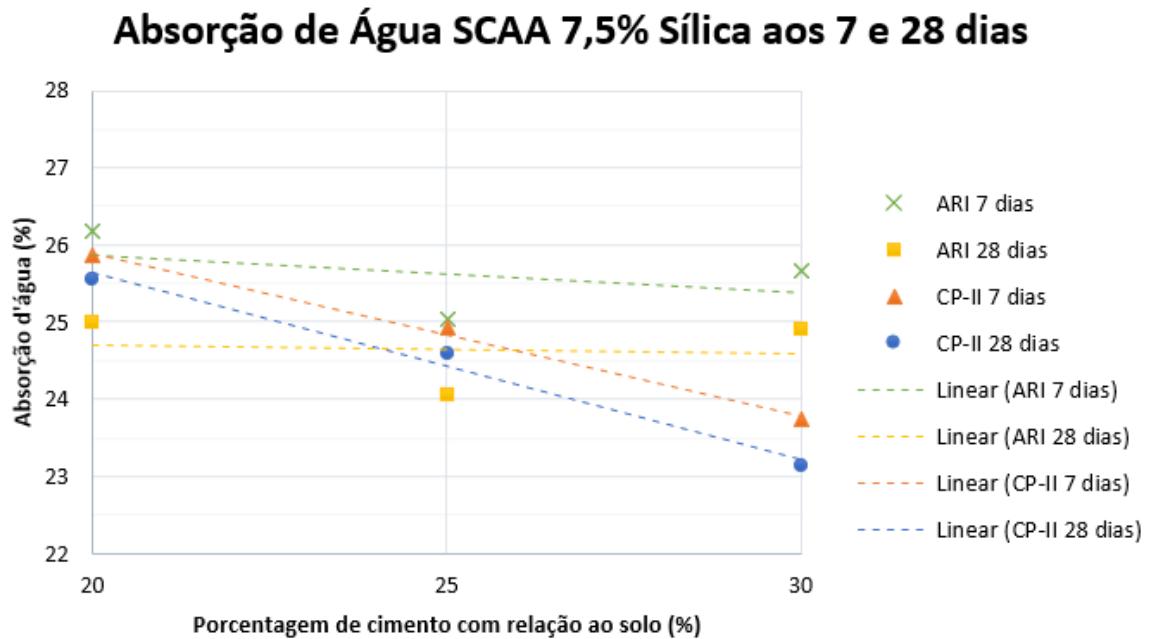
Figura 12 – Absorção de água média do SCAA 7,5% Sílica com 28 dias de cura.



Fonte: Elaborado pela autora.

Por fim, a figura 13 ilustra todos os resultados de absorção de água do SCAA.

Figura 13 – Absorção de água média do SCAA 7,5% Sílica aos 7 e 28 dias de cura.



Fonte: Elaborado pela autora.

iv. Ensaio de resistência mecânica à compressão axial

• Composições Cimento ARI

Considerando-se as idades de cura de 7 e 28 dias de cura observou-se para os dois casos um melhor perfil de crescimento da resistência para 28 dias de cura, quando considerado o teor de cimento.

Algumas inconsistências são observadas com relação a este aspecto, e provavelmente isso se justifica que para 30% se demanda um tempo maior para o desenvolvimento das reações de hidratação do cimento e entre o cimento e a matriz do solo.

Considera-se, também, o fator trabalhabilidade, onde as heterogeneidades da matriz possam dificultar na difusão interna durante o processo de hidratação.

Cabe observar que para algumas composições se pode notar um elevado coeficiente de variação para os valores de resistência mecânica, conduzindo os valores médios para valores mais ou menos elevados do que os reais, o que implicou em que valores de resistência de 28 dias de cura pudessem ser comparáveis ou inferiores que os correspondentes de 7 dias.

- Composições CP-II

Para os casos do cimento CP-II se observa um comportamento similar ao apresentado para o cimento ARI. As justificativas são consideradas as mesmas.

Abaixo, na tabela 10 e 11 estão representados os resultados para os ensaios de resistência à compressão axial.

Tabela 10 – Resultados de Resistência à compressão axial SCAA com 7 dias de cura.

Composição	Resistência à Compressão Axial SCAA com 7 dias de cura		
	Amostra 1 (MPa)	Amostra 2 (MPa)	Média (MPa)
CP-II REF (20% Cimento)	1,44	1,37	1,41
CP-II REF (25% Cimento)	4,46	3,09	3,78
CP-II REF (30% Cimento)	2,19	3,15	2,67
ARI REF (20% Cimento)	2,67	2,61	2,64
ARI REF (25% Cimento)	4,59	5,21	4,90
ARI REF (30% Cimento)	2,19	3,15	2,67
CP-II 7,5 Sílica (20% Cimento)	1,99	1,17	1,58
CP-II 7,5 Sílica (25% Cimento)	2,61	2,61	2,61
CP-II 7,5 Sílica (30% Cimento)	2,61	3,02	2,82
ARI 7,5 Sílica (20% Cimento)	2,00	2,40	2,20
ARI 7,5 Sílica (25% Cimento)	3,91	4,32	4,12
ARI 7,5 Sílica (30% Cimento)	2,61	3,15	2,88

Fonte: Elaborado pela autora.

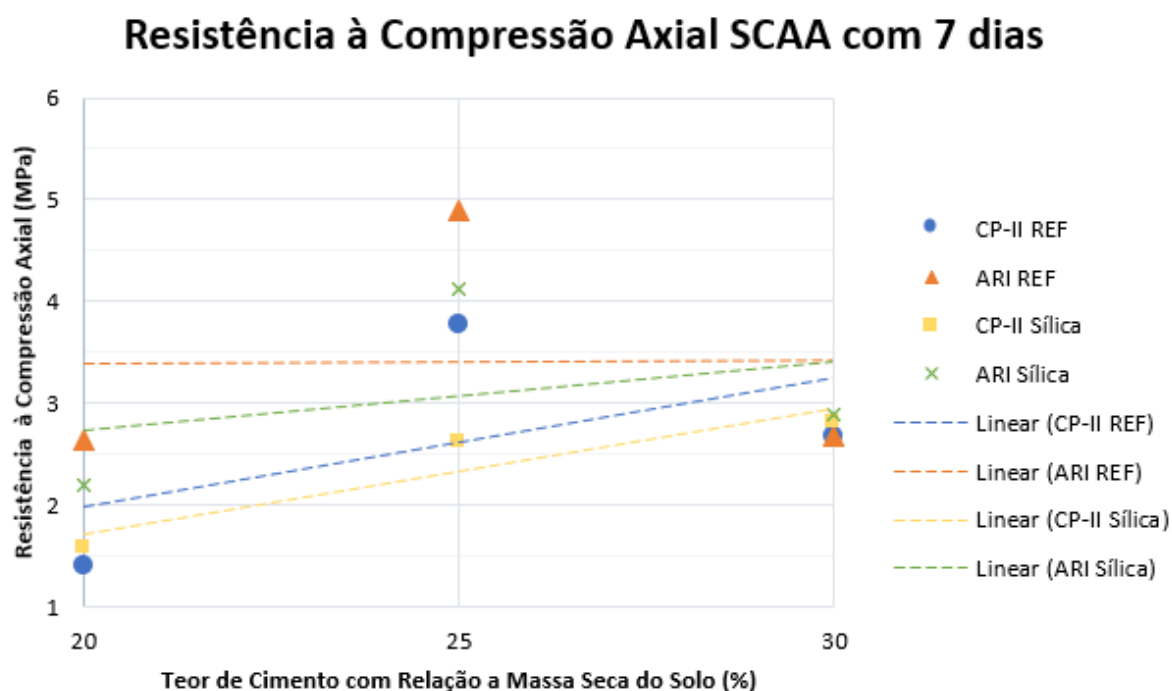
Tabela 11 – Resultados de Resistência à compressão axial SCAA com 28 dias de cura.

Composição	Resistência à Compressão Axial SCAA com 28 dias de cura		
	Amostra 1 (MPa)	Amostra 2 (MPa)	Média (MPa)
CP-II REF (20% Cimento)	3,36	0,62	1,99
CP-II REF (25% Cimento)	2,40	2,33	2,37
CP-II REF (30% Cimento)	2,33	2,74	2,54
ARI REF (20% Cimento)	3,09	3,36	3,23
ARI REF (25% Cimento)	3,91	2,40	3,16
ARI REF (30% Cimento)	5,55	6,65	6,10
CP-II 7,5 Sílica (20% Cimento)	3,09	2,13	2,61
CP-II 7,5 Sílica (25% Cimento)	3,57	-	3,57
CP-II 7,5 Sílica (30% Cimento)	5,90	5,07	5,49
ARI 7,5 Sílica (20% Cimento)	4,94	4,70	4,82
ARI 7,5 Sílica (25% Cimento)	6,72	4,18	5,45
ARI 7,5 Sílica (30% Cimento)	3,57	4,87	4,22

Fonte: Elaborado pela autora.

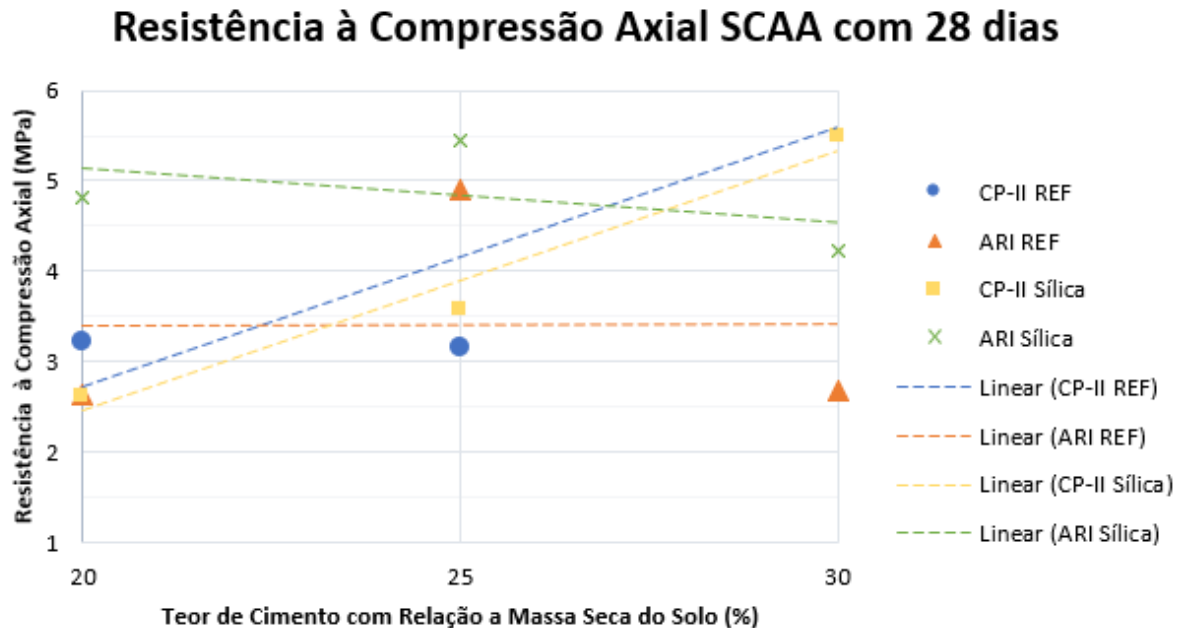
Assim, elaborou-se as figuras 14 e 15 para facilitar a análise do ensaio.

Figura 14 – Resultados de Resistência à compressão axial SCAA com 7 dias.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 15 – Resultados de Resistência à compressão axial SCAA com 28 dias.



v. Ensaio de resistência mecânica à compressão diametral

• Composições Cimento ARI

Com relação aos valores da resistência à compressão diametral também se observa alguns valores atípicos, provavelmente em decorrência dos mesmos fatores, em especial para 7 dias de cura, onde a condição de cimentação não se encontra ainda perfeitamente desenvolvida.

Para 28 dias de cura se observa uma tendência de que os resultados cresçam com o valor do teor de cimento, em razão de uma condição melhor de cimentação.

• Composições CP-II

Para os casos do cimento CP-II se observa um comportamento similar ao apresentado para o cimento ARI. As justificativas são consideradas as mesmas.

Abaixo, na tabela 12 e 13 estão representados os resultados para os ensaios de resistência à compressão axial.

Tabela 12 – Resultados de Resistência à compressão axial SCAA com 7 dias.

Composição	Resistência à Compressão Diametral SCAA com 7 dias		
	Amostra 1 (MPa)	Amostra 2 (MPa)	Média (MPa)
CP-II REF (20% Cimento)	1,37	1,23	1,30
CP-II REF (25% Cimento)	0,62	0,48	0,55
CP-II REF (30% Cimento)	1,17	1,03	1,10
ARI REF (20% Cimento)	2,47	1,65	2,06
ARI REF (25% Cimento)	1,51	1,30	1,41
ARI REF (30% Cimento)	1,85	2,04	1,95
CP-II 7,5 Sílica (20% Cimento)	1,30	0,62	0,96
CP-II 7,5 Sílica (25% Cimento)	1,38	0,75	1,07
CP-II 7,5 Sílica (30% Cimento)	1,65	2,06	1,86
ARI 7,5 Sílica (20% Cimento)	1,99	1,70	1,85
ARI 7,5 Sílica (25% Cimento)	2,54	3,22	2,88
ARI 7,5 Sílica (30% Cimento)	1,85	1,92	1,89

Fonte: Elaborado pela autora.

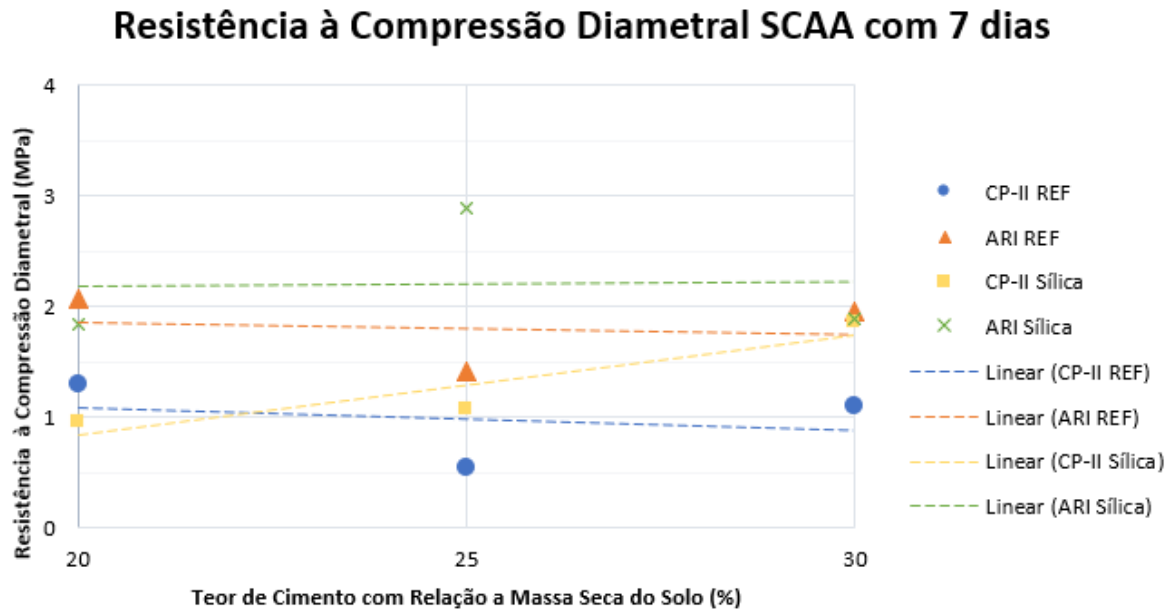
Tabela 13 – Resultados de Resistência à compressão axial SCAA com 28 dias.

Composição	Resistência à Compressão Diametral SCAA com 28 dias		
	Amostra 1 (MPa)	Amostra 2 (MPa)	Média (MPa)
CP-II REF (20% Cimento)	1,17	0,89	1,03
CP-II REF (25% Cimento)	1,44	1,58	1,51
CP-II REF (30% Cimento)	1,51	1,71	1,61
ARI REF (20% Cimento)	1,78	1,58	1,68
ARI REF (25% Cimento)	2,61	1,99	2,30
ARI REF (30% Cimento)	2,95	2,67	2,81
CP-II 7,5 Sílica (20% Cimento)	1,23	1,92	1,58
CP-II 7,5 Sílica (25% Cimento)	2,19	1,58	1,89
CP-II 7,5 Sílica (30% Cimento)	2,81	2,95	2,88
ARI 7,5 Sílica (20% Cimento)	1,92	1,99	1,96
ARI 7,5 Sílica (25% Cimento)	3,84	1,58	2,71
ARI 7,5 Sílica (30% Cimento)	3,09	3,15	3,12

Fonte: Elaborado pela autora.

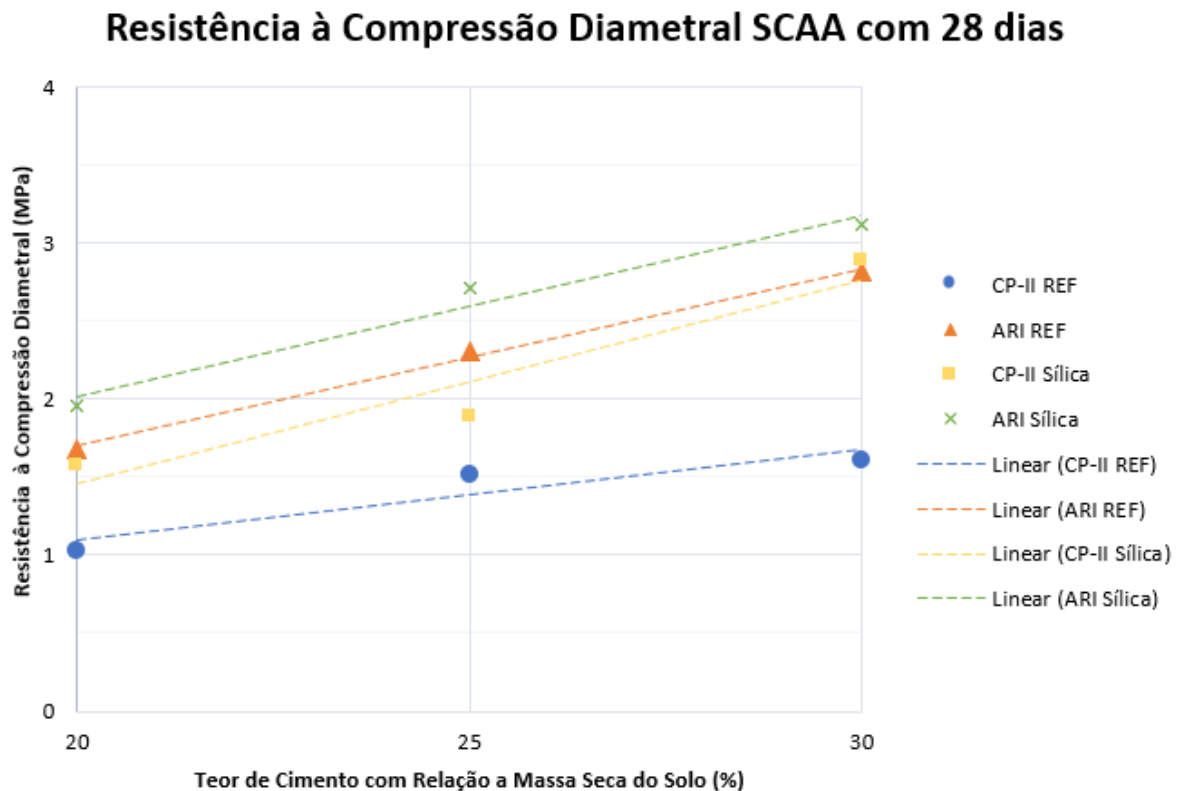
Assim, elaborou-se as figuras 16 e 17 para facilitar a análise do ensaio.

Figura 16 – Resultados de Resistência à compressão diametral SCAA com 7 dias.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 17 – Resultados de Resistência à compressão diametral SCAA com 28 dias.



Fonte: Elaborado pela autora.

Por fim, os resultados dos ensaios para o estado endurecido estão resumidos na tabela 14, a seguir.

Tabela 14 – Resultados estado endurecido.

Composição	Tempo de Cura	Resistência à compressão		Absorção (%)
		Axial (MPa)	Diametral (MPa)	
20% CII - REFERÊNCIA	7 dias	1,41	1,30	25,34
	28 dias	1,99	1,03	25,34
20% ARI - REFERÊNCIA	7 dias	2,64	2,06	26,37
	28 dias	3,23	1,68	26,17
25% CII - REFERÊNCIA	7 dias	4,90	1,41	24,19
	28 dias	3,16	2,30	23,24
25% ARI - REFERÊNCIA	7 dias	2,67	1,10	24,77
	28 dias	2,54	1,61	23,34
30% CII - REFERÊNCIA	7 dias	2,67	2,13	23,63
	28 dias	6,10	2,81	23,15
30% ARI - REFERÊNCIA	7 dias	1,58	0,96	23,71
	28 dias	6,10	2,81	22,73
20% CII - 7,5% SÍLICA	7 dias	1,58	1,30	25,86
	28 dias	2,61	1,58	25,56
20% ARI - 7,5% SÍLICA	7 dias	2,20	1,85	26,17
	28 dias	4,82	1,96	25,00
25% CII - 7,5% SÍLICA	7 dias	2,61	1,07	24,93
	28 dias	3,57	1,89	24,60
25% ARI - 7,5% SÍLICA	7 dias	4,12	2,88	25,03
	28 dias	5,45	2,71	24,05
30% CII - 7,5% SÍLICA	7 dias	2,82	1,86	23,75
	28 dias	5,49	2,88	23,14
30% ARI - 7,5% SÍLICA	7 dias	2,88	1,89	25,67
	28 dias	4,22	3,12	25,19

Fonte: Elaborado pela autora.

4.3 AVALIAÇÃO DE ASPECTOS DE INSTRUMENTAÇÃO

Observa-se que para alguns casos os valores de resistência à compressão se deram de modo diferenciado dos apresentados pelos ensaios de compressão diametral.

A isto se pode inferir sobre as possíveis contingências sobre os dois modos de avaliação, onde, as condições de aplicação dos ensaios podem induzir os corpos de prova à esforços parasitas, sendo mais relevantes para os casos de compressão axial, penalizando mais este tipo de ensaio.

Regiões de fraqueza dos materiais podem contribuir para rupturas prematuras, conduzindo-se a valores subestimados de resistência, e, as possíveis concentrações de tensões, resultante das heterogeneidades dos corpos de prova, puderam contribuir para este contexto.

Um fator ainda a ser considerado é o fato de se ter trabalhado com apenas duas unidades experimentais, ao invés de pelo menos 3, conduzindo-se a dificuldades para a percepção dos valores médios reais.

Em decorrência das inconsistências apresentadas, para a análise com base nos valores da porcentagem de cimento, se optou por fazer a análise com base nos valores médios dos teores de cimento, para a exploração dos resultados.

4.4 AVALIAÇÃO DE RESULTADOS

- Composições de referência

Com relação ao tipo de cimento, e composições de referência, pode-se notar, com base nos valores médios referente aos teores de cimento, que:

Percebeu-se um ganho de resistência mais sensível para o uso de cimento ARI, quando o tempo de cura variou de 7 para 28 dias. A variação do valor da resistência à compressão axial se deu no valor da ordem de 20,59% para os casos do cimento ARI, contra 3,07% para o cimento CP-II.

O ganho de resistência à compressão diametral também foi mais sensível para o uso do cimento ARI, sendo também perceptível o seu crescimento para os casos de cimento CP-II.

A relação entre os valores de resistência à compressão diametral, sobre os de compressão axial, se apresentou pouco variável para os casos de cimento ARI, enquanto para os casos de cimento CP-II, este valor aumentou. Cabe observar que para o caso do cimento CP-II os valores de compressão axial se manifestaram praticamente invariáveis, quando o tempo de cura variou de 7 para 28 dias, contrariamente aos valores de resistência à compressão diametral. Isto vem a colocar em evidência a possível influência dos fatores de instrumentação, os quais possivelmente mascararam os reais valores para os casos de compressão axial.

Com relação à variação das condições de absorção d'água e da resistência à compressão axial, quando considerados os tempos de cura de 7 para 28 dias, observa-se, para os dois casos, a diminuição dos valores de absorção, e aumento do valor da resistência mecânica, compatível com o grau de cimentação e a redução da porosidade.

Observa-se, neste caso, que a diminuição da absorção d'água foi maior para os casos do cimento ARI, proporcionalmente ao aumento do valor da resistência mecânica, devendo-se, contudo, atentar que, para os casos do cimento CP-II, o incremento da resistência à compressão axial foi insignificante, com base nos resultados alcançados.

- Casos de cimento com sílica

Observa-se que para os casos de composições com sílica o ganho de resistência foi sensível tanto para com os casos de cimento ARI, como de cimento CP-II. A isto se pode atribuir como causa provável o aumento da reatividade conferida pela presença da sílica ativa.

A variação percentual do valor da resistência mecânica se deu da ordem de 57,59% para os casos do cimento ARI, contra 66,17% para os casos do cimento CP-II com sílica.

Para os casos de resistência à compressão diametral se observa um crescimento mais modesto para os casos de CP-II sílica, enquanto para os casos de cimento CP-II sílica, o valor se mostrou mais sensível.

Os valores da relação resistência à compressão diametral/resistência à compressão axial se mostram ligeiramente diminuídos para os casos dos cimentos ARI sílica, e bastante próximos para os casos de cimentos CP-II sílica. A isto se atribui o fato observado de que tanto os valores de resistência à compressão axial evoluíram positivamente, como os de resistência à compressão diametral. Para os casos de cimento ARI sílica se observa a diminuição da relação, como indicativo de fragilidade, coerente com o uso de sílica para as composições mais resistentes.

Com relação à variação percentual da absorção com relação à variação percentual da resistência observa-se que tanto para os casos de cimento ARI sílica como de cimento CP-II sílica se manifestou a diminuição percentual da absorção com relação ao aumento da resistência mecânica, sendo a relação “variação percentual da absorção com relação à variação percentual da resistência” dada por 0,071 para os casos de cimento ARI sílica, e de 0,025 para os casos de cimento

ARI, indicando que para os casos de cimento ARI sílica a solução foi mais eficiente para diminuir a absorção d'água do material.

- Composições Cimento ARI e ARI+Sílica

Conforme se pode observar, nota-se um resultado superior para os casos de cimento ARI e ARI com sílica. O ganho percentual para os casos de cimento ARI foi de 20,59% comparando-se os valores de resistência mecânica aos 28 dias, comparados com os valores com os valores de 7 dias de cura. Já para os casos de ARI sílica esta porcentagem foi de 57,26%, de modo que, o benefício do uso do cimento ARI com sílica, expresso pelas porcentagens relativas aos ganhos de resistência foi da ordem de 2,78.

Para os casos de resistência à compressão diametral os valores se apresentam próximos em magnitude, contudo, a variação percentual dos valores entre 7 e 28 dias de cura se mostram vantajosos para os casos de ARI sílica, com variação de 48,72% para os casos de cimento ARI sílica contra 24,44% para os casos de cimento ARI somente.

Com respeito à variação da relação entre os valores da resistência à compressão diametral e à resistência à compressão diametral, se observa um aumento desta relação para os casos de cimento ARI, e uma diminuição para os casos de cimento ARI sílica. Isto se explica devido ao aumento da fragilidade conferido pela presença da sílica, e ao aumento do nível de resistência mecânica.

Para os casos da variação da absorção d'água com relação à variação da resistência mecânica se pode observar que para ambos os casos se observa a diminuição da absorção d'água com a variação do valor da resistência mecânica. Observa-se que este benefício foi mais vantajoso para os casos de cimento ARI, sendo a relação da ordem de 0,17 quando se compara com 0,07 para os casos de cimento ARI com sílica. A isto se atribui o papel higroscópico da sílica ativa.

- Composições CP-II e CP-II+Sílica

A variação percentual de resistência para os casos de cimento CP-II, quando considerados 7 e 28 dias de cura, é da ordem de 3,07, enquanto para os casos de CP-II com sílica é da ordem de 66,17. Considera-se com ressalvas pois, como dito, os valores de resistência axial para 7 dias de cura se mostraram atípicos.

Para os casos de resistência à compressão diametral se observa um crescimento substancial dos valores com o tempo de cura, em especial para os

casos de cimento CP-II sílica. O crescimento mais vantajoso pode ser em decorrência da maior cimentação proporcionada pela presença da sílica ativa.

Quanto à relação entre os valores da resistência à compressão diametral com relação aos valores da resistência à compressão axial, se observa um valor bastante próximo para os dois tipos de solução, em especial para 28 dias de cura.

Com relação à variação dos valores da absorção d'água com relação à variação da resistência mecânica axial, se observa um benefício mais favorável para os casos do cimento CP-II somente, da ordem de 0,64, contra 0,03 para os casos de cimento CP-II com sílica. Como já ressaltado, a presença da sílica ativa tende a contribuir para o aumento da higroscopicidade do material, contudo, deve-se receber esta comparação com ressalvas, visto que, para os casos de cimento CP-II os valores se mostraram minimizados.

Por fim, cabe aqui ressaltar que faz sentido um estudo futuro sobre como essas propriedades mecânicas e absorção de água evoluíram ao longo de um período de estudo mais prolongado e com mais corpos de prova (mínimo 3).

6 CONCLUSÃO

O aumento do teor de cimento influenciou as condições de coesão e viscosidade das misturas, em razão das propriedades dos materiais finos sobre as condições de mobilidade, em face de seus elevados valores de superfície específica; influenciando desfavoravelmente no tempo de escoamento, diâmetro de espalhamento e absorção d'água (indiferente com a adição de sílica). Porém, esse aumento possibilitou ganho no desempenho dos ensaios de resistência mecânica a compressão axial e diametral; porém não se observou mudanças notáveis na resistência mecânica com o aumento do tempo de cura (salvo para as misturas com CP-II que tiveram aumento com o passar do tempo). Por fim, observou-se que para os casos de composições com sílica o ganho de resistência foi sensível tanto para com os casos de cimento ARI, como de cimento CP-II; que pode se atribuir como causa provável o aumento da reatividade conferida pela presença da sílica ativa.

REFERÊNCIAS

ALCANTARA, M. A. M; CLAVERIE, J. **Estudo do solo-cimento autoadensável a partir da incorporação de agregado miúdo como parte da composição**. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 56, 2014, Natal, Anais...56 Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo: IBRACON, 2014. v. 1. np-np.

ALCANTARA, M. A. M; BERMUDEZ, M. E. H. T. **O solo-cimento autoadensável com a adição de pérolas de poliestireno expandido**. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 56, 2014, Natal. Anais...56 Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo: IBRACON, 2014. v. 1.np-np.

ALCANTARA, M.A.M; FIGUEIREDO, V.A. **As propriedades do solo-cimento autoadensável com adição de sílica ativa: estado fresco e estado endurecido**. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 62, 2020, on-line, Anais...62 Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo IBRACON, 2020. V.1 np-np

ALCANTARA, M. A. M.; NUNES, S. C. B.; RIO, J. F. M. E. **Estudo do solo-cimento autoadensável produzido com solo da região do Porto-Pt. Parte I: Caracterização das propriedades mecânicas**. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 9, 1, p. 37-51, 2014.

ALCANTARA, M. A. M CUSTODIO, M. S; VIZHALIL, P. M **O solo cimento autoadensável com adição de cinzas de casca de arroz como aditivo auxiliar**. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 57, 2015, Bonito MS, Anais...56 Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo IBRACON, 2015. V.1 np np

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 13276 Argamassas para assentamento e revestimento de paredes tetos preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12025: solo cimento ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13555: solo cimento determinação da absorção d'água**. Rio de Janeiro, 1996. 1 p.

BERTE, S. D. D; ALCANTARA, M. A. M **Estudo do comportamento do solo cimento autoadensável**. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil , v. 7, 2, pp. 16 31, 2013.

MILANI, A.P.S; BARBOZA, C.S. **Contribuição ao estudo de propriedades do solo cimento autoadensável para fabricação de paredes monolíticas**, Ambiente Construído, Porto alegre, v.16, 4, p.143 153, 2016.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. Porto Alegre, 2016, bookman, 887p.
SEGANTINI, A.A; ALCANTARA, M.A.M. **Solo cimento e solo cal**. MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL E PRINCÍPIOS DE CIÊNCIAS DE MATERIAIS, vol2, São Paulo, 2017, IBRACON, p. 885 921

PAULINICH, L. T; ALCANTARA, M. A. A. **Estudo de variação das propriedades do solo-cimento autoadensável no estado fresco e endurecido a partir da incorporação de fibras curtas lisas de polipropileno ao solo**. Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2018.

SANTOS, R. S.; BARBOSA, J. J. **Template para produção de trabalhos acadêmicos na Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Unesp**. Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Biblioteca, 2021. 40 p.

FONSECA, A. V; CRUZ, R. C; CONSOLI, N. C. **Strength properties of a sandy soil-cement admixtures**. Journal Geotechnical & Geological Engineering, Oklahoma, v. 27, n. 6, p. 681-686. 2009.

ALCÂNTARA, M. A. M. **Bétons auto-plaçants et fibrages hybrides: composition, rhéologie et comportement mécanique**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Institut National des Sciences Appliquées – INSA, Toulouse, 2004. 192p.

LIMA, D. C. **Algumas considerações relativas a aspectos da estabilização de solos, em particular a estabilização solo-cal**. 1981. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1981.

R. A. Bispo, G. O. Vicente, G. P. Silva Junior, D. U. Benjamim, M. A. M. Alcântara. **Investigation of rheological behavior of self-compacting and high performance composite concretes**. Materials Research. 24 (suppl. 2), 2021.