FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

AVALIAÇÃO FISICO-MECÂNICA DO SOLO-CIMENTO AUTOADENSÁVEL PARA FABRICAÇÃO DE PAREDES MONOLÍTICAS

CHRISTIAN SOUZA BARBOZA

CAMPO GRANDE
2014

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

AVALIAÇÃO FISICO-MECÂNICA DO SOLO-CIMENTO AUTOADENSÁVEL PARA FABRICAÇÃO DE PAREDES MONOLÍTICAS

CHRISTIAN SOUZA BARBOZA

Trabalho de Conclusão de Curso do Mestrado Profissional apresentado na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração: Sustentabilidade.

Orientadora: Prof. Dr. Ana Paula da Silva Milani

CAMPO GRANDE

2014

FOLHA DE APROVAÇÃO – ATA DE DEFESA

DEDICATÓRIA

A todos aqueles que, de alguma, forma me incentivavam e me apoiaram durante toda essa caminhada. Nesses anos de curso, pude contar com o carinho e a compreensão de todos os meus familiares e, em especial, da minha namorada, melhor amiga e companheira Tatiane Queiroz, que esteve ao meu lado em todos os mementos, sejam eles difíceis ou felizes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me iluminou e protegeu durante a realização desta pesquisa, dando-me forças para prosseguir e não desistir de lutar pelos meus objetivos.

Aos meus pais Jandira Barboza e Milton Barboza, pelo apoio e incentivo.

Aos meus professores que me passaram todos os conhecimentos necessários para a elaboração e concepção deste trabalho.

Aos acadêmicos do curso de graduação em engenharia civil desta universidade, que me auxiliaram na realização dos ensaios laboratoriais, em especial os acadêmicos Milton Barboza Neto e Geovanni Corrêa, que não mediram esforços para a realização desta pesquisa.

À professora Ana Paula Milani, que sempre esteve presente na realização desta pesquisa, desde a primeira conversa para decisão do tema, até a fase de análise dos resultados. Agradeço pela dedicação e pelo apoio que sempre me prestou.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA ..... **iv**

AGRADECIMENTOS ..... **v**

LISTA DE FIGURAS ..... **x**

LISTA DE TABELAS ..... **xiv**

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS ..... **xvi**

LISTA DE SÍMBOLOS ..... **xvii**

RESUMO ..... **xviii**

ABSTRACT ..... **xix**

1 INTRODUÇÃO **13**

2 OBJETIVO **17**

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **18**

3.1 Introdução 18

3.2 Solo-cimento 18

3.3 Cimento-aditivo 20

3.3.1 Aditivos a base de Lignosulfonatos 22

3.3.2 Naftaleno – NS 25

3.3.3 Policarboxilatos – PC 27

3.3.4 Dosagem de cimento-aditivo 29

3.4 Propriedades dos materias cimentíceos no estado fresco 32

3.5 Propriedades dos materiais cimentíceos no estado endurecido 35

4 MATERIAIS E METODOLOGIA **44**

4.1 Introdução 44

4.2 Equipamentos e Utensílios Utilizados 44

4.3 Materiais 45

4.3.1 O Solo 45

4.3.2 Cimento 47
4.3.3 Aditivo 47
4.3.4 Água 48
4.4 Metodologia 50
4.4.1 Primeira fase 50
4.4.1.1 Estudo de dosagem 50
4.4.1.2 Dosagens de aditivo 53
4.4.1.3 Homogeneização e moldagem das misturas 53
4.4.2 Segunda fase 54
4.4.2.1 Caracterização físico-mecânica das misturas de solo-cimento plástico 54
4.4.2.2 Ensaio de compressão simples 55
4.4.2.3 Ensaio de compressão diametral 55
4.4.2.4 Ensaio de absorção de água 55
4.4.2.5 Ensaio de absorção de água por capilaridade 55
4.4.2.6 Ensaio de índice de vazios 57
4.4.2.7 Teor de ar incorporado 57
4.4.2.8 Densidade de massa 57
4.4.2.9 Ensaio de fissuração e perda de massa 57
4.4.2.10 Retração livre e por secagem 60
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 62
5.1 Introdução 62
5.2 Caracterização dos materiais 62
5.3 O solo 62
5.4 Ensaio de classificação do solo 62
5.4.1 Índices físicos do solo 63
5.4.2 Ensaio de distribuição granulométrica do solo 63
5.4.3 Umidade Natural do solo 64

5.5 Primeira fase 64
5.5.1 Estudo de dosagens 64
5.5.1.1 Dosagem dos percentuais de aditivo a serem analisados 64
5.5.1.2 Análise do aditivo MasterGlenium 51 65
5.5.1.3 Análise do aditivo Plastool 4100 71
5.5.2 Análise quanto à consistência das misturas no estudo de traço 76
5.5.3 Resistência à compressão axial e diametral aos 3 e 7 dias 79
5.5.4 Análise estatística para o estudo de dosagem 82
5.5.5 Conclusões do estudo de traço 83
5.6 Segunda fase: Caracterização físico-mecânica do solo-cimento autoadensável 85
5.6.1 Análise quanto à consistência das misturas 85
5.6.2 Retrações livres, comprimidas e por secagem 88
5.6.3 Ensaio de compressão axial e diametral 92
5.6.4 Ensaio de índice de vazios, absorção de água por imersão e por capilaridade. 93
5.6.5 Avaliação de fissurações e perda de massa 95
5.6.6 Densidade de massa e teor de ar incorporado 102
6 Considerações finais 103
6.1 Sobre o estudo de traço: 103
6.2 Consistência das misturas: 103
6.3 Retrações: 103
6.4 Resistências mecânicas: 104
6.5 Índices físicos: 104
6.6 Fissuração: 104
6.7 Densidade aparente e teor de ar incorporado: 105
6.8 Conclusões gerais: ..... **Erro! Indicador não definido.**

7 Recomendações para trabalhos futuros.....106

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....107

9 ANEXOS.....116

9.1 Resultados da ANOVA e teste de Tukey para o estudo de traço – Resistências à compressão axial aos 3 dias.....116

9.2 Resultados da ANOVA e teste de Tukey para o estudo de traço – Resistências à compressão axial aos 7 dias.....119

9.3 Resultados da ANOVA e teste de Tukey para a segunda fase da pesquisa – Resistências à compressão diametral aos 3, 7, 14 e 28 dias.....122

9.4 Resultados da ANOVA e teste de Tukey para a segunda fase da pesquisa – Resistências à compressão axial aos 3, 7, 14 e 28 dias.....125

9.5 Resultados da ANOVA e teste de Tukey para a segunda fase da pesquisa – Absorção de água por imersão aos 7, 14 e 28 dias.....128

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema molecular para aditivos plastificantes 22
Figura 2: Esquema molecular para aditivos plastificantes 22
Figura 3: Esquema de interações eletrostáticas dos aditivos 24
Figura 4: Estrutura molecular de um naftaleno 25
Figura 5: Modelo da Estrutura ativa da relação entre o éter policarboxilato e o cimento 28
Figura 6: Representação de uma molécula de um policarboxilato 29
Figura 7: Teores médios de ar incorporado para os traços com aditivo polifuncional. 35
Figura 8: Teores médios de ar incorporado para os traços com aditivo plastificante... 35
Figura 9: Diagrama de misturas analisadas 36
Figura 10: (a) Material sólido com permeabilidade reduzida; (b) Material sólido permeável. 37
Figura 11: Gráfico da relação entre tensão de ruptura e teor de umidade 38
Figura 12: Gráfico da relação entre índice de vazios e consumo de água. 38
Figura 13: Ensaio de retração pelo método de caixa. 39
Figura 14: Ilustração do mecanismo de retração total 40
Figura 15: Equipamento de medida de retração livre linear de argamassa no estado fresco 41
Figura 16: Moldes utilizados para o ensaio de fissuração. 42
Figura 17: Sistema proposto para o equipamento de ensaio para fissuração 43
Figura 18: Mapa de distribuição dos solos em Mato Grosso do Sul. 45
Figura 19: Legendas do mapa de distribuição dos solos em Mato Grosso do Sul. 46
Figura 20: Diagrama de Traços a serem estudados. 52
Figura 21: Dimensões do molde adaptado da norma ASTM C1579 (2006) para avaliar a fissuração. 58
Figura 22: Ensaio de avaliação da fissuração e perda de água. 59
Figura 23: Ensaio de avaliação da fissuração e perda de água. 60
Figura 24: Ensaio de avaliação das retrações livres, comprimidas e por secagem. 61
Figura 25 - Porção de solo em estado natural 62
Figura 26 - Curva granulométrica do solo 63

Figura 27 - Gráfico da relação entre percentual do aditivo ”MasterGlenium 51” e diâmetro médio de abertura para os traços definidos a partir de 1/8 65
Figura 28 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo” MasterGlenium 51” para os traços a partir de 1/8 - 1° adição 66
Figura 29 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “MasterGlenium 51” ” para os traços a partir de 1/8 - 2° adição 66
Figura 30 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “MasterGlenium 51” ” para os traços a partir de 1/8 - 3° adição 67
Figura 31 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “MasterGlenium 51” ” para os traços a partir de 1/8 - 4° adição 67
Figura 32 - Gráfico da relação entre percentual do aditivo ”MasterGlenium 51” e diâmetro médio de abertura para os traços definidos a partir de 1/12 68
Figura 33 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “MasterGlenium 51” ” para os traços a partir de 1/12 - 1° adição 68
Figura 34 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “MasterGlenium 51” ” para os traços a partir de 1/12 - 2° adição 69
Figura 35 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “MasterGlenium 51” ” para os traços a partir de 1/12 - 3° adição 69
Figura 36 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “MasterGlenium 51” ” para os traços a partir de 1/12 - 4° adição 70
Figura 37 – Comparação entre o desempenho do aditivo “MastelGlenium 51” para as diferentes dosagens 70
Figura 38 - Gráfico da relação entre percentual do aditivo ”Plastol 4100” e diâmetro médio de abertura para os traços definidos a partir de 1/8 71
Figura 39 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “Plastol 4100” para os traços a partir de 1/8 - 1° adição 71
Figura 40 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “Plastol 4100” para os traços a partir de 1/8 - 2° adição 72
Figura 41 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “Plastol 4100” para os traços a partir de 1/8 - 3° adição 72
Figura 42 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “Plastol 4100” para os traços a partir de 1/8 - 4° adição 73

Figura 43 - Gráfico da relação entre percentual do aditivo ”Plastol 4100” e diâmetro médio de abertura para os traços definidos a partir de 1/12 73
Figura 44 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “Plastol 4100” para os traços a partir de 1/12 - 1° adição 74
Figura 45 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “Plastol 4100” para os traços a partir de 1/12 - 2° adição 74
Figura 46 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “Plastol 4100” para os traços a partir de 1/12 - 3° adição 75
Figura 47 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “Plastol 4100” para os traços a partir de 1/12 - 4° adição 75
Figura 48 – Comparação entre o desempenho do aditivo “Plastol 4100” para as diferentes dosagens 76
Figura 49 - Comparação entre os teores de umidades adquiridos pelo emprego de diferentes dosagens de aditivo 78
Figura 50 - Resistências à compressão axial para a dosagem 1/8 no estudo de traços. 80
Figura 51 - Resistências à compressão axial para a dosagem 1/12 no estudo de traços 81
Figura 52 – Evolução das resistências à compressão axial com o emprego do aditivo “MasterGlenium 51” 81
Figura 53 – Evolução das resistências à compressão axial com o emprego do aditivo “Plastol 4100” 82
Figura 54 - Visão superior do ensaio de "flow table" 86
Figura 55 - Visão frontal do ensaio de "flow table" 86
Figura 56 – Evolução da manutenção dos abatimentos pelo uso dos aditivos ao longo do tempo 87
Figura 57 – Diferença de aberturas constatadas no ensaio de manutenção de abatimento 87
Figura 58 - Efeito dos percentuais de cimento na velocidade das retrações 89
Figura 59 - Evolução das retrações ao longo do tempo (mm) 90
Figura 60 - Evolução das retrações ao longo do tempo (mm/m/m²) 91
Figura 61 - Evolução das resistências à compressão diametral e axial 93
Figura 62 - Relação entre a absorção por imersão e resistências mecânicas 94
Figura 63 - Ensaio de fissuração - amostras expostas ao calor 96

Figura 64 – Relação entre a perda de massa e área total de fissuras 98
Figura 65 - Evolução das áreas das fissuras em diferentes condições..... 100
Figura 66 - Relação entre as áreas de fissuras e a perda de massa 101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Benefícios conseguidos pelo emprego de aditivos redutores de água 25
Tabela 2: Estudo comparativo, analisando a influência da utilização de aditivo superplastificante 27
Tabela 3: Teores de cimento para estabilização de solo 30
Tabela 4: Classificação dos aditivos em função da redução de água, dosagem típica e incremento na resistência à compressão de concretos. 31
Tabela 5: Tabela de resistências à compressão simples 32
Tabela 6 - Dados do aditivo MasterGlenium 51 da empresa BASF S.A. 47
Tabela 7 - Dados do aditivo Plastol 4100 da empresa VIAPOL Ltda. 48
Tabela 8 - Relatório de informações mensais de abastecimento sobre a qualidade da água para consumo humano em Campo Grande. 49
Tabela 9: Valores de referência para a utilização de solo-cimento 50
Tabela 10 - Denominações utilizadas para a identificação dos traços no trabalho 51
Tabela 11 - Resultados da Caracterização do Solo 63
Tabela 12 - Resumo da Distribuição Granulométrica do Solo. 63
Tabela 13 - Umidade natural do solo pelo método de "Speedy" 64
Tabela 14 - Avaliação quanto à consistência das misturas. 77
Tabela 15 - Avaliação qualitativa quanto à consistência das misturas. 78
Tabela 16 - Resistências à compressão axial nas idades de 3 e 7 dias no estudo de traço. 80
Tabela 17 - Avaliação quanto ao formato das aberturas do ensaio de consistência das misturas. 85
Tabela 18 - Avaliação qualitativa quanto à consistência das misturas. 85
Tabela 19 - Relações entre os componentes das misturas 88
Tabela 20 - Ensaio à compressão axial de corpos-de-prova de solo cimento plástico (a) 92
Tabela 21- Ensaio à compressão diametral de corpos-de-prova de solo cimento plástico (a) 92
Tabela 22 - Ensaio de absorção de água por imersão. 94
Tabela 23 - Ensaio de índice de vazios 94

Tabela 24 - Ensaios de Capilaridade 95
Tabela 25 - Amostras exposta ao calor no ensaio de fissuração..... 96
Tabela 26 - Amostras não expostas ao calor no ensaio de fissuração 97
Tabela 27 - Amostras não expostas ao calor no ensaio de fissuração 99
Tabela 28 - Amostras não expostas ao calor no ensaio de fissuração 99
Tabela 29 - Densidade aparente no estado fresco e endurecido e teor de ar incorporado 102

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
HRB	Highway Research Board
PCA	Portland Cement Association
NBR	Norma Brasileira Regulamentada
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
MS	Mato Grosso do Sul
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo
CEPED	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia

LISTA DE SÍMBOLOS

mm	Unidade de medida de comprimento em milímetro
MPa	Unidade de medida de Resistência em MegaPascal
kg	Unidade de medida de massa em quilograma
g	Unidade de medida de massa em grama
%	Porcentagem
cm	Unidade de medida de comprimento em centímetro
CP-II-E-32	Cimento Portland Classe II, com adição de escória de alto forno e resistência de 32 MPa aos 28 dias
g/cm³	Unidade de medida de massa específica grama por centímetro cúbico
l	Unidade de medida de volume em litros
LS	Lignosulfonato
NS	Naftaleno
PC	Policarboxilato
JIS	Japan Industrial Standard
h	Unidade de medida de tempo em horas
C	Absorção de água por capilaridade, $g.cm^{-2}$
D.P.	Desvio padrão das amostras
C.V.	Coeficiente de Variação das amostras
#	Abertura das malhas das peneiras, mm

RESUMO

A crescente necessidade de moradia, decorrente de um crescimento demográfico positivo observado nas ultimas décadas, faz com que a engenharia civil se empenhe em buscar soluções tecnológicas que aliem menores custos de produção com impactos ambientais reduzidos. Em Mato Grosso do Sul, verifica-se que grande parcela da população vive em edificações precárias, sendo esta situação considerada mais critica nas zonas não metropolitanas. Esta pesquisa busca apresentar o solo-cimento como alternativa aos insumos tradicionalmente utilizados na construção civil. Com o objetivo de conhecer o comportamento das misturas de solo-cimento autoadensáveis, foi feito um estudo de traços a partir das dosagens 1:8 e 1:12 (cimento:solo, em massa), empregando-se percentuais de dois tipos de aditivos químicos a base de policarboxilatos nas quantidades de 0,40% a 1,60% a partir da massa do ligante. Com base neste estudo preliminar, foram selecionados dois traços contendo 1:8 e 1:12, com a adição de 0,80% e 1,20% de aditivo superplastificante, respectivamente. Para a caracterização do material, foram realizados ensaios de resistência mecânica e índices físicos avaliando-se o seu desempenho no estado fresco e endurecido, bem como o seu comportamento quanto às retrações e suscetibilidades ao aparecimento de fissuras. Os resultados indicaram que o percentual de cimento e de aditivo nas dosagens teve grande influência no alcance das características finais do material, possibilitando que ambos os traços selecionados possuíssem características favoráveis à sua aplicação em estruturas de vedação, como paredes monolíticas não-portantes.

Palavras-chave: solo-cimento, autoadensável, resistência mecânica, aditivo superplastificante.

ABSTRACT

The growing need for housing, resulting in a positive population growth observed in recent decades, makes the civil engineering endeavors to seek technological solutions that combine lower production costs with reduced environmental impacts. In Mato Grosso do Sul, it appears that much of the population lives in substandard buildings, this situation being considered more critical in non-metropolitan areas. This research aims to present the soil-cement as an alternative to traditional inputs used in construction. With the objective of understanding the behavior of soil-cement mixtures autoadensáveis, a study of traits was made from the dosages 1: 8 and 1:12 (cement: soil mass), using percentage of two types of additives chemical-based polycarboxylate in quantities of 0.40% to 1.60% from the weight of the binder. Based on this preliminary study, we selected two lines containing 1: 8 and 1:12, with the addition of 0.80% and 1.20% of superplasticizer, respectively. For material characterization, testing the mechanical resistance and physical indices were performed by evaluating its performance in the fresh and hardened, and their behavior regarding retractions and susceptibility to cracking. The results indicated that the percentage of cement and additive dosages had major influences in the achievement of the final characteristics of the material, allowing both selected traits possessed favorable to its application in sealing structures, as non-supporting walls monolithic characteristics.

Keywords: soil cement, self-compacting, mechanical strength, superplasticizer.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial vem se tornando, nos últimas décadas, insustentável. As demandas com alimentação, moradia e demais necessidades básicas se intensificam. Nos chamados países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, esta dinâmica é intensa, sendo que, para as classes sociais de baixa e média renda, tal situação mostra-se com maior gravidade.

A necessidade de moradia pode ser destacada como sendo um dos principais desafios a serem sanados pelos governantes na atualidade. No Brasil, de acordo com o último Censo (2010), o déficit imobiliário, ou seja, a quantidade de imóveis considerados precários somados aos domicílios com famílias em regime de coabitação forçada, aqueles alugados e considerados com adensamento excessivo e ainda, os alugados com seus ônus ultrapassando 30% do valor da renda das famílias que os habitam, representa 12,10% das edificações. Em valores absolutos, isso significa 6,64 milhões de habitações. Segundo o IPEA (2013), nas regiões metropolitanas, isso representa um total de 81,0%, porém proporcionalmente o déficit rural é de mais de 15,0%, contra aproximados 10,0% nas regiões urbanas. Analisando-se esses números com relação à faixa de rendimentos mensais verifica-se que, na parcela da população com renda de até três salários mínimos aliados aos ditos sem rendimentos, segundo o Censo, o déficit é de aproximados 3,95 milhões, representando 70,6% do total de necessidade de moradias.

Na região Centro-Oeste, especialmente no estado de Mato Grosso do Sul, destaca-se, na composição das 86.009 unidades habitacionais em déficit, uma grande parcela da população vivendo em edificações precárias ou provisórias. Nas zonas não metropolitanas a situação é ainda pior, cerca de 30% da demanda de moradias tem sua necessidade embasada neste problema social.

A engenharia civil, bem como as ciências aplicadas ao estudo de edificações, busca entre outros aspectos solucionar problemas relacionados à otimização de recursos, bem como à diminuição de seus custos, sejam eles oriundos de sua extração, transporte ou aplicação. Para tanto, se faz viável inúmeras soluções amplamente estudadas e aplicadas em meio acadêmico, tais como, os estudos desenvolvidos na área de gestão de suprimentos, inserção de maquinários nos canteiros de obras, utilização de sistemas de

pré-fabricações, bem como a produção de edificações modulares e em série moldadas *in loco*.

Segundo Misurellie e Massuda (2009), a construção de edificações com paredes monolíticas de concreto possibilita, com grande êxito, a racionalização e aumento de produtividade para edificações construídas em série, aferindo, ao sistema de produção, qualidade e economia de escala com relação à diminuição dos percentuais registrados na atualidade para o déficit imobiliário brasileiro.

Na linha de pesquisa de materiais e técnicas construtivas de baixo custo, pode ser destacada a utilização do solo como material construtivo. Este material tende a apresentar-se como alternativa aos insumos utilizados em larga escala na construção civil. Atualmente, as pesquisas na área de solo estabilizado, para fins de vedação, estão direcionadas à produção de tijolos, utilizando a técnica de prensagem ou mesmo a utilização da técnica de compactação do material para confecção de paredes monolíticas.

Segundo estudos realizados por Segantini (1994), alicerçados em dados experimentais para estudo de mecânica dos solos e fundações da faculdade de engenharia de Ilha Solteira-SP, o uso alternativo do solo-cimento ao invés de concreto, reduziria os custos com materiais e mão de obra na ordem de 30 a 35%, dependendo do diâmetro das estacas utilizadas. A pesquisa estudou a produção de estruturas em grande escala, em específico a possibilidade de disponibilizar nova opção de estacas produzidas com o solo-cimento.

O principio usado para a utilização do solo-cimento como material construtivo consiste em trabalhar com uma determinada mistura de solo, cimento e água, e basicamente variam-se as quantidades destes elementos. A aproximação das partículas e, consequentemente, a redução de vazios faz-se por compactação ou prensagem, havendo posteriormente as reações físico-químicas do ligante que afere, à mistura, uma determinada resistência. Para a fabricação de blocos e tijolos de solo-cimento, ou mesmo para utilização deste em pavimentações, trabalha-se com um teor de umidade no solo chamado de ótimo, ou seja, a quantidade de água a ser empregada na mistura é obtida a partir do ensaio de compactação do solo, analisando-se a sua curva de compactação e massa específica aparente. O material apresenta características com pouca fluidez, semelhante a uma “farofa”.

Pesquisas acadêmicas apontam também a possibilidade de utilização do material solo-cimento no estado plástico, com consistência similar a uma argamassa, sendo

empregado em fundações e revestimento de edificações. A utilização do solo-cimento Plástico (SCP) permite maior rapidez na produção e aplicação do material, haja vista que, o processo de preparação da mistura em betoneira proporciona maior agilidade e qualidade final, possibilitando a perfeita homogeneização dos elementos (SEGANTINI, 2000).

Ainda na linha das pesquisas da utilização de misturas de solo-cimento com maior fluidez, estudos atuais demonstram que existe a possibilidade da utilização do solo-cimento sem a necessidade de adensamento mecânico, possibilitando-se a utilização deste material de forma semelhante ao concreto autoadensável, porém ainda se fazem necessários estudos com maior profundidade nesta área.

Esta pesquisa busca investigar o emprego da utilização do solo-cimento autoadensável para produção de paredes monolíticas não-portantes. A tecnologia de estabilizantes e aditivos químicos vislumbra atribuir características físico-mecânicas que satisfazem os critérios de segurança, conforto e habitabilidade ao material final, aprimorando, assim, a utilização do solo-cimento para vedações.

O trabalho foi estruturado em cinco capítulos, o primeiro contendo esta breve introdução ao assunto, sendo exposto um recorte da problemática que motivou o início desta pesquisa, a justificativa, as delimitações e os aspectos gerais sobre o tema.

Os objetivos gerais e específicos são apresentados no segundo capítulo. Tais objetivos forneceram os rumos do trabalho teórico e prático desenvolvido.

No terceiro capítulo são expostas algumas considerações teóricas com o enfoque no tema solo-cimento autoadensável e demais assuntos relacionados aos seus componentes, bem como suas relações, sendo observadas algumas considerações sobre as propriedades físico-mecânicas de materiais com características semelhantes ao objeto da pesquisa.

O quarto capítulo foi dedicado a explicar o programa experimental efetuado. Com o intuito de se alcançar os objetivos pré-estabelecidos, são expostos os ensaios e procedimentos realizados, bem como os materiais e equipamentos envolvidos.

Os resultados são apresentados e discutidos no quinto capítulo, onde são comparadas, de maneira crítica, as expectativas teóricas para o material pesquisado com os resultados práticos obtidos. Outras pesquisas que trabalharam com materiais semelhantes são trazidas a luz a título de comparação.

O trabalho é finalizado no sexto capítulo, onde são apresentadas as conclusões tiradas na análise prática e teórica do material pesquisado. Também são observadas algumas outras hipóteses que, no futuro, poderão ser fontes motivadoras para novas pesquisas.

2 OBJETIVO

Objetivo Principal

Estudar misturas de solo-cimento autoadensável, caracterizando-as conforme as suas características físico-mecânicas e tendo em vista a possibilidade de sua aplicação, lançamento e autoadensamento em painéis monolíticos não portantes.

Objetivos Específicos

- Estudar e definir proporções de diferentes aditivos para o alcance de uma consistência adequada.
- Estudar misturas de solo, cimento, água e aditivo para o alcance de resistências mecânicas mínimas para a sua aplicação e durabilidade.
- Verificar o comportamento físico do material solo-cimento autoadensável.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Introdução

Neste capítulo, são apresentados alguns conceitos e definições necessários para a boa compreensão da metodologia a ser empregada para a obtenção dos objetivos almejados. Os componentes da mistura de solo, cimento, água e aditivos químicos são elencados e discutidos, bem como suas relações são entendidas e revisadas, com o intuito de se compreender, teoricamente, como irá se comportar o solo-cimento autoadensável. Também são revistos algumas propriedades físicas e químicas deste material.

3.2 Solo-cimento

Segundo a ABCP (1986), o termo solo-cimento pode ser entendido como uma mistura homogênea de solo, cimento e água em quantidades adequadas, sendo esta compactada e curada, obtendo-se resistência à compressão adequada. Ainda a mistura deve obter bom índice de impermeabilidade, baixo índice de retração volumétrica e boa durabilidade. Outra observação se faz com relação à quantidade dos materiais na mistura, sendo que, o solo deve ser a parcela mais significativa, o cimento deve fica entre 5% a 10% do peso do solo, sendo o percentual definido e adequado para estabilizar o solo e, com isso, atingirem-se as propriedades mecânicas adequadas.

O conceito de solo-cimento teve origem em 1917 em Sallsburg - Áustria, no entanto, os primeiros trabalhos científicos controlados datam de 1932, quando nos EUA, mais específicamente em Johnsonville, Carolina do Sul, onde este material foi utilizado para a pavimentação de um trecho de 160 m de comprimento e 6m de largura, com 15 cm de espessura e um consumo de 160 kg de cimento por metro cúbico de solo-cimento, tendo como resultado um produto resistente à ação de tráfego, que não se deteriorava com a variação de tempo, a umidade e agentes agressivos (LIMA, 2006).

Na abordagem de Segantini (2000), o solo-cimento pode ser classificado em duas categorias: SCC (solo-cimento compactado) e SCP (Solo-cimento plástico). No caso do SCC, a água deve ser adicionada em quantidade suficiente, de modo que possibilite compactação máxima e ocorrência das reações de hidratação do cimento. No caso do SCP, a água é

adicionada até que se obtenha um produto de consistência plástica similar a de uma argamassa de emboço.

Berté (2012) afirma que há a possibilidade de se utilizar o solo-cimento com alto índice de fluidez, dando ao material características reológicas semelhantes ao concreto autoadensável, ou seja, o solo-cimento autoadensável (SCAA) possuiria características físico-mecânicas adequadas, porém, por se tratar de um material com recente aplicação e desenvolvimento, ainda seriam necessárias mais pesquisas com relação ao tema.

As diversas abordagens sobre o solo-cimento buscam estabilizar uma porção de solo com um determinado ligante. Barbosa e Ghavami (1997) definem estabilização do solo como sendo "a modificação das propriedades do sistema terra-água-ar para obter qualidades permanentes compatíveis com uma aplicação particular" com o intuito de melhorar: a resistência mecânica, o desempenho à ação da água, ductibilidade e trabalhabilidade, tratando-se do uso do material em construção civil. De acordo com os mesmos autores, a estabilização do solo com cimento Portland é uma das formas mais simples de promover aumento da estabilidade dimensional, resistência com relação a água e resistência mecânica, ou seja, estabilizar o solo. Este processo pode ser garantido de forma satisfatória com uma proporção de 6% de cimento em massa no solo, porém o efeito do uso do cimento Portland depende de outros fatores como a forma de utilização do solo (caso utilizado no estado plástico ou compactado) e o tipo de argila que constitui o solo.

O principal processo de ganho de resistência mecânica obtida pela estabilização do solo com material cimentício é por meio da hidratação do cimento, sendo a composição química silicato de cálcio hidratado - C-S-H - o principal composto do cimento hidratado. A morfologia do C-S-H varia de fibras pouco cristalinas a um reticulado cristalino e depende da relação entre C/S. Portanto, em uma mistura de solo-cimento, o cimento possui a característica aglutinante e o solo a de suporte e resistência mecânica. No caso de solos coesivos como os argilosos, observamos ainda as ligações químicas interlaminica de natureza covalente. (SAMPAIO, 2006).

Segantini e Alcântara (2007) dispõem que a quantidade de cimento é um dos fatores fixados no processo de dosagem do solo-cimento compactado, juntamente com a quantidade de água e da massa específica aparente seca. A quantidade de cimento depende das características e da aplicação final do material. Os estudos brasileiros em dosagem são baseados nos métodos do Portland Cement Association (PCA), porém faltam resultados que

comprovem os resultados em um número significativo de obras com grande variedade de solos e de diversas regiões.

Não há uma metodologia normatizada com relação à produção do SCAA, porém diversos trabalhos desenvolvidos em meio acadêmico demonstram a possibilidade do tratamento deste material de maneira análoga aos concretos autoadensáveis. Assim, fazem-se necessárias algumas considerações específicas quando se trabalha com solos, dentre elas a forma de adensamento das misturas, relação água/solo, cimento/aditivo e outras.

Martins et. al. (2012) utilizou um modelo de dosagem baseado no modelo de empacotamento compressível (MEC), com o auxilio do software BétonlabPro 3, desenvolvido pelo "Laboratoire Central des Ponts et Chaussées" (LCPC – França), os autores chegaram a um traço de solo-cimento, fibras, areia, adições minerais e aditivo químico a base de policarboxilato com propriedades de autoadensamento. Os autores concluíram ao final do trabalho que os fatores atrelados à dosagem e reologia do material estão diretamente ligadas à razão água/solo e água/cimento, observando-se que geralmente, quando se pretende trabalhar com o solo-cimento em estado plástico, o percentual de umidade é próximo ao limite de plasticidade encontrado para o solo.

Aio et. al. (2011) relata certa dificuldade ao se misturar o solo-cimento autoadensável em betoneira, segundo os autores, isso se deve ao fato do solo possuir parcela significativa de finos. Tal dificuldade se dá ainda pelo modo de mistura deste equipamento (por tombamento), neste recomenda-se o uso de misturadores de pás móveis. Berté (2012) utilizou, para a fabricação do SCAA, argamassadeira com capacidade de 20l e não foram registrados problemas com a homogeneização das misturas.

3.3 Cimento-aditivo

O Cimento Portland pode ser conceituado de acordo com ABCP (1985) como um pó fino com propriedades de aglutinação, endurecendo sob a ação da água. Mantendo-se as suas características em contato com a água, não se decompondo sob a ação desta quando já endurecido. Ainda de acordo com a associação, o cimento é composto basicamente de Clinquer e adições. As adições geralmente são: o gesso, as escoriais de alto-forno, os materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos.

Atualmente são vários os tipos de Cimento Portland produzidos, de acordo com Souza e Tamaki (2001) são eles:

CP I – Cimento Portland Comum;

CP I – S –Cimento Portland Comum com adição;

CP II – E –Cimento Portland Composto com Escória;

CP II – F –Cimento Portland Composto com Filler;

CP II – Z –Cimento Portland Composto com Pozolâna;

CP III - Cimento Portland de Alto-Forno;

CP IV - Cimento Portland Pozolânico;

CP V – ARI -Cimento Portland de Alta Resistência Inicial;

CP RS – Cimento Portland com Resistência a Sulfatos;

CP BC – Cimento Portland com Baixo Calor de Hidratação;

CP B – Cimento Portland Branco;

Com o grande uso do concreto em construções, se fez necessário o desenvolvimento de produtos que possibilitassem uma maior versatilidade e controle das características deste material. Fracalossi (2011) observa que a grande competitividade do mercado contribuiu para que as empresas do ramo buscassem novas opções além do concreto convencional. As chamadas concreteiras buscam além de atender as solicitações de seus clientes, procura produzir concretos com um melhor custo/benefício. Diante desta situação, é difundida a utilização dos aditivos químicos para materiais cimentíceos.

A ASTM-C125 (1991) define aditivo/adição (em inglês apenas “admixture” ou chemical and mineral admixture, respectivamente) como qualquer material – que seja água, agregados, cimentos hidráulicos ou fibras – usado como ingrediente do concreto ou argamassa e adicionado à massa imediatamente antes ou durante a mistura. O ACI Committee 212 lista vinte finalidades importantes para as quais esses materiais são usados, como, por exemplo: aumentar a plasticidade do concreto sem aumentar o consumo de água, reduzir a exsudação e segregação, retardar ou acelerar o tempo de pega, acelerar as taxas de desenvolvimento da resistência nas primeiras idades, reduzir a taxa de evolução do aquecimento e aumentar a durabilidade do concreto em condições específicas de exposição.

Segundo Mehta e Monteiro (2008) a percepção de que propriedades importantes do concreto, seja no estado fresco ou no estado endurecido, podem ser favoravelmente modificadas pelo uso de aditivos/adições.

Berté (2012) conclui que o aditivo químico exerce importante papel para a estabilidade do SCAA, sendo percebido que, antes da inserção do aditivo as misturas podem apresentar instabilidade, ou seja, com mais de uma fase, com forte segregação e ausência de mobilidade.

Mehta e Monteiro (2008) apresentam um breve histórico do início da utilização de aditivos na construção civil, em que, nos 20 anos após o inicio de seu desenvolvimento, década de 1940, 275 produtos diferentes foram lançados na Inglaterra e 340 na Alémanha. Hoje, em todo o mundo a maior parte dos concretos produzidos, contem um ou mais aditivos/adições, na época da publicação, estimava-se que 80 a 90% dos concretos produzidos nos países desenvolvidos continham aditivos químicos.

Os aditivos até então utilizados podem ser de diversos princípios ativos, bem como podem ser baseados em diferentes elementos químicos. Nas próximas subseções são descritos os principais modelos de ação dos aditivos presentes no mercado.

3.3.1 Aditivos a base de Lignosulfonatos

Aditivos plastificantes ou superplastificantes são produtos usualmente baseados em polímeros de naftaleno sulfônicos condensados ou melamina sulfonada, conforme figura 1.

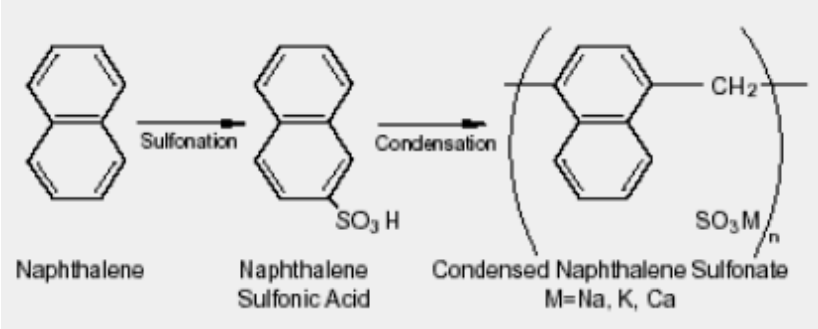


Figura 1: Esquema molecular para aditivos plastificantes

Fonte: Mehta e Monteiro (2008)

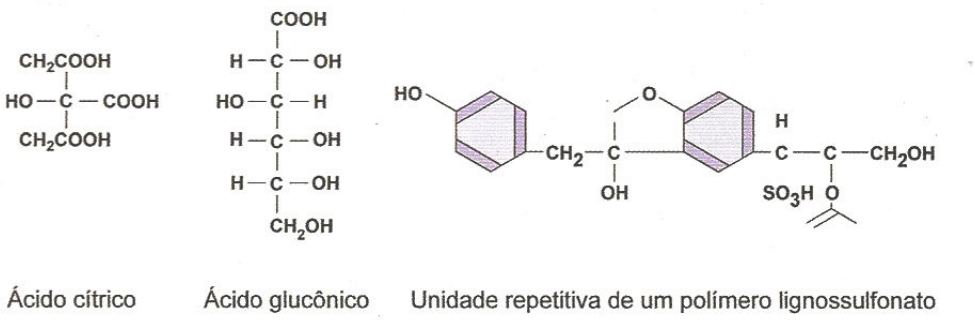


Figura 2: Esquema molecular para aditivos plastificantes

Fonte: Mehta e Monteiro (2008)

Apresentam um elevado efeito de corte de água através do mecanismo de repulsão eletrostática, possibilitando assim a fabricação de concretos fluídos ou de traços de materiais cimentíceos de alta resistência mecânica.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), as estruturas de três surfactantes plastificantes típicos são apresentadas na figura 2 observa-se que ao contrario dos surfactantes incorporadores de ar, no caso dos plastificantes o grupo polar aniônico esta ligado a uma cadeia de hidrocarbonetos que é polar ou hidrofílica (isto é, diversos grupos OH estão presentes na cadeia). Quando uma pequena quantidade de água é adicionada ao cimento, sem a presença do surfactante, não se obtém um sistema bem disperso porque, primeiramente, a água possui alta tensão superficial (devido à presença de ligações de hidrogênio na estrutura molecular). E, segundo as partículas de cimento tendem a se agrupar ou forma flóculos (uma vez que, quando minerais cristalinos ou compostos são finamente moídos, existem forças de atração entre suas arestas, cantos e superfícies carregadas positiva e negativamente). Quando um surfactante de cadeia hidrofílica é adicionado ao sistema cimento- água a cadeia polar é adsorvida ao longo das partículas de cimento. Nesse caso, o surfactante direciona sua extremidade polar, em vez da sua extremidade apolar, para a água, reduzindo, assim, a tensão superficial da água e tornando as partículas do cimento hidrofílicas. Como resultados das camadas dipolares que circundam as partículas hidrofílicas do cimento sua floculação é evitada e se obtém um sistema bem disperso.

Segundo Fracalossi (2011) os aditivos possuem ação limitada, sendo que com alguns cimentos, a influência desses aditivos é muito pequena, mas de uma maneira geral, esses produtos são eficientes com todos os tipos de cimento Portland e também com cimentos aluminosos. O autor ressalta ainda que a eficiência real de um redutor de água depende do teor de cimento, do teor de água, do tipo de agregado utilizado, da presença de adições minerais ou de aditivos incorporadores de ar e, também, da temperatura.

A função básica dos lignosulfonatos no concreto é a dispersão das partículas coloidais, suas moléculas se ligam a essas partículas existentes em suspensão, gerando cargas negativas às mesmas, causando um efeito repulsivo entre as partículas, conforme indica a figura 3 (FRACALOSSI, 2011).

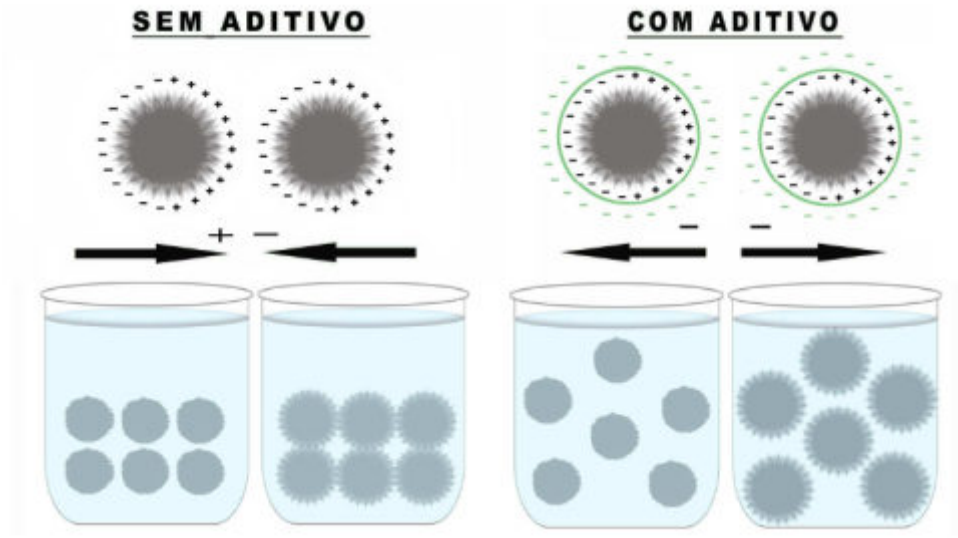


Figura 3: Esquema de interações eletrostáticas dos aditivos

Fonte: Fracalossi (2011)

Segundo Mehta e Monteiro (1994), conforme citado por Fracalossi (2011), o aditivos a base de lignosulfonatos geralmente apresentam bons resultados com relação à manutenção de trabalhabilidade, porém existem diferenças nessa manutenção entre os tipos de lignosulfonatos disponíveis no mercado. Para ilustrar os benefícios conseguidos utilizando os aditivos redutores de água, a tabela 1 apresenta os resultados de um estudo comparativo de traços de concreto. O estudo parte de um concreto de referência (série A) sem aditivos, e busca vários objetivos, como aumento de fluidez (série B), aumento da resistência à compressão (série C) e redução do consumo de cimento (série D). Observa-se que o aditivo proporcionou ao concreto endurecido propriedades satisfatórias com relação ao aumento da fluidez, resistências iniciais e finais e ainda na redução do consumo de cimento.

Os polifuncionais ou redutores de água com base de lignosulfonatos são os aditivos mais utilizados em centrais dosadoras de concreto, pois para um determinado abatimento, utilizando até elevadas dosagens de poli funcionais, obtém-se menores teores de água sem ter grandes consequências para os tempos de pega (FRACALOSSI 2011).

Tabela 1: Benefícios conseguidos pelo emprego de aditivos redutores de água

Série de Consumo	Consumo de Cimento	Relação Água/Cimento	Abatimento	Resistência à Compressão (MPa)	
				7 dias	28 dias
(A) Concreto de referência (sem aditivo)	300 kg/m³	0,62	50 mm	25,0	37,0
(B) Aumento de fluidez	300 kg/m³	0,62	100 mm	26,0	38,0
(C) Aumento de resistência	300 kg/m³	0,56	50 mm	34,0	46,0
(D) Redução do consumo de cimento	270 kg/m³	0,62	50 mm	25,5	37,5

Fonte: Mehta e Monteiro (1994)

3.3.2 Naftaleno – NS

Os naftalenos, também conhecidos como superplastificantes de segunda geração, são cadeias de tamanho médio de compostos orgânicos que também se ionizam em contato com a água, causando repulsão eletrostática (FRACALOSSI 2011). Hartmann (2002) explica que os NS são "[...] uma resina obtida por meio da polimerização do ácido naftalenos sulfônico com formaldeído. Os passos para sua fabricação são a sulfonatação, a condensação, a neutralização e a filtração.". A sua estrutura molecular esta representada na figura 4.

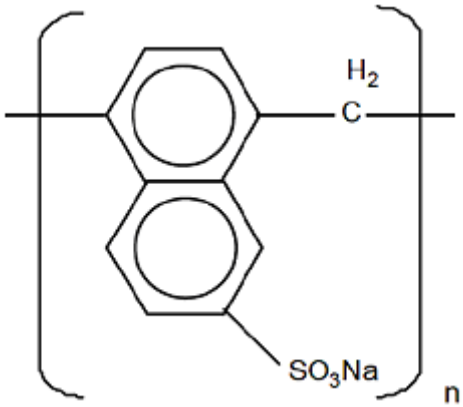


Figura 4: Estrutura molecular de um naftaleno

Fonte: Hartmann (2002).

Conforme citado por Fracalossi (2011) fazendo uma breve recordação histórica, estes foram desenvolvidos na metade do século passado no Japão, os condensados de naftaleno apresentam na forma sólida (pó) uma coloração de castanho claro, e em dissolução com 40% de concentração, uma coloração mais escura. Esse tipo de aditivo tem um bom comportamento com a maior parte dos cimentos, porém em altas dosagens causa retardamento de pega. Em dosagens normais, os naftalenos incorporam pouco ar ao concreto (MARTIN, 2005).

Os aditivos à base de naftaleno têm as seguintes características que agradam seus usuários (AITCIN, 2000), citado por Fracalossi (2011):

a) maior teor de sólidos, causando melhor relação custo-benefício para se obter determinada trabalhabilidade;

b) pequeno retardo de pega, sendo possível controlar mais facilmente a reologia do concreto;

c) são facilmente obtidos, gerando maior poder de barganha e conseqüentemente torna-se mais barato.

Na tabela 2 pode ser visto exemplo de situações nas quais foram simulados traços sem aditivos (Série A), com aditivo superplastificante, reduzindo o consumo de água (Série B), e sem superplastificante e com mesmo consumo de água utilizado na Série B (Série C). Observa-se uma redução de água e consequentemente aumento de resistência na Série B em relação à Série A. Também se observa considerável redução de abatimento da Série C em relação à Série B (Mehta e Monteiro, 1994) citado por Fracalossi (2011).

Tabela 2: Estudo comparativo, analisando a influência da utilização de aditivo superplastificante

Série de Consumo	Consumo de Cimento (kg/m³)	Relação Água/Cimento	Abatimento (mm)	Resistência à Compressão (MPa)			
				1 d	3 d	7d	28 d
(A) Concreto de referência (sem aditivo)	360	0,60	225	10,0	21,0	32,0	45,0
(B) Concreto com a mesma consistência de (A),com menos água e 2% de superplastificante, em massa de cimento	360	0,45	225	20,0	35,0	43,0	55,0
(C) Concreto com mesma relação a/c de (B), mas sem superplastificante e com menor abatimento.	360	0,45	30	16,0	28,0	37,0	52,0

Fonte: Mehta e Monteiro (1994)

Fracalossi (2011) cita que de uma maneira geral, os aditivos NS apresentam manutenção de abatimento por média de cerca de 40 minutos, podendo ser influênciada de acordo com a temperatura ambiente, com o consumo de cimento do traço utilizado e até mesmo com variações na formulação ou na matéria-prima do aditivo. Por esse motivo é recomendada a dosagem desse produto no momento da aplicação do concreto ou em rápidas descargas, devendo ser misturado por cerca de 10 minutos (MARTIN, 2005).

3.3.3 Policarboxilatos – PC

Segundo Gay (2004) e Tukudome (2006) os aditivos superplastificantes à base de éter policarboxilato apresentam processos de atuação junto ao aglomerante diferente, com relação aos aditivos à base de melamina e naftaleno. Os policarboxilatos também aderem às moléculas de cimento hidratado pelos grupos de carboxilato, porém apresentam menores intensidades de repulsão eletrostática que os grupos sulfonados nos superplastificantes anteriores. A figura 5 representa um modelo da estrutura ativa da relação entre o éter policarboxilato e o cimento, pode-se observar que a diferença de polarização entre as partículas de cimento e os compostos do aditivo formam uma ligação e ainda os verificamos que as ramificações das cadeiras longas do aditivo impedem o processo de floculação e refloculação do cimento.

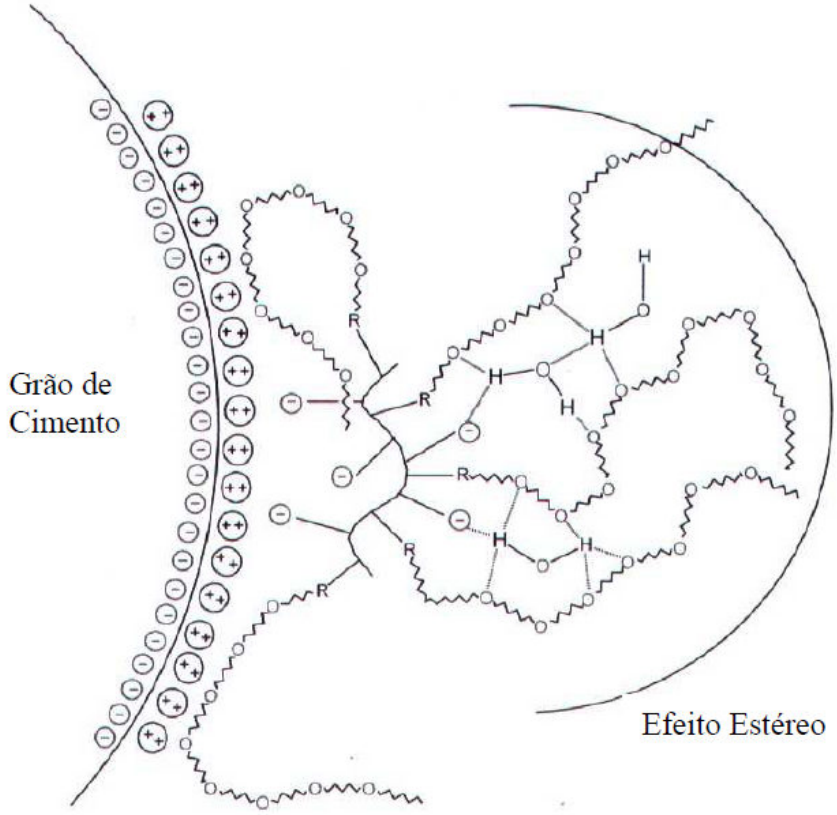


Figura 5: Modelo da Estrutura ativa da relação entre o éter policarboxilato e o cimento

Fonte: Tokudome (2006)

No concreto autoadensável é sempre importante o uso de um aditivo anti-segregante ou estabilizador. Há casos em que os materiais nem sempre são os mais adequados para misturas com a propriedade de autoadensamento, citando o caso de uma areia grossa ou a falta de coesão devido à falta de finos, é sempre preferível a utilização deste aditivo à base de celulose, que proporciona coesão e estabilidade sem prejudicar a trabalhabilidade. (TOKUDOME, 2006)

Os aditivos a base policarboxilatos podem ser representado de maneira simplificada, de acordo com Hartmann (2003), esses compostos possuem a propriedade de repulsão estérica, ou seja, possuem moléculas com cadeias longas e ramificadas, formando uma barreira física que dificulta a aglomeração das partículas cimentantes, sendo que quanto maiores são essas cadeias, maiores serão as propriedades fluidificantes.

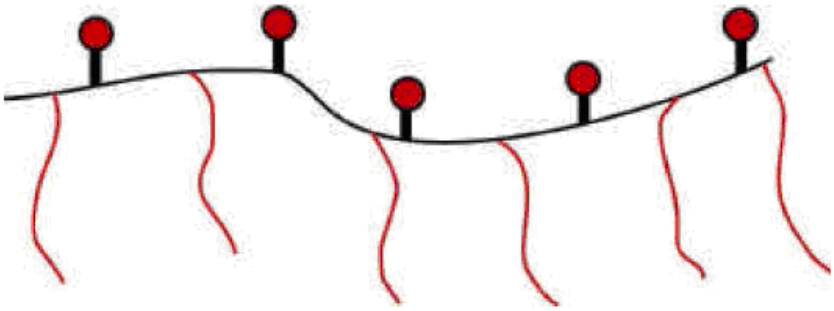


Figura 6: Representação de uma molécula de policarboxilato

Fonte: Hartmann (2003)

Por serem de estruturas químicas complexas, esse tipo de produto é compatível com um número limitado de outras matérias-primas, e caso não sejam bem formulados têm tendência a incorporar ar (MARTIN, 2005).

Segundo Fracalossi (2011) esse tipo de aditivo pode atuar de duas maneiras ao se utilizá-lo. A primeira seria com relação à quantidade de água reduzida nos traços, atribuindo-lhe a capacidade de fluir com menor resistência sem que seja preciso a adição de maiores quantidade de água. A segunda seria empregada com a finalidade de se aumentar as resistências iniciais e finais, pois, atingindo-se um fator A/C menor, essas propriedades para materiais aglomerados com cimento seriam melhoradas.

3.3.4 Dosagem de cimento-aditivo

Na literatura não existe normatização com relação a um método de dosagem para o solo-cimento autoadensável. O PCA dispõe de uma norma resumida, porém para solo-cimento com em estado semissólido, ou seja, não plástico. A dosagem baseada em correção estatística com resultados de resistência de durabilidade e resistência à compressão simples em corpos-de-prova foi aplicada em mais 2400 tipos de solos arenosos que se resumem nos seguintes procedimentos:

- Ensaios preliminares de solo;
- Ensaio de compactação de solo-cimento;
- Determinação da resistência à compressão simples aos 7 dias;
- Comparação entre as duas resistências obtidas, a resistência média aos 7 dias e a resistência admissível para o solo-cimento produzido com o solo em estudo.

A tabela 3 apresenta a relação de dosagem das misturas de solo-cimento segundo a classificação da Highway Research Board (HRB).

Tabela 3: Teores de cimento para estabilização de solo

Classificação da HRB	**Teor de cimento (%)**
A_{1a}	5
A_{1b}	6
A_2	7
A_3	8
A_4	10
A_5	10
A_6	12
A_7	13

Fonte: ABCP (1986)

O teor de umidade ótima é outro fator a ser observado. Nesta linha podem ser observadas três vertentes, quando se trabalha com solo-cimento compactado ou prensado, quando se pretende utilizar este material em estado plástico ou ainda aferir ao solo-cimento as propriedades de autoadensamento.

A maioria dos critérios de dosagem para solo-cimento tem por base as características do solo, da quantidade de cimento a ser adicionada, do teor de umidade ótima e da densidade máxima a ser conseguida no processo de compactação. Já para o uso de solo-cimento plástico a consistência passa a ser um dos fatores preponderantes para o controle de umidade. Com o valor de abatimento de tronco de cone igual a 10cm , ensaio normatizado pela NBR 7223 (1992), se observa, para o solo-cimento plástico um bom nível de homogeneidade da mistura. Tal valor corresponde aproximadamente a 20% de umidade da mistura. (SEGANTINI, 1994).

O teor de umidade utilizado por Segantini (1994) corresponde à quantidade de água, excluindo-se a umidade natural do solo, necessária para que se atingisse a trabalhabilidade requerida para o solo-cimento plástico, consistência semelhante a uma argamassa de concreto. Este valor está compreendido entre o limite de plasticidade e liquidez do solo trabalhado pelo autor (LP= 17,0 e LL =27,2).

Por analogia, os conceitos de dosagens para o concreto autoadensável são observados para o solo-cimento. TOKUDOME (2006) descreve em sua pesquisa o método de dosagem de Okamura e Ozawa, onde se propõe para a dosagem do concreto autoadensável fixar as

quantidades de agregados variando-se a relação água/aglomerante e a quantidade de aditivo. Nesta abordagem surge como fator preponderante para o resultado final do traço a trabalhabilidade que este possui. De forma análoga para a dosagem do solo-cimento, o solo seria um fator fixo e, portanto, a dosagem se resumiria em variar as quantidades de cimento/aditivo, bem como a quantidade de água na mistura.

Fracalossi (2011) ao analisar tipos de argamassa dispõe sobre as quantidades recomendadas para a dosagem de aditivos, onde, para os plastificantes, geralmente a base de lignosulfonatos, os percentuais ficam em torno de 0,30 a 0,50% com relação ao aglomerante. Para os polifuncionais, podendo ser os a base de naftaleno, ficariam dosados entre 0,40 a 1,0%; e os superplastificantes, com destaque aos chamados de 3° geração a base de policarboxilatos, ficariam dosados entre 0,60 a 2,0%.

A dosagem necessária para obter uma melhora nas propriedades de concretos e argamassas dependerá do tipo e da dosagem dos aditivos empregados. Existem no mercado vários tipos e composições químicas de aditivos e, ainda, variações na concentração dos seus compostos ativos (Fracalossi, 2011).

Tabela 4: Classificação dos aditivos em função da redução de água, dosagem típica e incremento na resistência à compressão de concretos.

Tipo de Aditivo	Redução de água	Dosagem Típica	Aumento de resistência
Plastificantes	5 – 10%	0,2 a 0,5%	≈ 10%
Polifuncionais	8 – 18%	0,4 a 1,0%	≈ 25%
Superplastificantes	15 – 40%	0,6 a 2,0%	≈ 25%

Fonte: Fracalossi (2011)

Miranda et al. (2009) com o objetivo de se obter misturas de solo-cimento plástico para a aplicação em obras de pequeno porte, estudou três tipos de misturas (solo natural; solo+20% de residuos de construção civil – RCD; e solo + 40% de RCD); variando-se a quantidade de cimento (10%, 15% e 20%) em relação a massa da mistura e ainda acrescendo 2,0% de aditivo superplastificante em referente a quantidade em massa de aglomerante. O autor chegou ao alcance de resistências mecânicas satisfatorias em relação ao do solo-cimento compactado. De acordo com o tabela 5 a proporção contendo 10% de cimento, atingiu aos 120 dias 3,5 MPa de resistência à compressão. O uso de aditivo possibilitou o alcance da

trabalhabilidade adequanda (slump test, com abatimento de 100 mm), sendo viavel a utilização de solo-cimento em estado plástco em estruturas de edificações de pequeno porte.

Tabela 5: Tabela de resistências à compressão simples

Teor de cimento	Resistência à compressão (MPa)			
	7 dias	28 dias	56 dias	120 dias
10%	1,5	2,4	3,0	3,5
15%	2,4	3,8	5,0	6,4
20%	6,5	8,2	9,9	12,6

Fonte: Miranda Et. Al. (2009)

Tokudome (2006) concluiu que a utilização de aditivos plastificantes e superplastificantes em materiais aglomerados com cimento, possibilitam a redução de tempo de aplicação e ainda são mantidas as características quanta a resistência mecânica dos mesmos, sendo alterada a trabalhabilidade dos traços, possibilitando, assim, a sua utilização em estruturas que possuem pequenos espaços a serem preenchidos.

3.4 Propriedades dos materias cimentíceos no estado fresco

Para a aplicação do solo-cimento plástico e do solo-cimento fluido como elemento construtivo, com potencialidade de aplicação em estruturas de vedação, é necessário mensurar as suas propriedades no estado fresco, assim como verificado para argamassas e o concreto autoadensável. As principais características a serem estudadas nesse estado para argamassas segundo Silva (2011) são: a consistência, trabalhabilidade, densidade de massa e teor de ar incorporado. Analogamente podem-se caracterizar as misturas de solo-cimento segundo estes parâmetros, sendo revisadas as definições de conceitos.

a) Consistência

Propriedade pela qual se pretende caracterizar o estado da mistura com relação à sua mobilidade, Santos (1989) dispõe sobre os índices que traduzem a consistência de determinado material, onde, existem os limites de consistência do solo (limites de Atterberg), definindo o limite de contração (LC) como sendo o teor de umidade abaixo do qual o solo

passa da condição “semi-sólida” para a condição “sólida”; o limite de plasticidade (LP) como sendo o teor de umidade abaixo do qual o solo torna-se quebradiço, ou seja, adquire uma condição “semi-plástica”; o limite de liquidez (LL) como sendo o teor de umidade que corresponde à transição entre a condição de consistência fluida (teor de umidade acima do LL) e a de consistência plástica (teor de umidade abaixo do LL e acima do LP) e o índice de plasticidade (IP) como sendo o teor de umidade dentro da qual o solo possui plasticidade, sendo calculado pela diferença numérica entre LL e LP.

b) Trabalhabilidade

Para Nascimento (1992), trabalhabilidade traduz:

“... as propriedades intrínsecas da mistura fresca relacionadas com a mobilidade da massa e a coesão entre os elementos componentes observa-se que, quando se aumenta o teor de água de uma argamassa, há uma piora em todas as suas propriedades, com exceção da trabalhabilidade (assim mesmo até certo limite)”.

Segundo Bauer (1997), a trabalhabilidade não é somente característica inerente ao próprio material a ser estudado, como a consistência, engloba ainda os entendimentos relativos à classe da obra e ao procedimento de execução adotado. Portanto, a natureza da obra, o tipo de peça a ser construída e a intensidade adotada para o adensamento indicarão o grau de consistência mais conveniente. De modo geral a trabalhabilidade está ligada às propriedades do material e nas ações do processo de produção.

Vários métodos são atribuídos para a verificação da trabalhabilidade de materiais autoadensáveis, tais como o descrito na NBR NM 67 (abatimento da consistência pelo abatimento do tronco de cone), na NBR NM 68 (espalhamento na mesa de Graff) ou ainda a determinação por meio dos procedimentos descritos na NBR 7215 (1995) (no apêndice B da norma é descrito o procedimento para determinação do índice consistência para argamassas através da mesa de consistência, também conhecido como “flow table”), bem como vários outros são encontrados na literatura para a aferição desta propriedade.

Com relação a altura de abatimento do concreto, Coelho (2010) confirmou que o aditivo a base de lignosulfonato resulta uma significativa perda de abatimento, necessitando na pratica de uma correção no abatimento para o concreto estudado, sob pena de uma maior dificuldade de aplicação devido a baixa trabalhabilidade obtida após duas horas de mistura do concreto. Verificou-se, também, a eficácia do aditivo superplastificante em um intervalo de noventa minutos conforme informado pelo fornecedor. Em contra partida, houve uma perda

de abatimento significativa no intervalo entre noventa minutos e cento e vinte minutos, o que evidencia o uso desse aditivo em descargas mais ágeis (exemplo: concretos bombeáveis). Por outro lado, a mistura entre aditivo polifuncional e estabilizador teve um comportamento diferenciado das outras misturas, pois a manutenção do abatimento evidenciada dos noventa minutos até cento e vinte minutos, onde pode-se ter um ganho significativo em descargas mais lentas (exemplo: concretos convencionais).

c) Densidade de massa

Segundo a NBR 13278 (2005), a densidade de massa pode ser definida como sendo o razão entre a massa de uma determinada amostra e o seu volume. O ensaio para sua determinação, descrito nesta norma, prevê que o volume cilíndrico normatizado de aproximados 400,00 cm^3 seja preenchido com o material a ser estudado. Este material é pesado e retirando-se o peso do molde tem-se a massa expressa em kg, que será relacionada com o volume ocupado.

d) Teor de ar incorporado

O teor de ar incorporado, ou seja, o percentual relacionado à densidade de massa e a densidade de vazios constantes na mistura em estado fresco. A propriedade a ser aferida por este ensaio influirá diretamente nos resultados a serem alcançados pelo material no estado fresco e endurecido.

Segundo Silva (2011), o teor de ar incorporado é influênciado diretamente pela quantidade e tipo de aditivo presente na mistura e o tempo de homogeneização. Em seu estudo foram analisados 7 traços de argamassas contendo quantidades variadas de aditivo incorporador de ar e foi verificado que há uma relação diretamente proporcional entre as quantidades deste compostos e os volumes de vazios encontrados, bem como o aumento da trabalhabilidade destas misturas.

Corrêa (2010) estudou o efeito da utilização de aditivos plastificantes e polifuncionais em concretos. Foram realizadas 5 dosagens diferentes para cada tipo de aditivo e ainda por meio de ensaio pressométrico, descrito na NBR NM 47 (2002), foram avaliados os teores de ar incorporado às misturas. O autor conclui que não ouve variações significativas nas quantidades de ar incorporado para as diferentes dosagens, quando se utilizou aditivo polifuncional. Para os traços com aditivo plastificante, onde as dosagens foram superiores a 0,8%, esta variação foi sensível. Nas figuras 7 e 8 verificam-se estas diferenças.

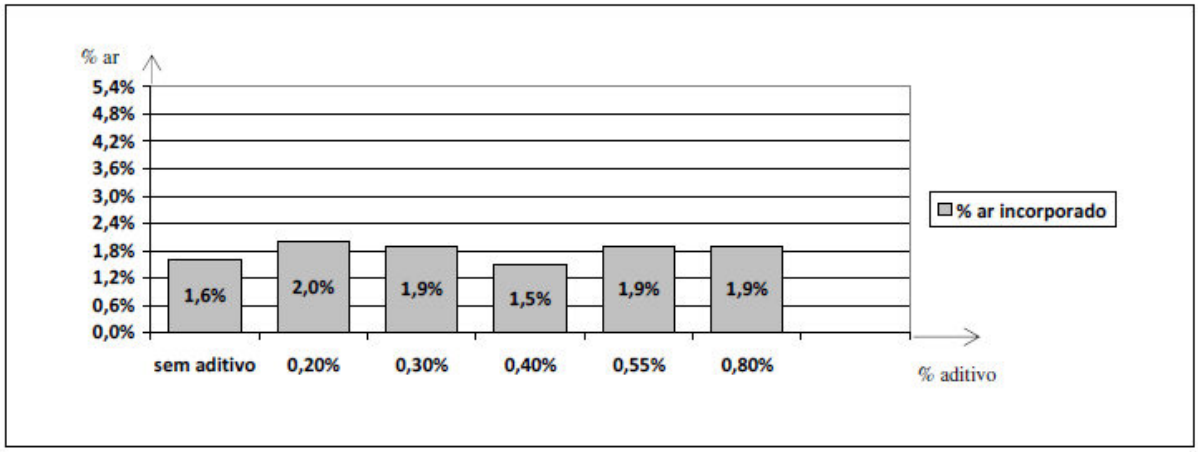


Figura 7: Teores médios de ar incorporado para os traços com aditivo polifuncional

Fonte: Corrêa (2010)

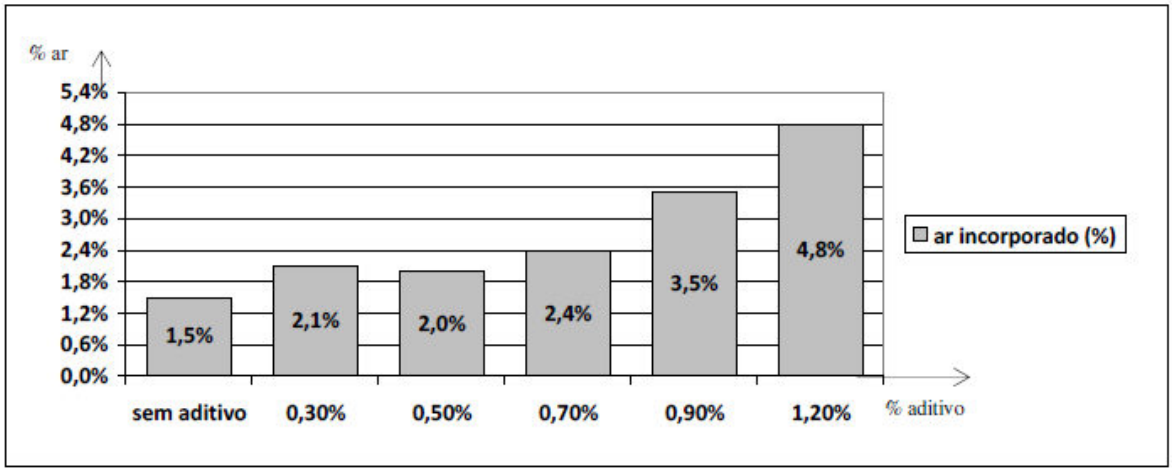


Figura 8: Teores médios de ar incorporado para os traços com aditivo plastificante

Fonte: Corrêa (2010)

3.5 Propriedades dos materiais cimentíceos no estado endurecido

As propriedades do material no estado endurecido são de suma importância para identificação do tipo de aplicação e uso do solo-cimento, portanto, se faz necessário a verificação de diversos fatores com a finalidade descrever o comportamento físico-mecânico deste em diversas idades. Tais propriedades são revistas conforme segue.

a) Resistência Mecânica

A NBR 10834 (1994) traz valores de aceitabilidade de peças confeccionadas com solo-cimento sem função estrutural, esta norma, dispõe que a resistência à compressão

simples média aos 28 dias de idade, devem ser superiores a 2,0 MPa. Na literatura encontramos divesos trabalhos que avaliaram as resistências iniciais e finais para o solo-cimento.

Segantini (1994), utilizando um solo A4, realizou ensaios de compressão simples em corpos de prova de Solo-Cimento-Compactado (SCC) e de Solo-Cimento-Plastico (SCP). Seguiu-se, para o caso do SCC, as prescrições da NBR 12024 (1992) (Solo-cimento – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos). No caso do SCP são confeccionados corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 15 cm e altura de 30 cm, os quais foram moldados no campo, no momento da sua aplicação, seguindo-se as recomendações da NBR 5738 (Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto). Os ensaios de compressão simples mostraram que o material apresenta resistência suficiente para ser aplicado em elementos de fundação, principalmente em estacas moldadas in loco em que, a favor da segurança, conta-se ainda com o efeito do confinamento provocado pelo solo. Para o SCC, em média, obteve-se resistência de 4,88 MPa aos 28 dias, enquanto que para o SCP o valor médio obtido na mesma idade foi de 3,95 MPa. O autor comenta que houve um ganho de resistência em função do tempo de cura.

Berté (2013) avaliou 27 misturas de solo-cimento autoadensável, variando-se as quantidades de cimento 20, 25 e 30% com relação ao solo, o percentual de umidade entre elas, bem como os percentuais de aditivos superplastificantes. A figura 9 demonstra o diagrama experimental para os traços analizados.

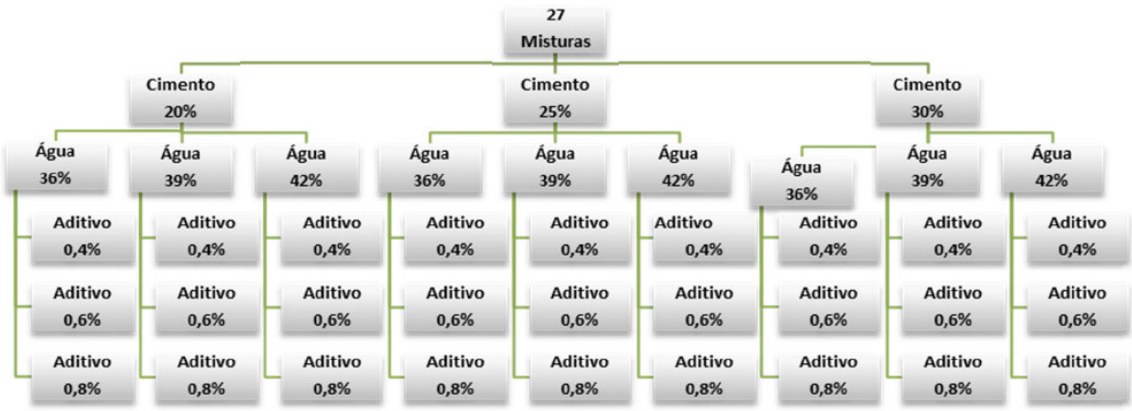


Figura 9: Diagrama de misturas analisadas

Fonte: Berté (2013)

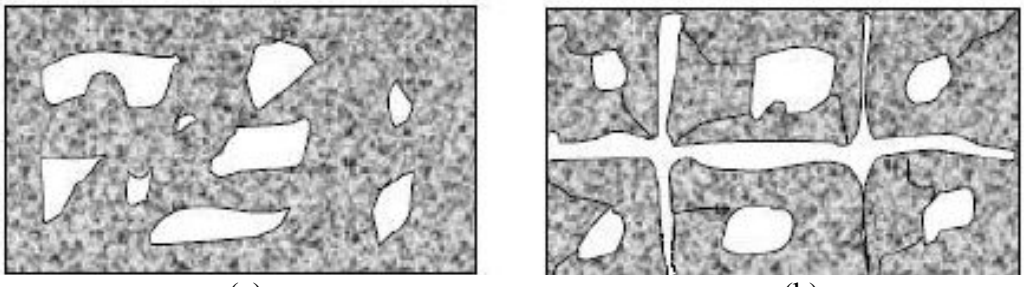
As misturas foram analisadas no estado fresco e endurecido. No estado endurecido, a avaliação das resistências à compressão axial aos 28 dias, demonstraram grandes variações. A

mistura contendo 20% de cimento, 42% de umidade e 0,6% de aditivo superplastificante apresentou o menor valor 2,01 MPa, o maior valor verificado foi 7,50 MPa foi obtido pela mistura contendo 30% de cimento, 36% de umidade e 0,80% de aditivo superplatificante. Ainda segundo a autora, as resistências para o solo-cimento autoadensável estão ligadas ao consumo de cimento e a relação a/c, pois com base nos resultados encontrados, as misturas que tiveram um maior teor de cimento incorporado tiveram maiores valores para a resistência mecanica e dentre essas misturas, aquela que possuia menor relação a/c apresentou o melhor desempenho.

b) Absorção de água, índice de vazios e capilaridade.

Essas são propriedades que buscam traduzir o arranjo da estrutura interna do material a ser estudado.

De acordo com Silva (2011), um material pode ser descrito conforme a sua porosidade, sendo esta, definida como a relação entre as três fases físicas contidas em um determinado corpo, onde, no caso de um corpo de volume aglomerado por material cimentante, a parte sólida seria formada pela plasta aglomerada e os materiais inertes aderios à ela, a parte líquida e gasosa seriam formadas pelos vazios ou poros continos no interior da mistura. Esses poros podem ser conectados ou não, traduzindo-se assim os percentuais e valores obtidos nos ensaios de absorção de água, índice de vazios e capilaridade. Abaixo são representados nas figuras 10-a e 10-b, as diferenças entre poros conectados e não conectados.



(a) (b)

Figura 10: (a) Material sólido com permeabilidade reduzida; (b) Material sólido permeável.

Fonte: Ismail (2006)

Segantini (2000) ao analisar o solo-cimento plástico, identificou que a resistência mecânica dos corpos de prova ensaiados era inversamente proporcional à umidade incorporada na mistura. A figura 11 com os valores encontrados traduz essa relação.

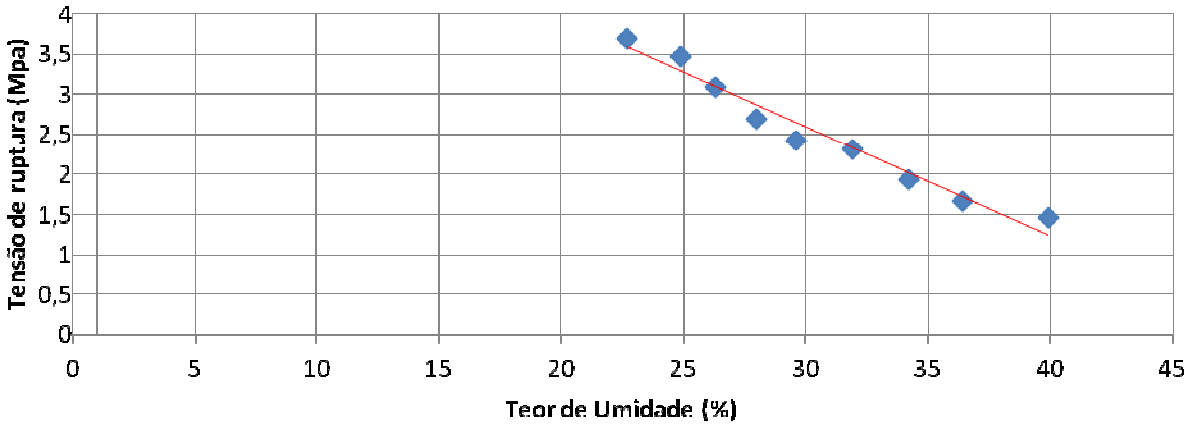


Figura 11: Gráfico da relação entre tensão de ruptura e teor de umidade

Fonte: Segantini (2000)

Silva (2011) ao analisar argamassas de cimento que continham percentuais de aditivos incorporadores de ar, fez uma importante conclusão. A partir da análise do gráfico presente na figura 12, pode-se observar que para este caso especifico a incorporação está ligada diretamente ao aumento dos percentuais de aditivos nos traços e com isso há um aumento da trabalhabilidade para essas argamassas e por consequência uma diminuição do consumo de água.

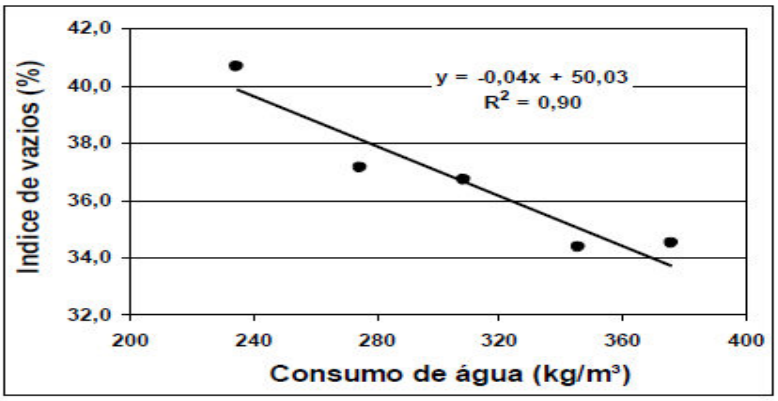


Figura 12: Gráfico da relação entre índice de vazios e consumo de água.

Fonte: Silva (2011)

O mesmo autor analisou os coeficientes de capilaridade para as argamassas analisadas, moldando 3 corpos de prova nas dimensões 40x40x160mm, com idade de 28dias. Os menores valores para a ascensão de água por capilaridade foram registrados por argamassas com

maiores teores de aditivos incorporadores de ar, segundo a sua conclusão isso se dá pelo fato de que o ar incorporado por causa desses compostos químicos se faz por micro bolhas que não se conectam entre si, não formando assim os capilares. Outra constatação foi que para as argamassas com maiores teores de finos, o valor para capilaridade e absorção de água foi maior, isso se deve ao fato que estas apresentam uma maior superfície de contato e portanto apresentam um maior consumo de água. A água durante a cura do material evapora formando capilares no estado endurecido.

c) Retração e Fissuração

Varias metodologias para a aferição da retração são descritas na literatura, a CEPED (1984) propõe um método simples para a verificação de possíveis retrações acima do tolerável para o solo-cimento compactado, neste método, faz-se uma mistura de solo e água deixando-a na consistência de uma argamassa, esta é lançada em uma caixa conforme a figura 13, e após 7 dias a retração no sentido do comprimento da caixa, não deve ser superior a 2cm.

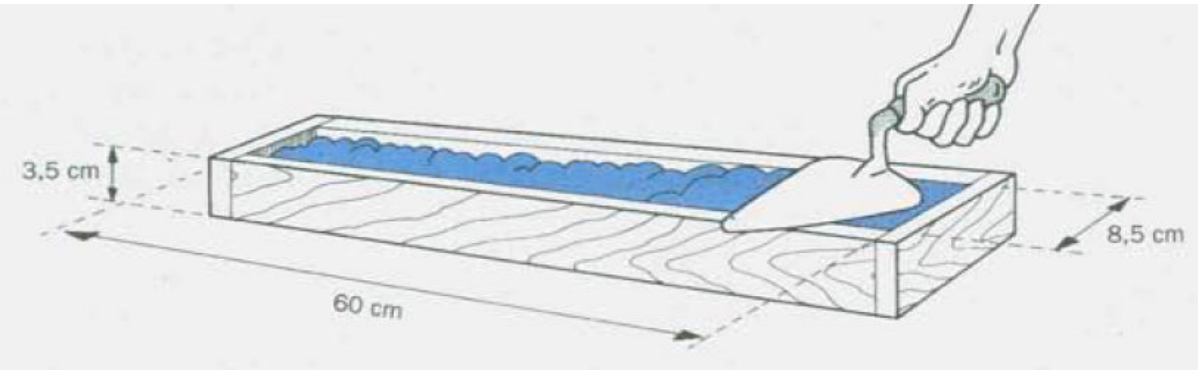


Figura 13: Ensaio de retração pelo método de caixa.

Fonte: CEPED (1984)

Segundo Silva (2011) a retração é um processo corrente nos materiais cimentíceos, sendo esta, traduzida pela soma das retrações no periodo incial de pega, ou seja nas primeiras 24h com as retrações que surgiriam após este período. Dá-se o no nome de retração total a este montante. Na figura 14 são descritos os processos ao qual se obetem as retrações do material.

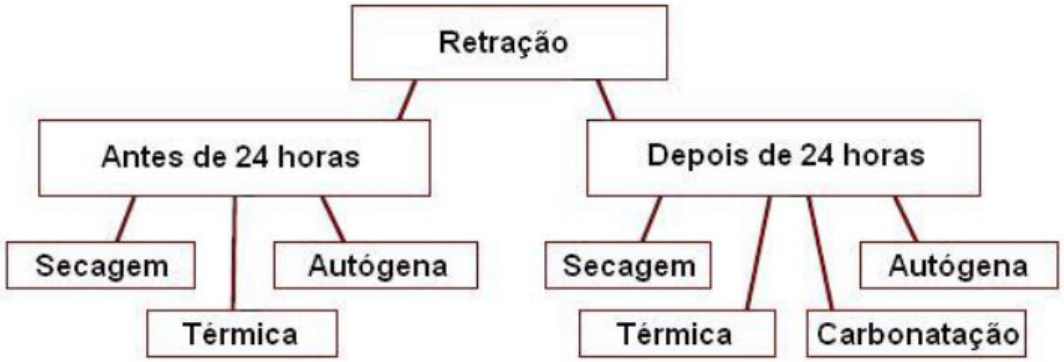


Figura 14: Ilustração do mecanismo de retração total

Fonte: SILVA (2011)

O autor conclui que:

> De modo geral, as três principais causas da retração total nos revestimentos de argamassas são: dessecação (evaporação da água livre), hidratação e carbonatação. Estas causas podem agir isoladamente ou interagir entre si durante toda a vida útil do revestimento. No entanto, a dessecação é a principal causa da retração total que ocorre ainda no estado fresco, provocando grandes deformações. Também ocorre no estado endurecido, porém com menores deformações, quando já encerrou a hidratação do cimento e as deformações são pequenas. As variações dimensionais devidas à hidratação ocorrem essencialmente no estado endurecido. A retração por carbonatação ocorre ao longo da vida útil do revestimento e ocorre devido à elevada relação área/volume do revestimento que favorece a combinação do dióxido de carbono da atmosfera com hidróxido de cálcio do cimento. (SILVA, 2011).

Mendonça (2007), ao estudar o desempenho de argamassas aglomeradas a partir de cimento ou cal hidratada, observou que as propriedades de retração e fissuração não estão simples e diretamente ligadas, sendo que a retração representa uma variação livre de comprimento da argamassa sujeita a secagem, enquanto a fissuração, além de ser afetada pela retração livre, é também função da resistência à tração e das dilatações das argamassas.

Muitos são os métodos para a aferição de retrações e das fissurações sendo destacadas as aferições com relação à retração livre, a retração restringida e o método descrito na ASTM C1579 (2006) para a avaliação da fissuração do material.

Silva (2011) descreve em seu trabalho a metodologia para a avaliação quanto à retração livre, onde, cita o método proposto por Détriché (1977), que utiliza um equipamento que mede os deslocamentos do material na transição do estado fresco para o endurecido, a partir de captores que medem estas movimentações. Como pode ser visto na figura 15.

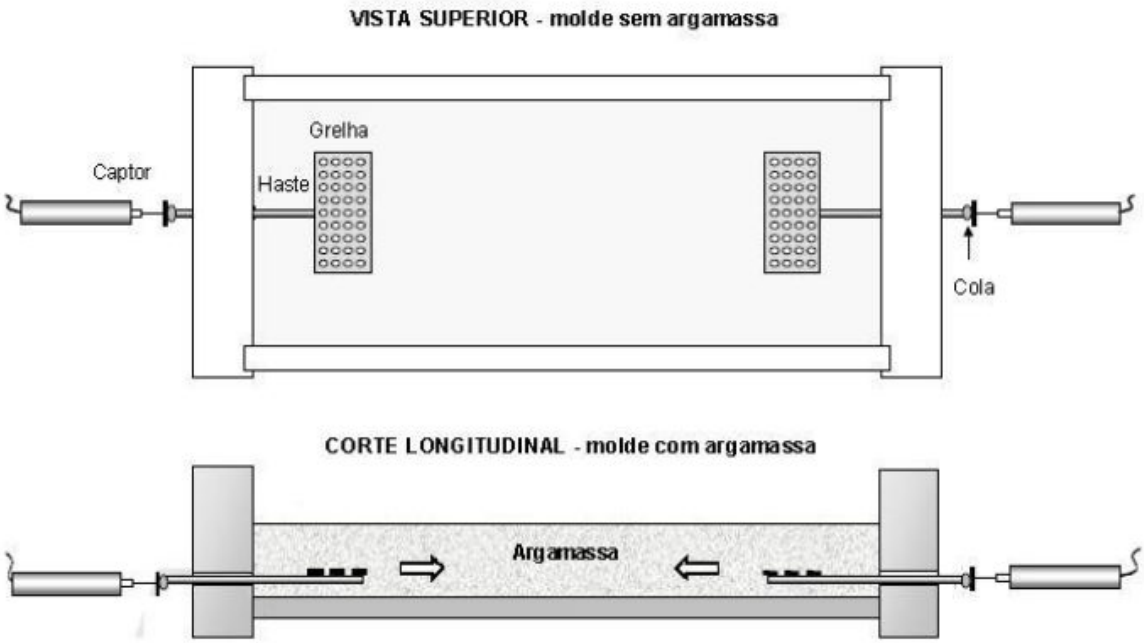


Figura 15: Equipamento de medida de retração livre linear de argamassa no estado fresco

Fonte: Silva (2011)

O princípio do método é acompanhar ao logo do tempo como o material em processo de aglomeração se comporta, reduzindo-se as forças de atrito, entre a mistura e as formas. Se busca aferir os comprimentos retraídos por unidade de área.

A ASTM C1579 (2006) propõe um método que avalia o surgimento de fissuras em concretos, simulando em ambiente de laboratório condições extremas de ventilação, umidade e espessura de peças, buscando-se assim induzir o aparecimento de fissuras. Neste ensaio é controlado também a taxa de perda de água por evaporação. Conforme as figuras 16 e 17 onde é descrito o equipamento a ser utilizado.

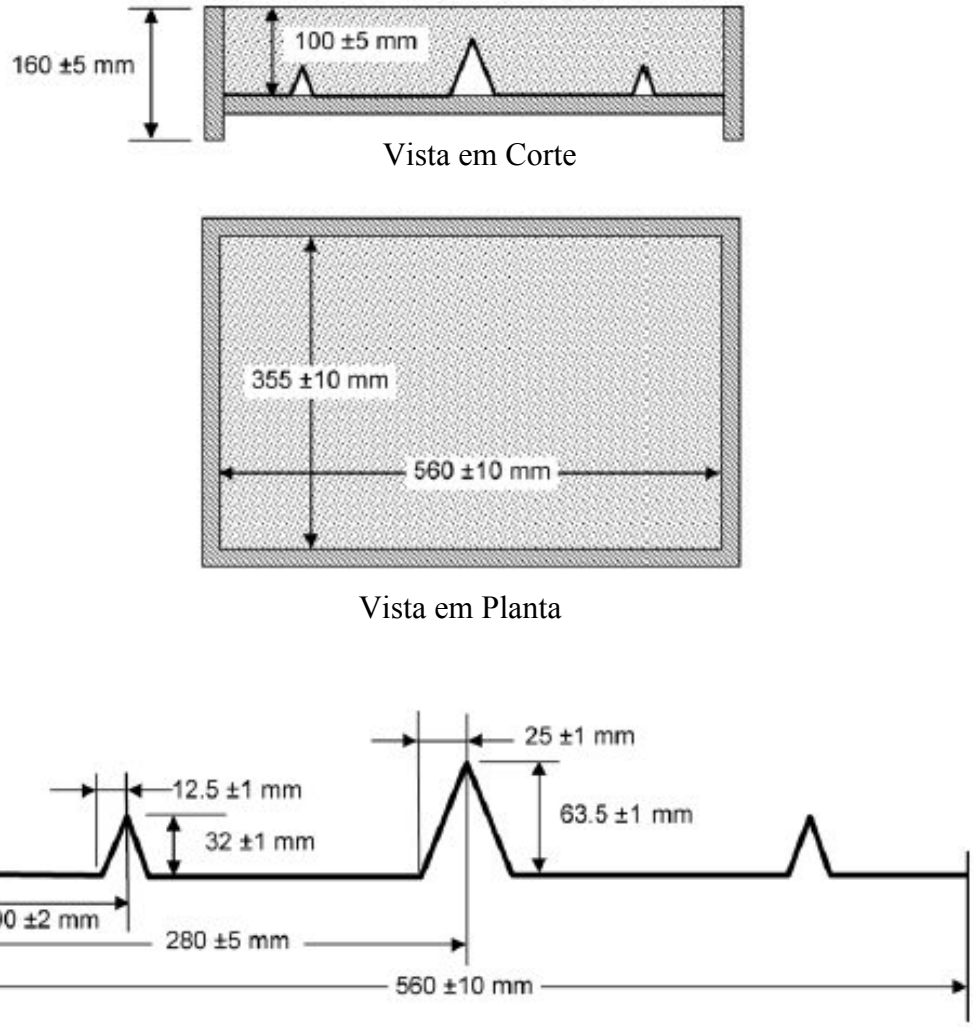
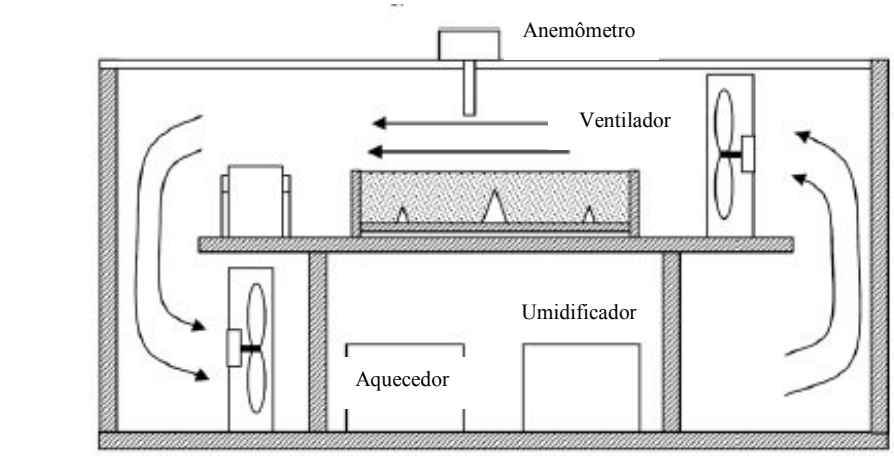


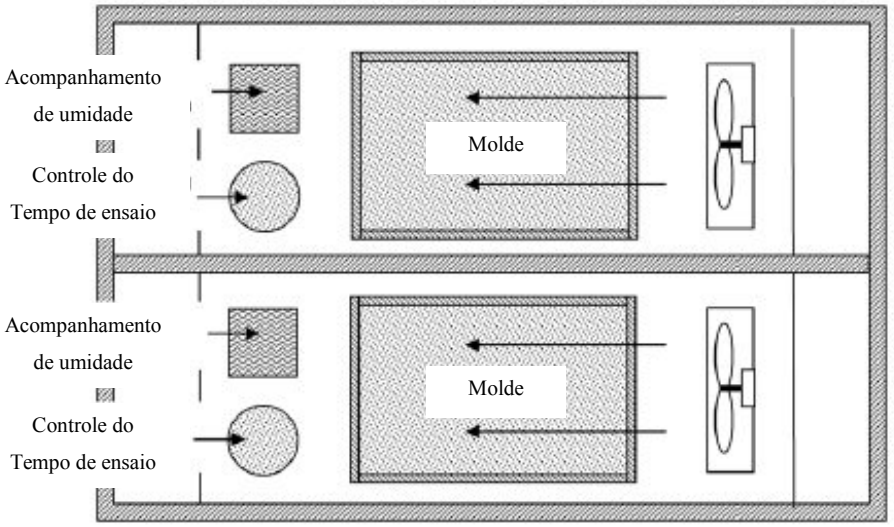
Figura 16: Moldes utilizados para o ensaio de fissuração.

Fonte: ASTM C1579 (2006)

Silva (2011) realizou este ensaio, porém fez algumas adaptações, sendo que as dimensões foram reduzidas e o processo de ventilação e aferição da umidade foi alterado, porém, o principio de funcionamento e aferição dos dados se manteve, possibilitando-se a comparação com outros trabalhos bem como a sua aplicabilidade.



Vista em Corte



Vista em Planta

Figura 17: Sistema proposto para o equipamento de ensaio para fissuração.

Fonte: ASTM C1579 (2006)

4 MATERIAIS E METODOLOGIA

4.1 Introdução

Neste capítulo são apresentadas as metodologias dos ensaios realizados, sendo a maior parte destes normatizados e uma pequena parcela presentes na bibliografia relacionada ao tema. O solo, o cimento, a água e os tipos de aditivos químicos utilizados para a obtenção do solo-cimento autoadensável são descritos, bem como todos os equipamentos e utensílios empregados nesta pesquisa.

4.2 Equipamentos e Utensílios Utilizados

- Prensa para Ensaio a compressão axial e diametral Computadorizada;
- Misturador Planetário Eberle com capacidade 3l;
- Peneiras série ABNT
- Misturador Planetário Superfect com capacidade 25 l modelo BT-20;
- Mesa de Assentamento de Argamassa;
- Caixa Metálica para Ensaios de Absorção por Capilaridade;
- Câmara úmida para cura de corpos de prova.
- Formas metálicas cilíndricas dimensões 50x100mm de acordo com a NBR5738 - 1994;
- Espátulas, formas, plástico celofane, tubo de silicone;
- Recipientes de medição como provetas, pipetas e potes plásticos;
- Balança digital;
- Paquímetro e régua milimetrada;
- Equipamento adaptado para o ensaio de fissuração;
- Extensômetros;

4.3 Materiais

4.3.1 O Solo

O estado de Mato Grosso do Sul apresenta na maior parte de sua área, solo do tipo Latossolo Vermelho, com a ocorrência de aproximadamente 25 classes identificadas e catalogadas, como se observa nas figuras 18 e 19. De acordo com PERM-MS (2008):

> "Os solos de maior ocorrência no Estado são os Latossolos, apresentando-se normalmente com textura média e com caráter álico; ocupam basicamente a bacia do Paraná, estando amplamente distribuídos na porção central do Estado, estendendo-se ao sul e nordeste, apresentam grande variação entre as diferentes classes, das quais o Latossolo Vermelho Escuro é o de maior expressividade, seguido do Latossolo Roxo, que se concentra na região da Grande Dourados, e finalmente o Latossolo Vermelho-Amarelo." (PERM-MS, 2008 Pg. 11)

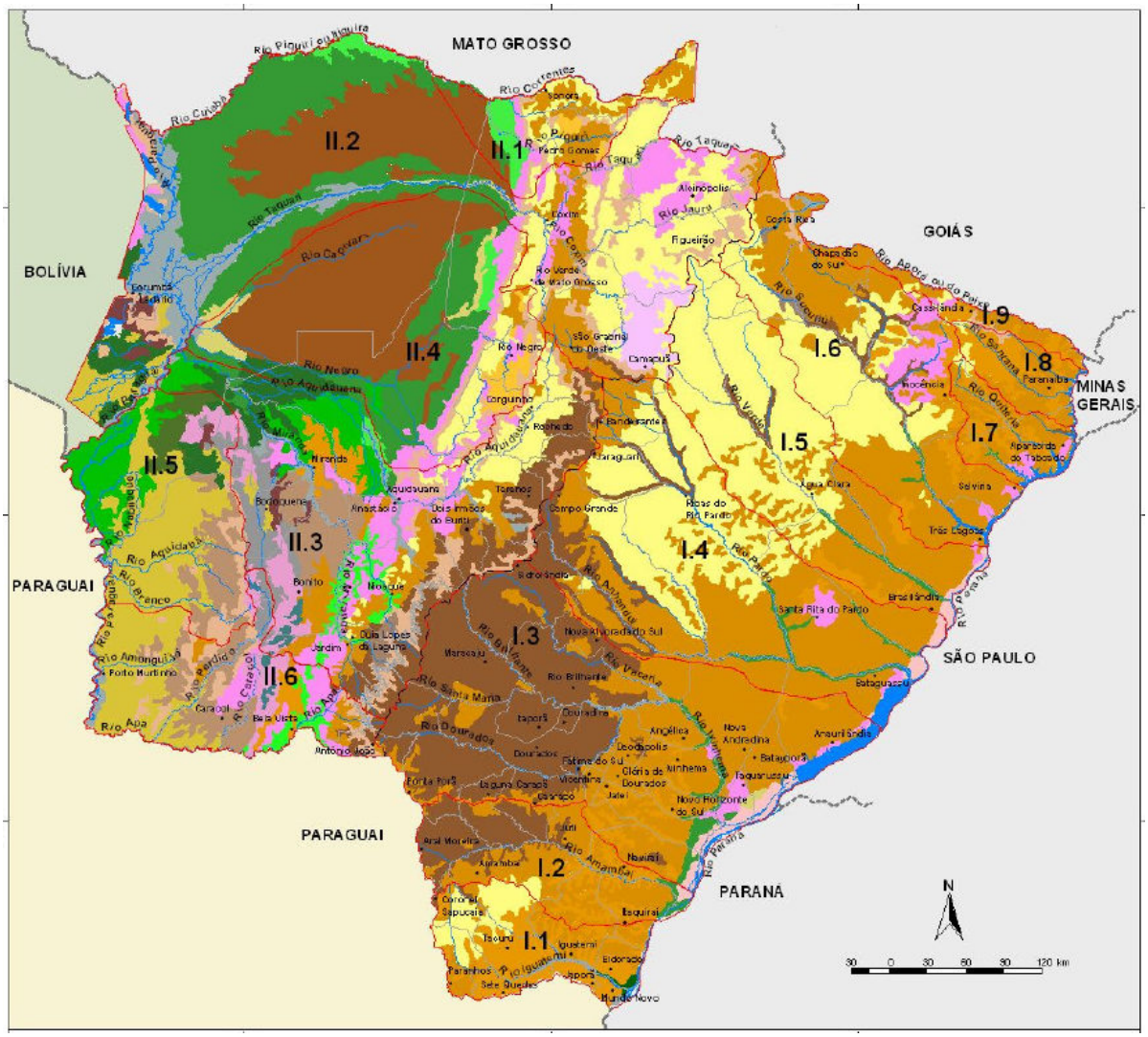


Figura 18: Mapa de distribuição dos solos em Mato Grosso do Sul.

Fonte: PERM-MS (2008)

Figura 19: Legendas do mapa de distribuição dos solos em Mato Grosso do Sul.

Fonte: PERM-MS (2008)

O solo utilizado nesta pesquisa foi extraído de uma jazida da Cidade de Campo Grande-MS, onde a predominam solos do tipo Latossolo Vermelho-Escuro, dados confirmados pelos ensaios de caracterização do solo. Para o estudo do solo foram realizados os seguintes ensaios.

- Ensaios visuais e táteis;
- Ensaio de Análise Granulométrica, segundo (NBR 7181/ 1984);
- Ensaio de Índice de Plasticidade (NBR 7180/ 1984),
- Ensaio de Massa Específica dos Sólidos (NBR 6508/ 1984).
- Determinação da umidade *in situ* com emprego do Método "Speedy" (DNER-ME 052/94)

Ao chegar ao Laboratório de Materiais de Construção Civil, o solo foi secado e peneirado. O mesmo foi estocado em um tambor de 200l para posterior utilização na pesquisa.

4.3.2 Cimento

O cimento Portland utilizado neste trabalho foi o CP II E 32 (NBR 11578), da marca Cauê, fabricado na cidade Bodoquena – MS. Durante todo o trabalho, foi utilizado um único saco de cimento o qual foi mantido longe da umidade dentro de um recipiente forrado com saco plástico e tampado.

4.3.3 Aditivo

Os aditivos utilizados são de composição química a base policarboxilatos, das fabricantes BASF S.A e VIAPOL Ltda., comuns no mercado local. Para este trabalho foi utilizado apenas um único frasco para cada tipo de aditivo. Os mesmos foram mantidos em local seco e protegidos da luz solar.

Com relação à empresa BASF, utilizou-se o aditivo denominado "MasterGlenium 51", devido às características atribuídas a este, bem como a disponibilidade do produto no mercado local e no LMCC. De acordo com a ficha técnica elaborada pela BASF S.A, este aditivo pode ser descrito conforme a tabela 6.

Tabela 6 - Dados do aditivo MasterGlenium 51 da empresa BASF S.A.

Dados Técnicos	
Base química	Éter Policarboxilato
Aspecto	Líquido branco turvo
Densidade (g/cm^3)	1,055 a 1,085
PH	5 – 7
Sólidos	29 a 32
Dosagem	0,2% a 1,2% em relação ao peso do cimento

Fonte: Ficha técnica – BASF S.A

Ainda de acordo com a descrição do produto pela empresa fabricante, este produto pode reduzir a taxa de água nos traços de concreto em até 40%, sendo recomendado para a aplicação em concretos autoadensáveis ou ainda em concretos de auto desempenho.

O aditivo denominado de “Plastol 4100” foi o escolhido da fabricante VIAPOL Ltda., por motivos semelhantes à seleção do tipo escolhido da outra fabricante. Abaixo, na tabela 7, temos, de acordo com a empresa, as características do produto.

Tabela 7 - Dados do aditivo Plastol 4100 da empresa VIAPOL Ltda.

Dados Técnicos	
Base química	Solução de Policarboxilatos em meio aquoso
Aspecto	Líquido levemente amarelado
Densidade (g/cm³)	1,10
PH	5 – 7
Sólidos	Não informado
Dosagem para concretos plásticos / bombeáveis	0,2% a 0,7% em relação ao peso do cimento
Dosagem para concretos flúidos / CAD / CAA	0,2% a 1,6% em relação ao peso do cimento

Fonte: Ficha técnica do aditivo Plastol 4100 – VIAPOL Ltda.

De acordo com Cavalcanti (2006), os aditivos a base de policarboxilatos e também chamados de 3° geração apresentam ação bastante intensa nas propriedades de hidratação, porosidade, morfologia dos hidratos, evolução da resistência, fluidez, tempo de pega, retração, segregação e/ou exsudação, dentre outras. Para a utilização do solo-cimento autoadensável, com base na bibliografia, optou-se por trabalhar com esse tipo de aditivo.

4.3.4 Água

Utilizou-se água da rede de abastecimento urbano. A tabela 8, com dados[1] fornecidos pela empresa concessionária de água e esgoto de Campo Grande – MS, para o mês de junho de 2014, as caracterizas da água utilizada são:

[1] Os dados podem ser acessados por meio do endereço eletrônico, acessado em 22 de junho de 2014, http://www.aguasguariroba.com.br/relatorioporsistemaabril2014.pdf

Tabela 8 - Relatório de informações mensais de abastecimento sobre a qualidade da água para consumo humano em Campo Grande.

Bairro Universitário – 06/2014						
Parâmetros	Min.	Méd.	Max.	Total de Amostras	Dentro dos padrões	Fora dos Padrões
Cloro residual livre	0,5	0,6	0,8	8	8	0
PH	6,9	7,3	8,1	8	8	0
Cor aparente	-	-	-	8	8	0
Turbidez	-	-	-	8	8	0
Fluoreto	0,6	0,6	0,7	7	7	0
Coliformes Totais	-	-	-	8	8	0
Escherichia coli	-	-	-	8	8	0

Fonte: Águas Guariroba

4.4 Metodologia

A metodologia de ensaios para o estudo foi organizada em duas fases distintas. A primeira fase compreendeu um estudo de dosagens para o solo-cimento, verificando-se a possibilidade de utilização de percentuais de aditivo superplastificantes às misturas presentes na literatura ligada ao tema. A segunda fase compreendeu a realização de ensaios de caracterização físico-mecânica de duas dosagens selecionadas a partir da primeira fase.

4.4.1 Primeira fase

4.4.1.1 Estudo de dosagem

Nesta primeira fase da pesquisa foi realizado o estudo de dosagem para que, a partir de diversas misturas, fosse possível selecionar com base nos critérios de aceitabilidade, presentes na NBR13553 (1996), o produto com as melhores características. Para a definição dos traços a serem trabalhados, levou-se em conta dois fatores preponderantes, os parâmetros de consistência da mistura e resistências superiores aos definidos na tabela 9.

Tabela 9: Valores de referência para a utilização de solo-cimento

CARACTERÍSTICA	Tijolos de solo-cimento NBR 10836/94	Parede monolítica de solo-cimento NBR 13553/96
Resistência à compressão simples (28 dias)	≥ 2,0 MPa	-
Resistência à compressão simples (7 dias)	-	≥ 1,0 MPa
Absorção de água	≤ 20 %	≤ 20 %

Fonte: Lima (2006)

Foram moldados 80 corpos-de-prova com dimensões 50x100mm para os diferentes traços a serem estudados, sendo que, para cada traço foram feitos 8 CP's. Os corpos-de-prova foram avaliados com relação à resistência mecânica a esforços axiais, por meio do ensaio de resistência à compressão simples, nas idades de 3 e 7 dias. Para o cálculo das resistências médias, levou-se em conta as três aferições com os menores desvios padrões, sendo excluída a leitura com o maior desvio.

Para a verificação dos resultados obtidos nas análises das dosagens, foi empregado o método estatístico de análise de variância (ANOVA) para a variável resistência mecânica à compressão axial, relacionando-a quanto às dosagens adotadas.

O experimento foi considerado como inteiramente casualizado e ainda foi aplicado teste de Tukey para a comparação das médias estatística encontradas. Os resultados foram extraídos do software ASSISTAT.

Após a realização dos ensaios com todas as amostras, por meio do tratamento estatístico de análise de variância (ANOVA), os resultados foram estudados e classificados. Na tabela 10, são descritos as dosagens e denominações dos traços trabalhados.

Tabela 10 - Denominações utilizadas para a identificação dos traços no trabalho

Denominação do traço	**Quantidade de cimento em unidades de massa**	**Quantidade de solo em unidades de massa**	**Percentual de aditivo com relação ao cimento**	**Tipo de Aditivo**
$SCAA_{1/8}$	1	8	0,00%	-
$SCAA_{1/12}$	1	12	0,00%	-
SCAA1/8-0,80%(MG)	1	8	0,80%	MasterGlenium 51
SCAA1/8-1,20%(MG)	1	8	1,20%	MasterGlenium 51
SCAA1/8-0,80%(PL)	1	8	0,80%	Plastol 4100
SCAA1/8-1,20%(PL)	1	8	1,20%	Plastol 4100
SCAA1/12-0,80%(MG)	1	12	0,80%	MasterGlenium 51
SCAA1/12-1,20%(MG)	1	12	1,20%	MasterGlenium 51
SCAA1/12-0,80%(PL)	1	12	0,80%	Plastol 4100
SCAA1/12-1,20%(PL)	1	12	1,20%	Plastol 4100

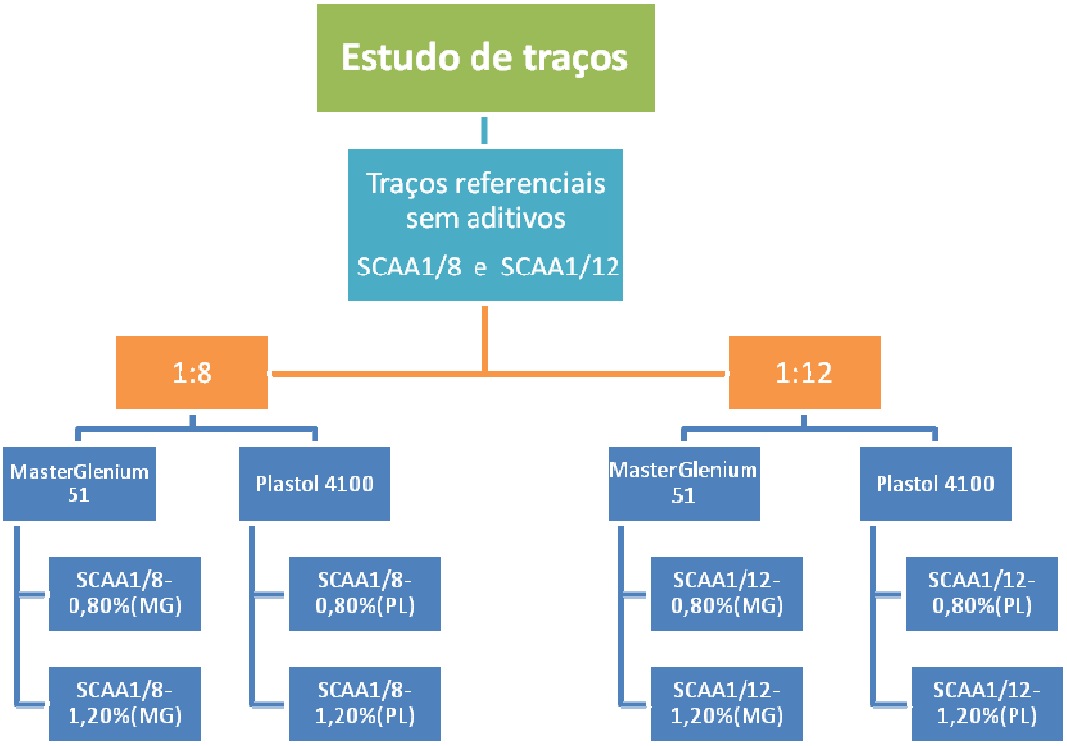


Figura 20: Diagrama de Traços a serem estudados.

Os percentuais de aditivo foram estipulados com base nos estudos dosagem e na experiência da utilização destes compostos no LMCC. As quantidades iniciais de solo e cimento foram obtidas por meio da revisão da bibliografia, utilizando-se como referência trabalhos que tinham como objeto aplicação de materiais semelhantes ao estudado.

Segantini (1994) estudou a utilização de solo-cimento plástico em fundações. Para a dosagem das quantidades de solo e cimento a serem misturadas, o autor baseado na bagagem de experiência que possuía o Laboratório Central de Engenharia da CESP, Ilha Solteira-SP, utilizou o traço de 1:8 (uma parte de cimento para oito partes de solo). O autor conclui que a aplicação deste é viável apresentando aos 28 dias resistência média de 7,09 MPa.

Milani e Barboza (2012) vislumbraram a possibilidade da utilização do solo-cimento plástico, com a traço 1:12 com 0,65% de aditivo a base de lignosulfonato incorporados a mistura. Com a finalidade de aplicar-se a paredes monolíticas não portantes, obteve-se características quanto à resistência mecânica, absorção de água e índice de vazios, aceitáveis de acordo com as normas vigentes.

A quantidade inicial de água, adicionada às misturas, alicerçou-se no ensaio de dosagem de aditivo, onde se adotou uma quantidade de água para que fossem estipulados os percentuais de aditivo que deveriam ser estudados.

Para encontrar o valor inicial, subtraiu-se o valor da umidade natural do solo, obtida através do ensaio de “SPEEDY”, pois, considera-se que este é o mínimo de água para atingir consistência necessária que afere ao solo-cimento as propriedades de autoadensamento.

4.4.1.2 Dosagens de aditivo

Para a avaliação das quantidades de aditivo a serem utilizadas, foi feito um estudo de dosagem para os aditivos avaliados.

Com método semelhante ao utilizado por Correa (2010), onde se buscava estudar o desempenho dos aditivos plastificantes e polifuncionais em concretos autoadensáveis, o procedimento para a escolha dos percentuais a serem estudados nesta primeira fase se deu por meio da avaliação dos índices de consistência ao se aumentar os teores de aditivos.

O estudo teve como ponto de partida os traços SCAA1/8 e SCAA1/12, estipulando-se o teor de água a ser adicionado em 23,00%. A quantidade de água foi definida com base nos estudos de Milani e Barboza (2012) que adotaram 22,98% de água em uma mistura com traço 1:12 e a adição de 0,65% de aditivo plastificante a base de lignosulfonato. Para este estudo os autores chegaram a uma mistura de solo-cimento plástico com abatimento médio para o ensaio de abatimento de tronco de cone “Slump Test.”, igual a 10 cm.

4.4.1.3 Homogeneização e moldagem das misturas

Em uma argamassadeira foram misturados os materiais nas devidas proporções sendo adicionadas quantidades de água em porções de aproximadamente 200 ml por adição. Sendo ainda que, os percentuais de aditivo foram dissolvidos em água e essa dissolução incorporada à mistura já na segunda adição.

Durante o processo homogeneização foram realizados ensaios de abatimento “flow table”, sendo excluído o processo de adensamento mecânico, de acordo com a NBR 13276 (2005), aplicada a argamassas.

Os parâmetros que nortearam os limites mínimos e máximos para a aferição da consistência para o solo-cimento autoadensável foram obtidos por meio da revisão da literatura, já que não existem ainda procedimentos normatizados com relação ao tema.

Edamatsu et al. (1999) considera que argamassas para concreto autoadensável devem apresentar espalhamento na faixa de 20 a 28,3 cm de espalhamento no tronco de cone de consistência ou “flow table”.Tal parâmetro foi verificado visualmente para o solo-cimento

autoadensável, ficando estipulado que as misturas deveriam possuir diâmetro médio de abertura próximos a 25 cm.

Quando se atingiu a consistência adequada, foram retiradas amostras do solo-cimento fresco com a finalidade de se aferir o teor de umidade necessária para o alcance desta trabalhabilidade. Essas amostras foram pesadas e levadas à estufa e depois de 48h o seu peso foi aferido novamente, de acordo com a NBR 9778 (2005).

Alcançada a consistência almejada, seguiu-se o processo descrito na NBR 5738 – 1994 – moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Os CP's foram cobertos com plástico celofane e, após 48h, desmoldados. Os mesmos foram levados para câmara úmida para posterior realização dos ensaios de resistência à compressão axial nas idades de 3 e 7 dias.

Ao final desta primeira fase, selecionaram-se dois traços "SCAA1/8-0,80%(PL)" e "SCAA1/12-1,20%(PL)", levando-se em conta a eficiência do tipo de aditivo, resistências mecânicas, consistência e a quantidade de cimento. Para a análise das resistências no estudo de traço foi empregado a análise estatística dos valores obtidos.

4.4.2 Segunda fase

4.4.2.1 Caracterização físico-mecânica das misturas de solo-cimento plástico

Após a primeira fase, onde foi feito o estudo de traço, as misturas selecionadas foram caracterizadas conforme os ensaios descritos nesta segunda fase. A figura 20 demonstra como se organizou essa etapa.

Os processos de homogeneização e moldagem das misturas se deram de forma semelhante aos procedimentos adotados na fase de estudo de traço, porém, como já era sabida a quantidade de água necessária para o alcance da consistência desejada, obtida a partir do ensaio de umidade NBR9778(2005), adotou-se o percentual água/solo previamente estudado. Para a análise dos resultados obtidos, foi utilizada a análise de variância (ANOVA) específicamente para os valores obtidos para as resistências à compressão axial e absorção de água, fatores que são limitados pela NBR 13553 (1996).

4.4.2.2 Ensaio de compressão simples

Após a moldagem e desmoldagem dos CP's, com a finalidade de se verificar o ganho de resistência dos traços escolhidos, foram realizados nas idades de 3, 7, 14 e 28 dias ensaios de resistência à compressão axial. Para cada idade foram moldados 4 CP's com dimensões 50x100mm. Os ensaios foram realizados segundo a NBR 12025 (1990) que regulamenta a execução de ensaios de compressão simples de corpos de prova cilíndricos para solo-cimento.

4.4.2.3 Ensaio de compressão diametral

Com procedimento semelhante ao do ensaio de compressão simples, foi feita a aferição da resistência à traço por meio do ensaio de compressão diametral, descrito na NBR 7224 (1994). Foram moldados 4 CP's com dimensões 50x100mm para as idades de 3, 7, 14 e 28 dias.

4.4.2.4 Ensaio de absorção de água

O ensaio de absorção de água foi realizado nas idades de 7, 14 e 28 dias após a moldagem. A finalidade deste procedimento foi avaliar a relação entre o ganho de resistência e a absorção de umidade, verificando-se o atendimento dos valores de absorção limitados pela norma NBR 13553 (1996) para utilização de solo-cimento como elemento construtivo.

A determinação de absorção de água dos corpos-de-prova de misturas de solo-cimento foi realizada de acordo com a partir da norma NBR 13555 (1996).

Pare este ensaio foram aproveitados os CP's utilizados no ensaio de compressão diametral, após a aferição de suas resistências, os mesmos foram pesados e levados à estufa aquecida à temperatura média de 105°C, para posterior realização de procedimentos descritos na normatização citada.

4.4.2.5 Ensaio de absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi feito conforme procedimento descrito na norma NBR 9779 (1995) para de identificar a quantidade de água que pode ser absorvida pela argamassa através da ascensão por capilaridade. Determinou-se ainda o coeficiente de capilaridade de acordo com a NBR 15.259 (2005). As medições das massas foram efetuadas em 10 min., 90 min. 3 h, 6 h, 24 h, 48 h e 72 horas após a exposição dos

mesmos à lâmina de água. Às 72 horas, rompem-se os CPs à compressão diametral e verificou-se a altura de ascensão da água no seu interior.

A absorção de água por capilaridade deve ser expressa em g/cm2 e calculada dividindo o aumento de massa pela área da seção transversal da superfície do corpo-de-prova em contato com a água, de acordo com a equação 1:

Equação 1- Absorção por capilaridade

$$C = \frac{A-B}{S}$$

Onde:
C = absorção de água por capilaridade, em g/cm2
A = massa do corpo-de-prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado, em g
B = massa do corpo-de-prova seco, assim que este atingir a temperatura de (23 ± 2)oC, em g
S = área da seção transversal, em cm2.

O coeficiente de capilaridade pode ser obtido pela equação 2.

Equação 2- Cálculo do coeficiente de capilaridade

$$C = \frac{M_{(90)} - M_{(10)}}{\sqrt{T_{(90)}} - \sqrt{T_{(10)}}}$$

Onde:

C = coeficiente de capilaridade (g/dm2.min½)

$M_{(90)}$ = absorção de água por capilaridade no tempo de 90 minutos (g/dm2)

$M_{(10)}$ = absorção de água por capilaridade no tempo de 10 minutos (g/dm2)

$T_{(90)}$ = tempo de 90 minutos $T_{(10)}$= tempo de 10 minutos

4.4.2.6 Ensaio de índice de vazios.

O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR 9778 (2005)– Argamassa e concreto endurecido – determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, nas idades de 7, 14 e 28dias.

Pare este ensaio foram aproveitados os CP's utilizados no ensaio de compressão diametral, após a aferição de suas resistências, os mesmos foram pesados e levados à estufa aquecida à temperatura média de 105°C, para posterior realização de procedimentos descritos na normatização citada.

4.4.2.7 Teor de ar incorporado

O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR 13278 (2005) – Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.

4.4.2.8 Densidade de massa

De acordo com a NBR 13278 (2005), pode-se determinar a densidade de massa a partir do peso de uma de certa quantidade de argamassa, relacionando-a ao volume ocupado por uma determinada porção, no estado fresco. Por semelhança de consistências, tal procedimento foi aplicado ao solo-cimento autoadensável.

De acordo com a NBR 13280 (2005) a densidade de massa aparente no estado endurecido é a relação entre a massa e o volume total do corpo-de-prova, sendo aplicado às argamassas e similarmente utilizado para o solo-cimento autoadensável, o ensaio foi realizado na idade de 28 dias, utilizando três corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 50x100mm, utilizados para ensaio de resistência à compressão axial.

4.4.2.9 Ensaio de fissuração e perda de massa

Silva (2011) avaliou a fissuração de argamassas utilizando três moldes prismáticos de madeira adaptado da norma ASTM C1579 (2006), com dimensões internas de 250 x 400 x 20 mm, conforme mostra a figura 21. No fundo dos moldes foram colocadas restrições à retração para induzir a ocorrência de fissuras, no caso o autor estava analisando o comportamento de argamassas de cimento no estado plástico. Pela semelhança das misturas de solo-cimento

estudadas, será empregado o método descrito para a avaliação do surgimento de possíveis fissuras no material.

A sensibilidade, a praticidade, a reprodutibilidade e adequação dos ensaios em condições ambientais controladas como temperatura, umidade relativa e velocidade do vento, são algumas das justificativas para a utilização deste método (SILVA, 2011).

O ensaio foi realizado em sala climatizada com temperatura de (25±2)ºC e umidade relativa de (50±5)%, por um período de aproximadamente 24 horas dentro de uma caixa de madeira, adaptando-se o procedimento descrito na norma ASTM C1579 (2006).

O ensaio de perda de massa da mistura foi realizado simultaneamente com o ensaio de fissuração. As formas ou moldes tiveram o seu peso tarado, sendo aferida em períodos a perda de massa por hidratação e secagem dos traços estudados, conforme mostra a figura 21 e 22 que ilustram as características dos equipamentos usados no ensaio.

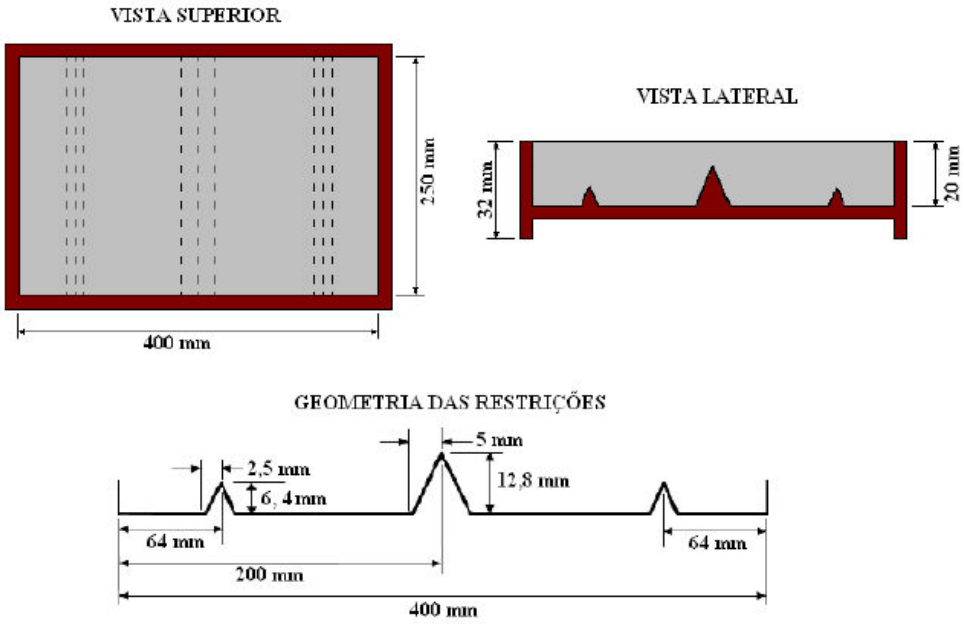


Figura 21: Dimensões do molde adaptado da norma ASTM C1579 (2006) para avaliar a fissuração.

Fonte: Silva (2011)

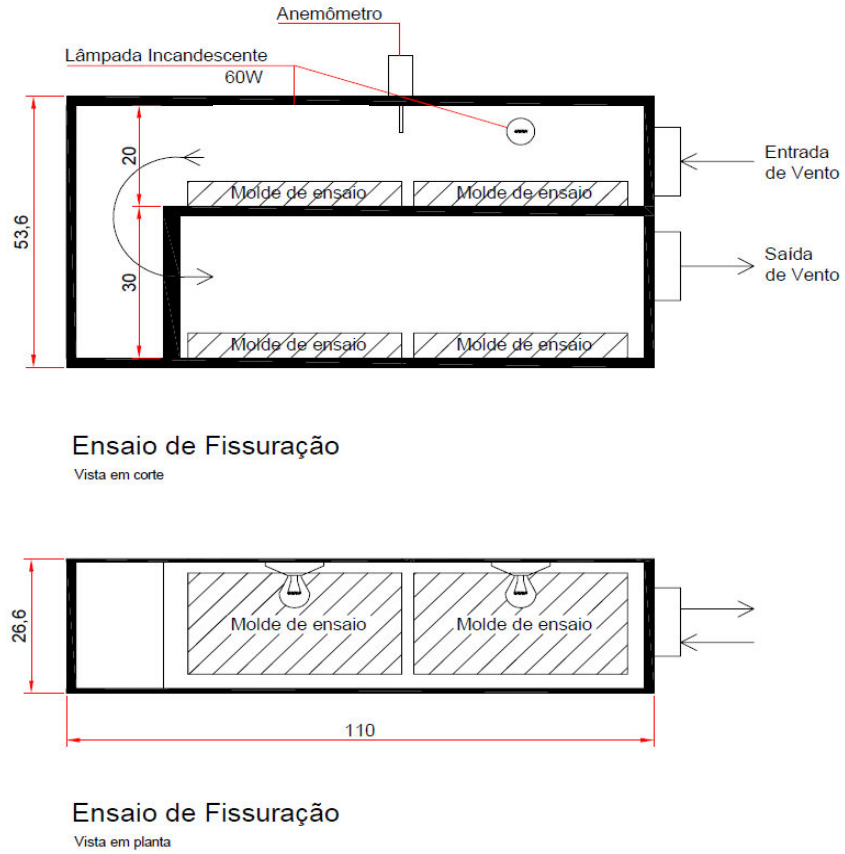


Figura 22: Ensaio de avaliação da fissuração e perda de água.

O ensaio pretende avaliar a velocidade do aparecimento de fissuras no solo cimento, seu formato e dimensões. Nesta adaptação na parte superior foram colocadas lâmpadas incandescentes, com a finalidade de irradiar calor sobre as misturas, para que seja possível avaliar como estas se comportam na presença de calor (parte superior) e sem a presença dele, (parte inferior). O monitoramento das fissuras e a avaliação da perda de massa, procedimento feito em paralelo com o experimento, foi feitas de hora em hora em durante um dia. As figuras 23-a e 23-b mostram o equipamento construído.

(a) (b)

Figura 23: Ensaio de avaliação da fissuração e perda de água.

4.4.2.10 Retração livre e por secagem.

SILVA (2011) no estudo de argamassas autoadensáveis, faz uma breve revisão da literatura e destaca os métodos de retração linear livre e restringido, onde se busca caracterizar as argamassas quanto às suas retrações. O autor compara dois métodos para avaliação das retrações livres, o descrito por Wongtanakitcharoen e Naaman (2007) que avalia as deformações livres em apenas uma direção (unilateral) e o procedimento de Détriché (1977) que acompanha as deformações em duas dimensões (bilateral). Ao final conclui-se que os métodos fornecem resultados compatíveis.

Para a que fossem constatadas as retrações no solo-cimento autoadensável, o procedimento se fez de maneira análoga ao ensaio de Wongtanakitcharoen e Naaman (2007), sendo avaliadas as deformações em apenas uma direção. Foram moldados 3 corpos de prova cilíndricos com dimensão 100x200mm de acordo com a NBR 12024 (1992) para cada traço estudado. Imediatamente após a moldagem foram acoplados a estes extensômetros que aferiram as deformações nas primeiras 24h após a moldagem. Após esse período as misturas foram desmoldadas e novamente verificou-se as suas deformações por meio de extensômetros, até a idade de 7 dias.

Com o objetivo de se avaliar o comportamento das retrações sob a ação de esforços axiais que por ventura possam existir em painéis monolíticos, onde as parcelas inferiores desses painéis estão sob o efeito do peso próprio das parcelas superiores, realizou-se de

maneira semelhante ao ensaio de retrações livres, um ensaio de retração sob o efeito de uma carga constante de 0.06 Kg/cm², este ensaio foi chamado de ensaio de retrações comprimidas. A figura 24 demonstra o método utilizado para o solo-cimento autoadensável.

Figura 24: Ensaio de avaliação das retrações livres, comprimidas e por secagem.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Introdução

Neste capítulo são apresentados os resultados e análises dos ensaios realizados, organizando-se a exposição a partir da caracterização dos materiais utilizados, posteriormente são feitas as análises dos ensaios realizados com o solo-cimento autoadensável no estado fresco e finaliza-se com as análises no estado endurecido.

5.2 Caracterização dos materiais

5.3 O solo

5.4 Ensaio de classificação do solo

De acordo com as características do solo, este foi classificado com Latossolo Vermelho-escuro. Segundo Spera et. al. (2000) são características deste tipo de solo, teores de silte inferior a 20% e argila variando entre 15% e 80%. Possuem alta permeabilidade à água, podendo ser trabalhados em grande amplitude de umidade.

Figura 25 - Porção de solo em estado natural

5.4.1 Índices físicos do solo

Tabela 11 - Resultados da Caracterização do Solo

Características físicas	Resultados
Massa específica dos Sólidos (g/cm³)	2,84
Limite de Liquidez (%)	NP
Limite de Plasticidade (%)	NP
Índice de consistência	NP
Material que passa #4,8 mm (%)	100
Material que passa #0,075 mm (%)	20
Ensaio visual e tátil	Areia argilosa
Classificação AASHTO:	$A_{2\text{-}4}$

5.4.2 Ensaio de distribuição granulométrica do solo

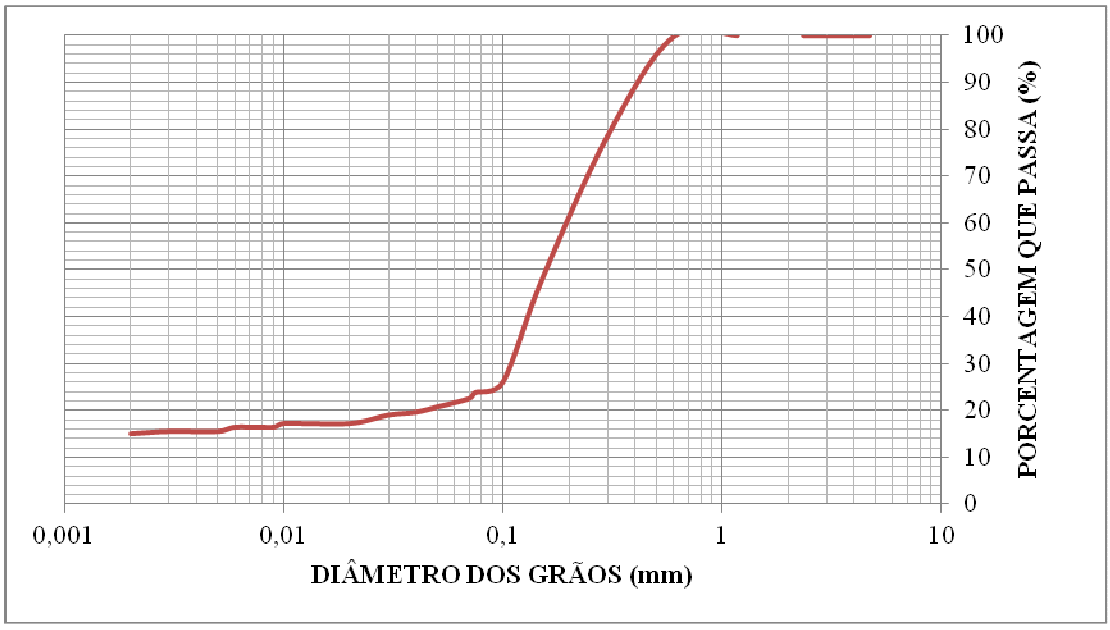


Figura 26 - Curva granulométrica do solo

Tabela 12 - Resumo da Distribuição Granulométrica do Solo.

ARGILA: 20 %	SILTE: 3 %	FINA: 76%	MÉDIA: 1 %	GROSSA: 0 %	PEDREGULHO: 0 %
		Areia: 77 %			

5.4.3 Umidade natural do solo

Como o solo foi armazenado dentro do LMCC, e não sofreu grandes variações de umidade, fizeram-se medições de umidade natural do solo pelo método de "Speedy" após o seu armazenamento, e durante todo o trabalho se utilizou a umidade natural encontrada, conforme a tabela 13.

Tabela 13 - Umidade natural do solo pelo método de "Speedy"

Ensaio de Speedy	
Umidade Esperada	4,00%
Massa de Solo	10,00 g
Pressão obtida	4Kg/cm²
Umidade natural do solo	4,10 %

5.5 Primeira fase

5.5.1 Estudo de dosagens

O estudo de dosagem teve por objetivo a seleção de misturas que com diferentes quantidades de cimento, aditivo e água, atendam os parâmetros de consistência e resistência à compressão axial aos 7 dias, sendo realizado preliminarmente o estudo de dosagem dos aditivos e posteriormente realizados ensaios com determinados traços para a aferição de seus comportamentos.

5.5.1.1 Dosagem dos percentuais de aditivo a serem analisados

Para a escolha dos percentuais de aditivo foram ensaiados os traços SCAA1/8 e SCAA1/12, variando-se as quantidades de aditivo nas misturas e estipulando o teor de umidade inicial dos traços em 23%.

Os fabricantes dos aditivos utilizados na pesquisa propõem uma dosagem entre 0,40 a 1,60% de aditivo com relação a massa do ligante. Para a avaliação dos percentuais a serem estudados, foram dosadas misturas com os percentuais de 0,00%, 0,40%, 0,80%, 1,20% e 1,60% e foram avaliados os índices de consistência das mesmas por meio do método de "flow table".

5.5.1.2 Análise do aditivo MasterGlenium 51

O aditivo MasterGlenium 51 foi ensaiado conforme relatado na metodologia. Com relação aos traços SCAA1/8 e SCAA1/12, pode-se notar que há uma tendência de aumento da fluidez das misturas ao se adicionar este composto químico, porém essa tendência não é constante. A variação da abertura média dos diâmetros no ensaio de abatimento entre a adição de 1,20% e 1,60% de aditivo foi a menor variação registrada para ambos os traços.

As figuras 27, 28, 29, 30 e 31 trazem os resultados aferidos no ensaio de dosagem de aditivo a partir do traço SCAA1/8, com 23% de umidade.

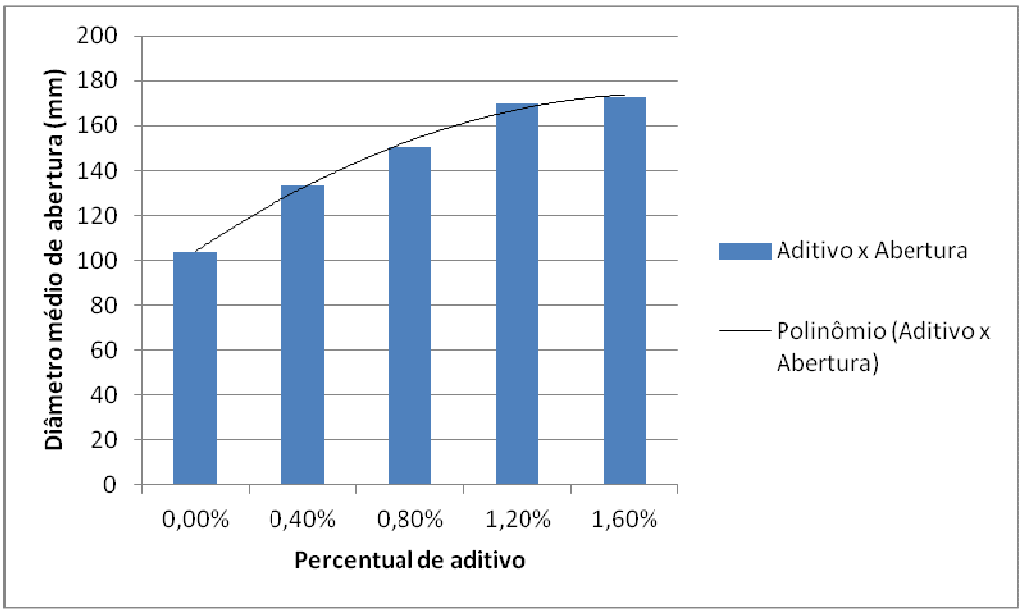


Figura 27 - Gráfico da relação entre percentual do aditivo ”MasterGlenium 51” e diâmetro médio de abertura para os traços definidos a partir de 1/8

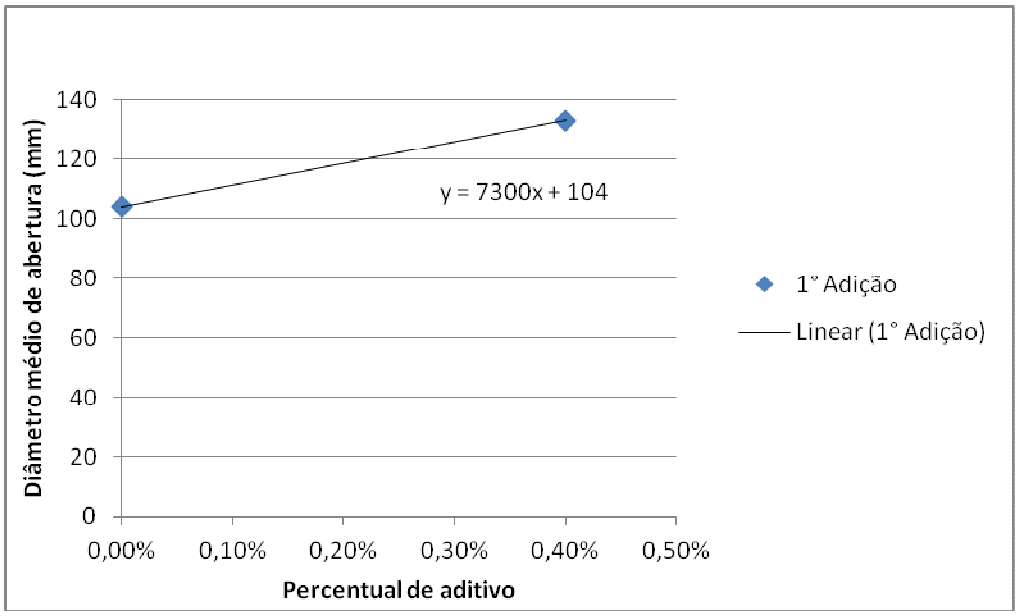


Figura 28 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo ”MasterGlenium 51” para os traços a partir de 1/8 - 1° adição

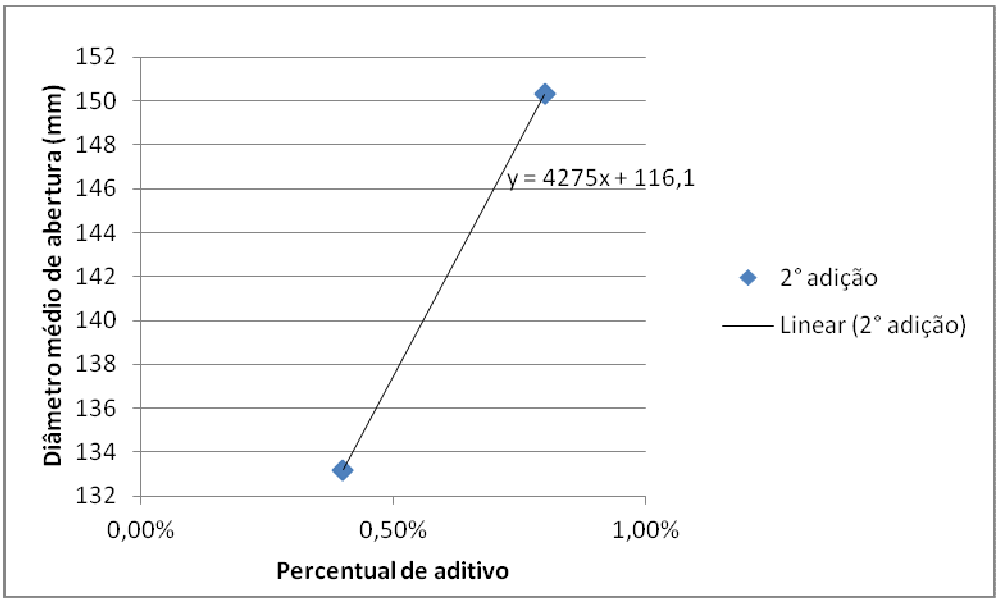


Figura 29 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “MasterGlenium 51” ” para os traços a partir de 1/8 - 2° adição

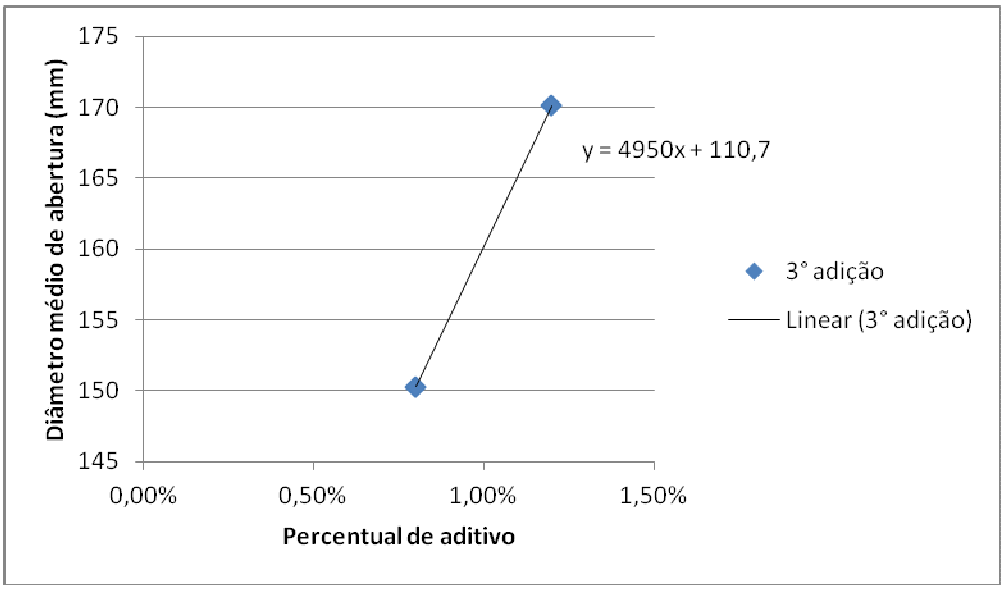


Figura 30 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “MasterGlenium 51” ” para os traços a partir de 1/8 - 3° adição

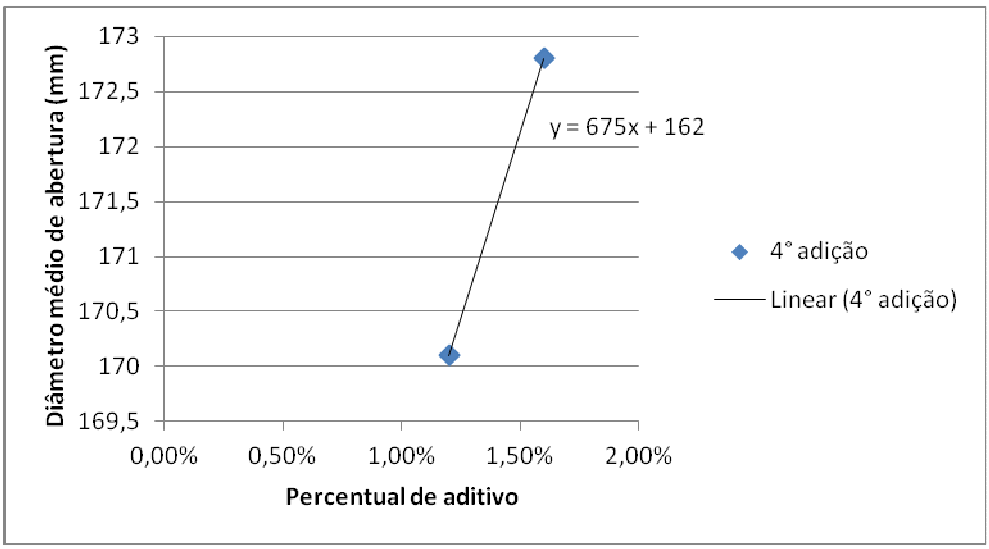


Figura 31 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “MasterGlenium 51” ” para os traços a partir de 1/8 - 4° adição

A análise das variações de adição em adição, nos permite verificar a intensidade do aumento da fluidez aferido às misturas por meio do aumento do teor de aditivo utilizado. Verifica-se que na primeira adição o coeficiente angular da curva de tendência linear é o maior valor encontrado entre todas as adições, seguido da 3º adição, onde o percentual de aditivo sai de 0,80% para 1,20%.

As figuras 32, 33, 34, 35 e 36 trazem os resultados aferidos no ensaio de dosagem de aditivo a partir do traço SCAA1/12, com 23,00% de umidade.

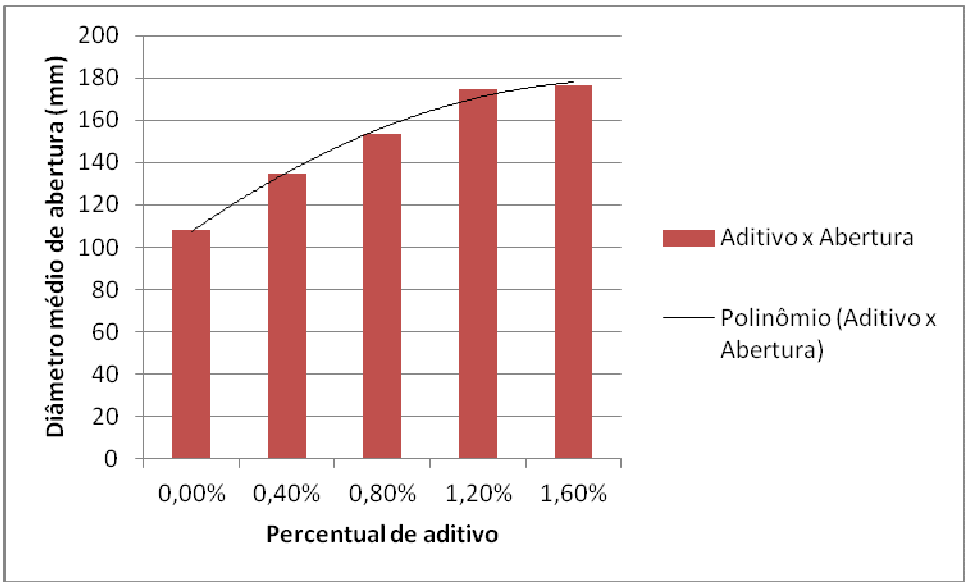


Figura 32 - Gráfico da relação entre percentual do aditivo ”MasterGlenium 51” e diâmetro médio de abertura para os traços definidos a partir de 1/12

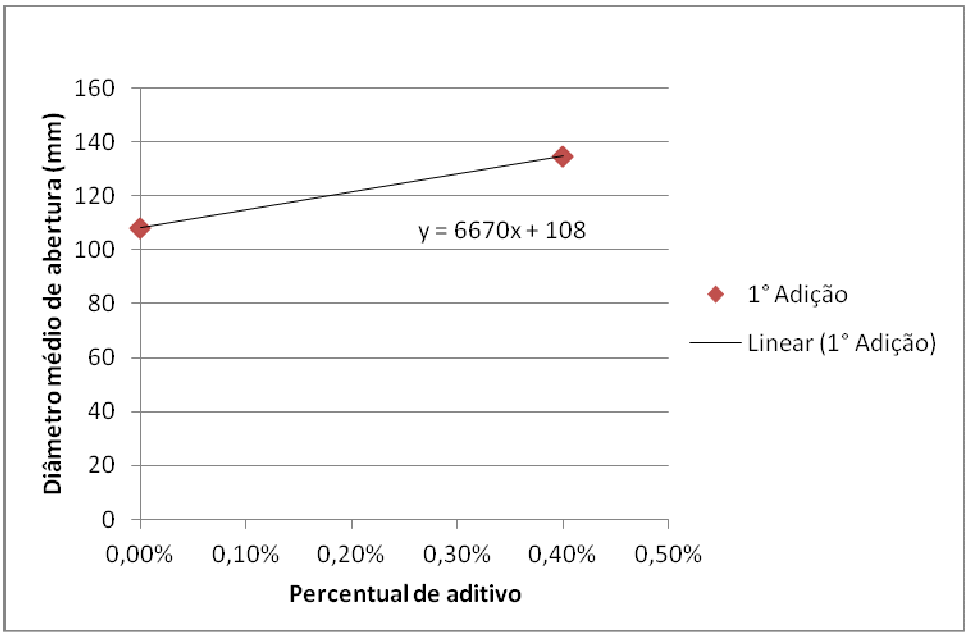


Figura 33 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “MasterGlenium 51” ” para os traços a partir de 1/12 - 1° adição

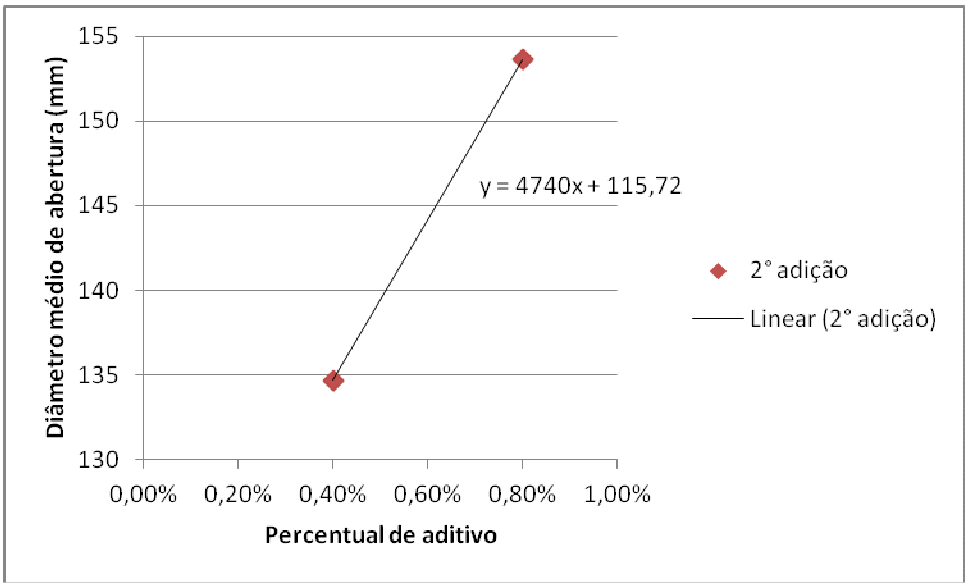


Figura 34 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “MasterGlenium 51” ” para os traços a partir de 1/12 - 2° adição

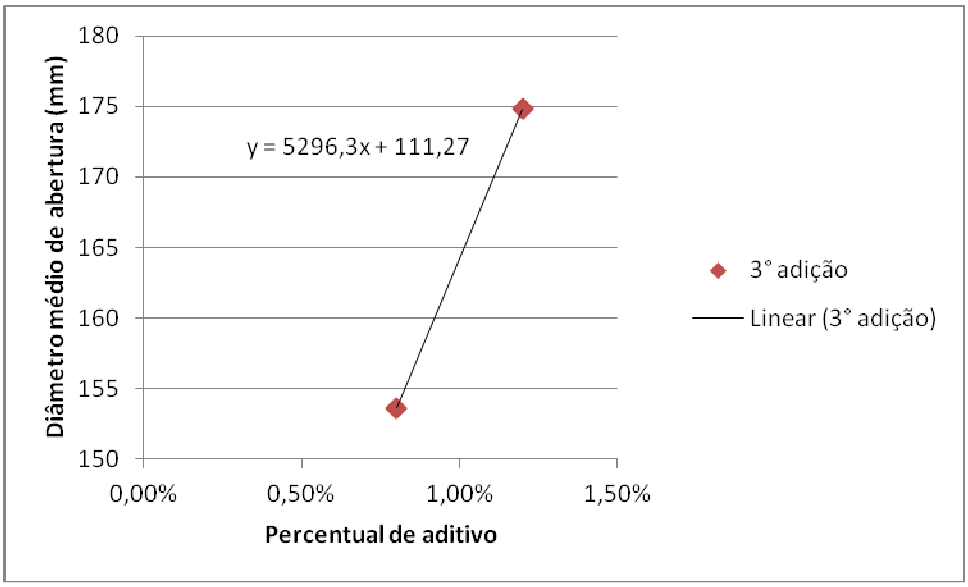


Figura 35 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “MasterGlenium 51” ” para os traços a partir de 1/12 - 3° adição

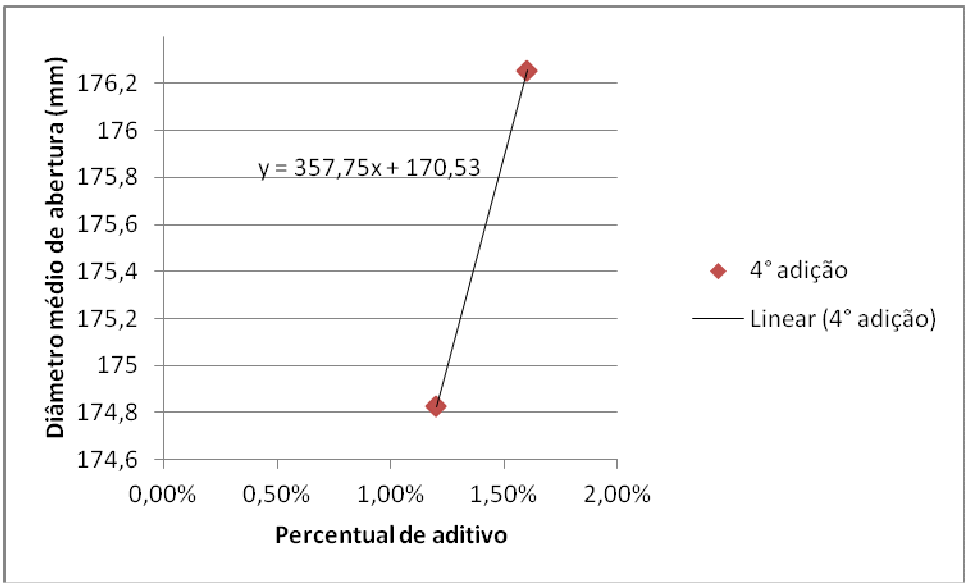


Figura 36 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “MasterGlenium 51” ” para os traços a partir de 1/12 - 4° adição

Para o traço SCAA1/12, os coeficientes angulares das curvas lineares tiveram o mesmo comportamento do traço SCAA1/8, porém o aditivo mostrou-se ligeiramente menos eficiente para este traço com relação ao anterior, como se constata na figura 37, porém esta diferença não é notada de maneira marcante para a trabalhabilidade das misturas.

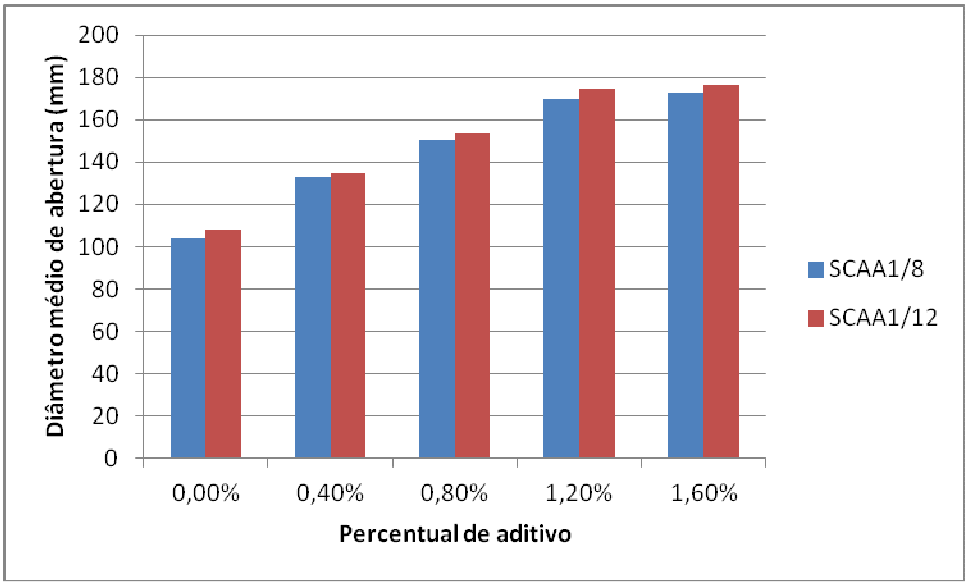


Figura 37 – Comparação entre o desempenho do aditivo “MastelGlenium 51” para as diferentes dosagens

5.5.1.3 Análise do aditivo Plastool 4100

De maneira análoga às análises feitas para o aditivo MasterGlenium 51 item 5.5.1.2, foi analisada a influência dos teores deste aditivo nas misturas, conforme se observa nas figuras 38, 39, 40, 41 e 42.

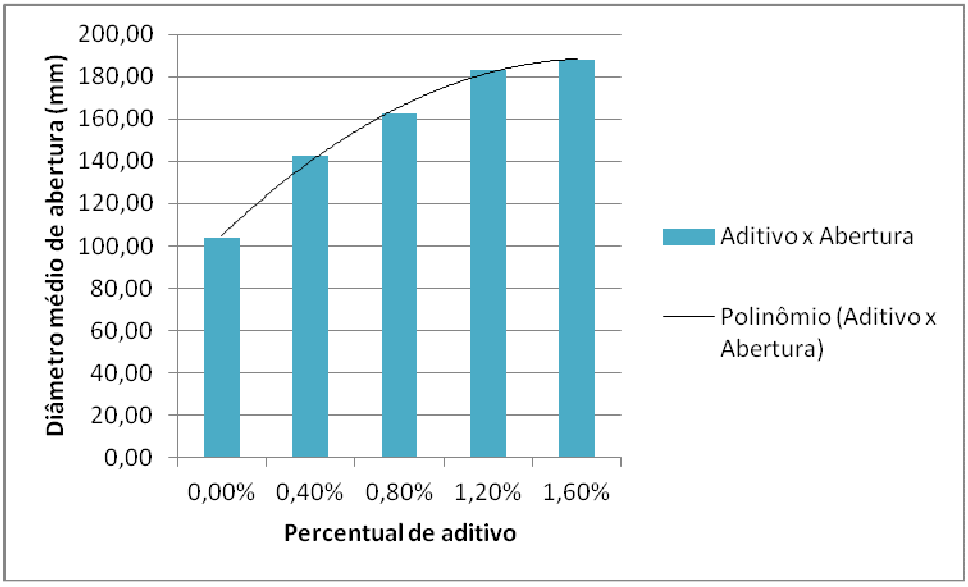


Figura 38 - Gráfico da relação entre percentual do aditivo ”Plastol 4100” e diâmetro médio de abertura para os traços definidos a partir de 1/8

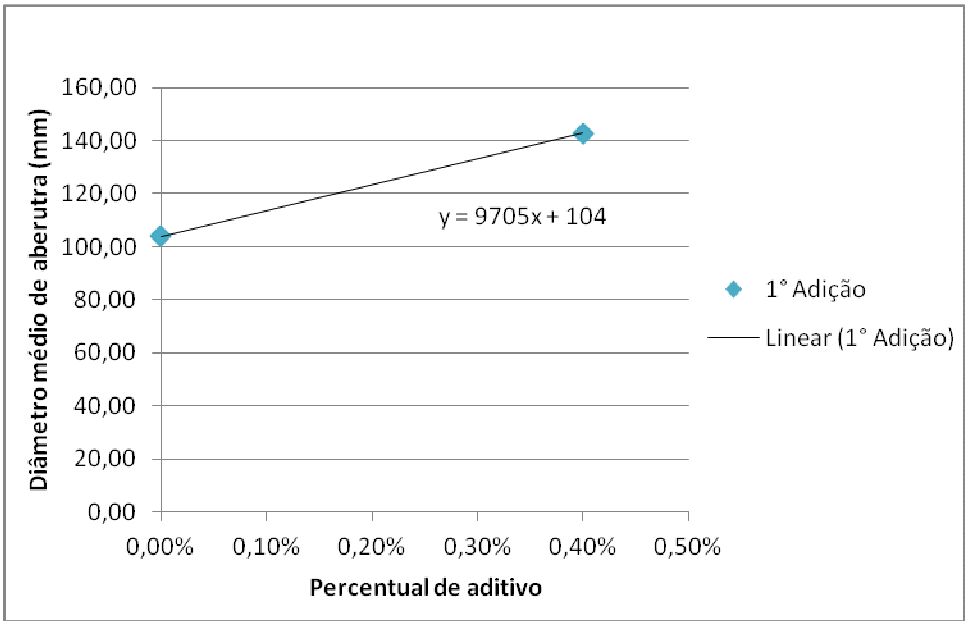


Figura 39 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “Plastol 4100” para os traços a partir de 1/8 - 1° adição

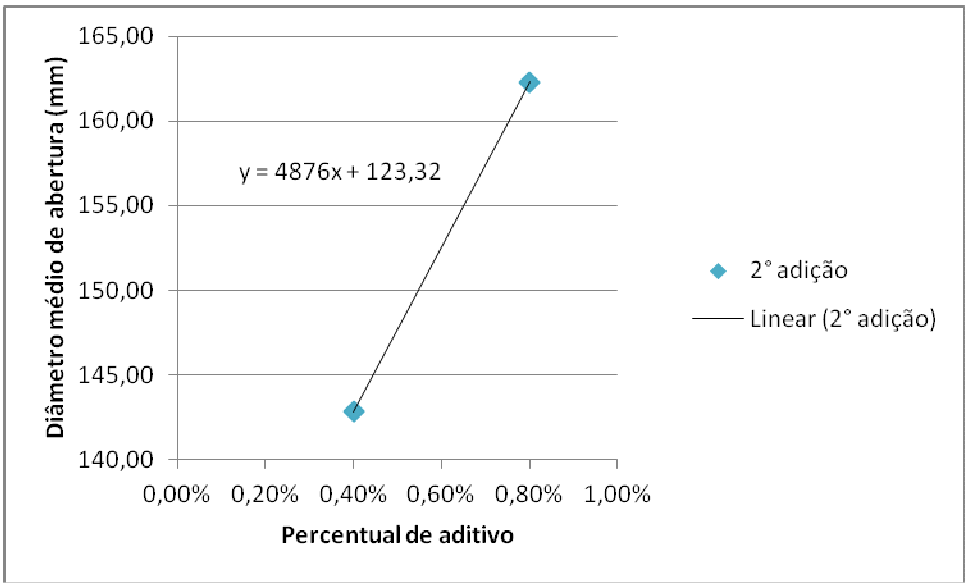


Figura 40 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “Plastol 4100” para os traços a partir de 1/8 - 2° adição

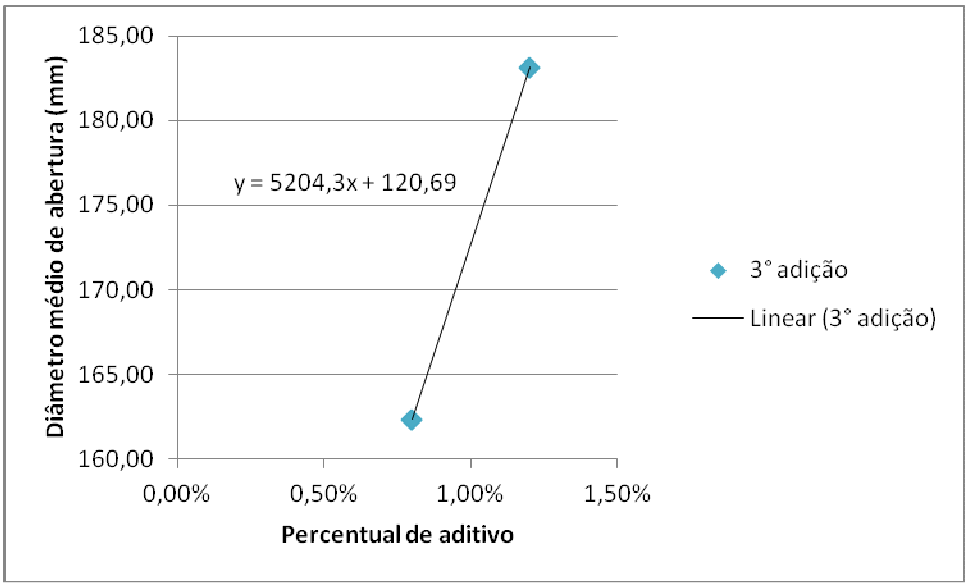


Figura 41 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “Plastol 4100” para os traços a partir de 1/8 - 3° adição

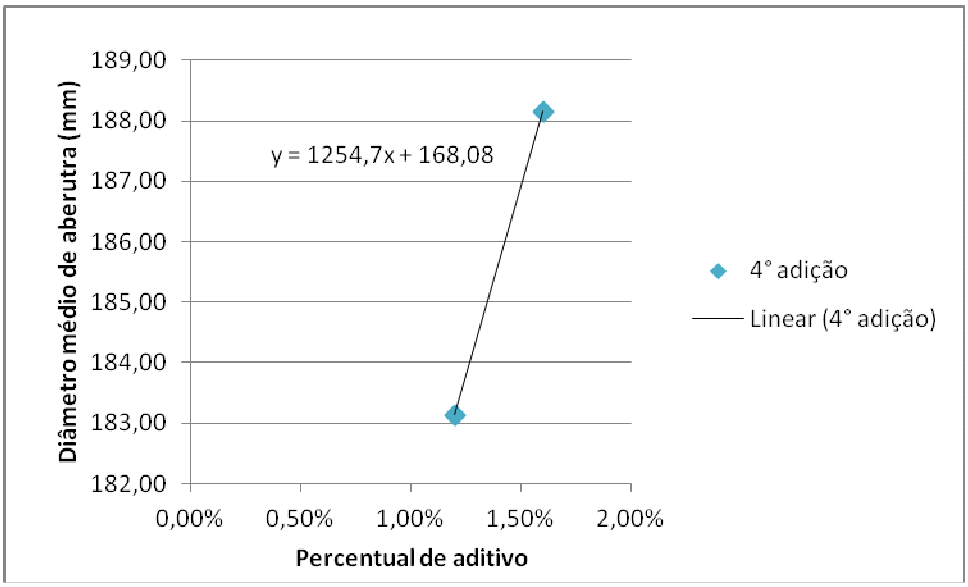


Figura 42 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo “Plastol 4100” para os traços a partir de 1/8 - 4° adição

A atuação do aditivo sobre o traço SCAA1/8 é intensa na primeira adição, apresentando coeficiente angular superior ao aditivo MasterGlenium 51 para a mesma situação. As figuras 43, 44, 45, 46 e 47 trazem os resultados para este aditivo sobre o traço SCAA 1/12.

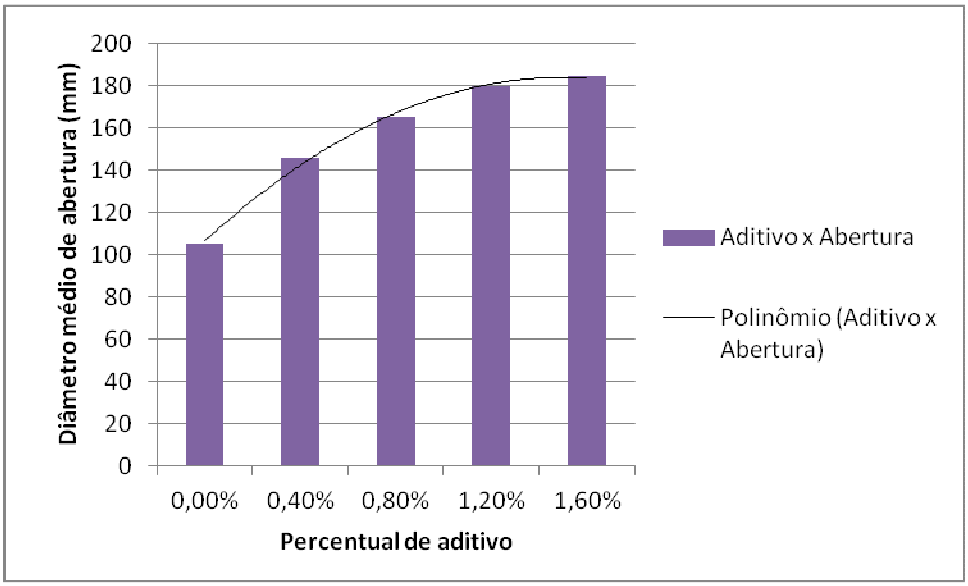


Figura 43 - Gráfico da relação entre percentual do aditivo ”Plastol 4100” e diâmetro médio de abertura para os traços definidos a partir de 1/12

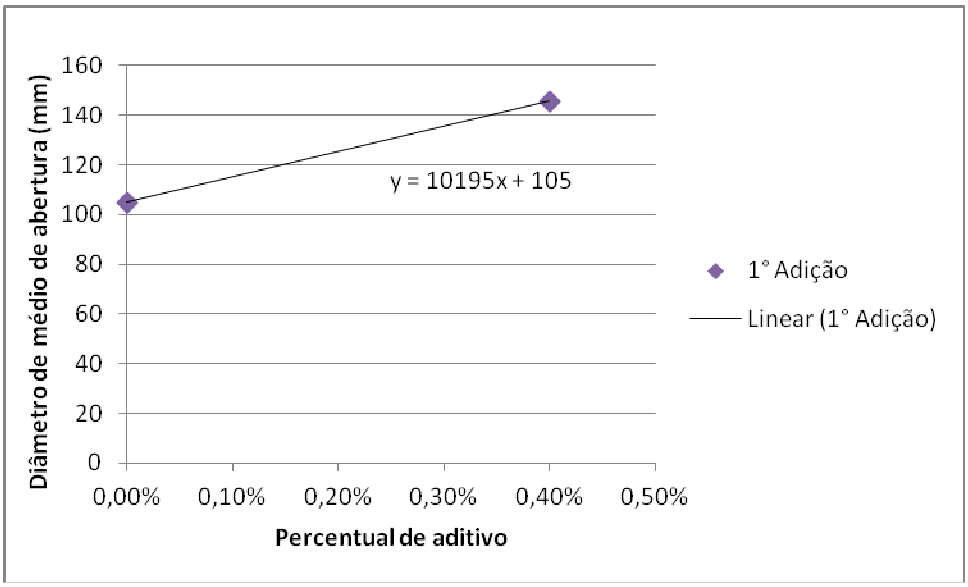


Figura 44 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo "Plastol 4100" para os traços a partir de 1/12 - 1° adição

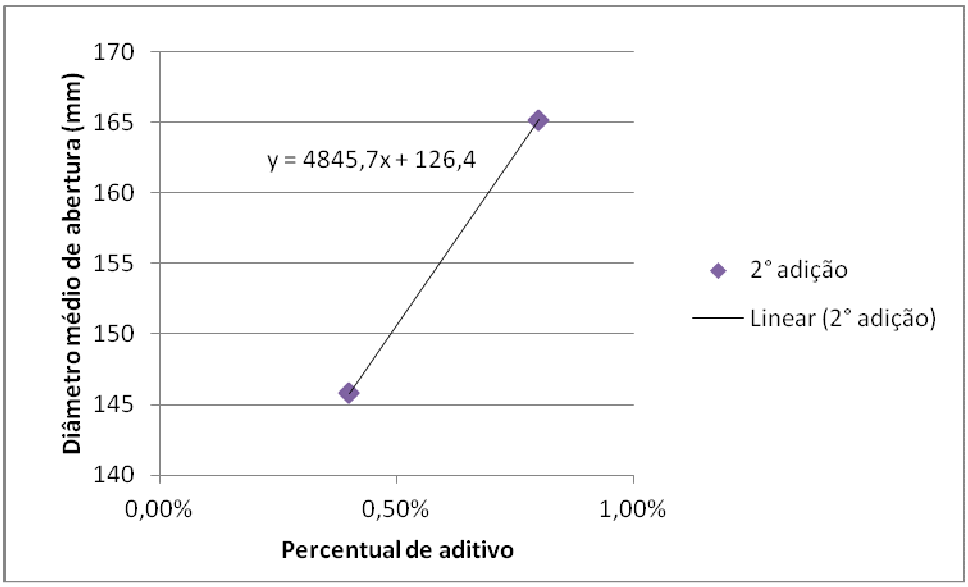


Figura 45 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo "Plastol 4100" para os traços a partir de 1/12 - 2° adição

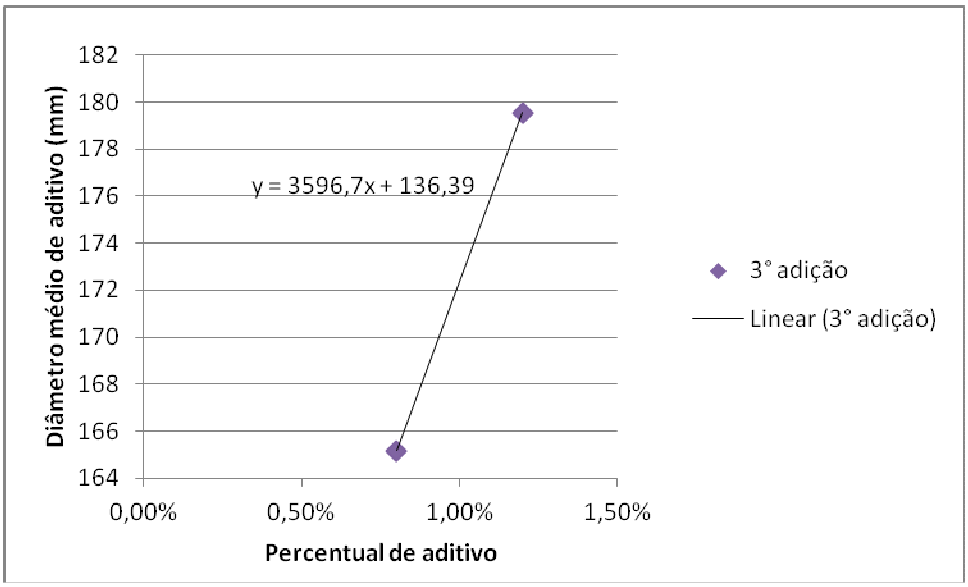


Figura 46 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo "Plastol 4100" para os traços a partir de 1/12 - 3° adição

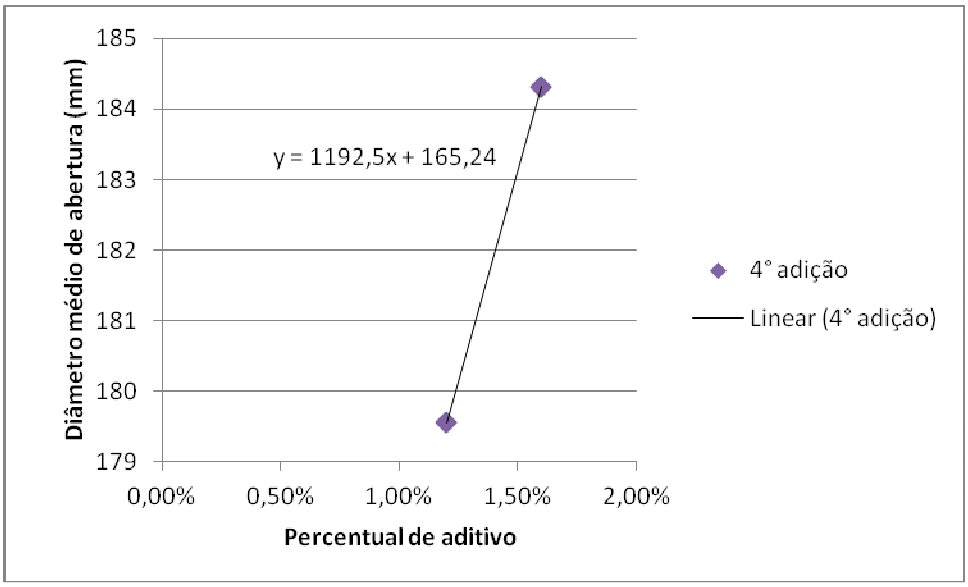


Figura 47 - Análise linear da manutenção do desempenho do aditivo "Plastol 4100" para os traços a partir de 1/12 - 4° adição

Para o traço SCAA1/12 o aditivo Plastol 4100 registrou melhores resultados, bem como o intervalo correspondente a 3° adição obteve sensível variação, atuação similar ao aditivo MasterGlenium 51. A figura 48 mostra a comparação entre o comportamento dos índices de consistência para os traços SCAA1/8 e SCAA1/12 ao se adicionar teores de aditivo Plastol 4100.

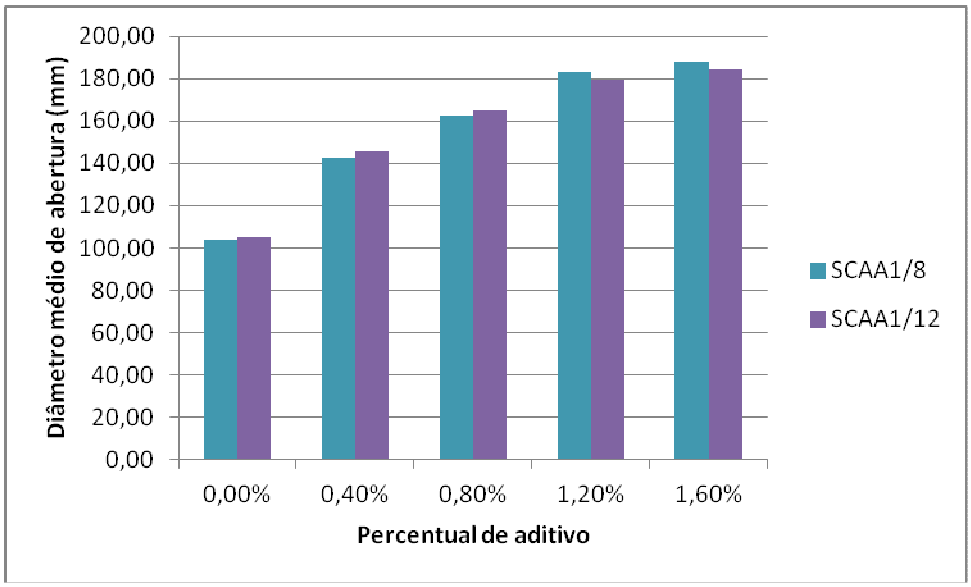


Figura 48 – Comparação entre o desempenho do aditivo “Plastol 4100” para as diferentes dosagens

Ao final do estudo de dosagem de aditivos se chegou à conclusão de que a quantidade de água adicionada à mistura era insuficiente para se alcançar o parâmetro pré-estabelecido de (250 ± 20) mm, sendo necessário aumentá-la. A variação constatada na ultima adição de aditivo é pequena e, portanto o intervalo não era o mais aconselhável para ser trabalhado, sendo escolhido o intervalo referente a 3° adição, pois, ao se analisar este intervalo foi verificado que havia uma variação expressiva de consistência assim como a primeira adição, porém os dois primeiros intervalos de adição apresentam pequenos diâmetros de abertura, sendo assim descartados.

5.5.2 Análise quanto à consistência das misturas no estudo de traço

De acordo com a revisão da literatura, foi estabelecido que os traços possuíssem teor de umidade suficiente para que no ensaio de “flow table” tivessem diâmetros de abertura iguais a (250 ± 20) mm, sendo a quantidade de água incorporada à mistura aferida por meio do ensaio de teor de umidade NBR 13555 (1996). Considerando-se ainda, de acordo com o estudo de dosagem de aditivos, que o intervalo de teores de aditivos que deveriam ser estudados, seriam 0,80% e 1,20%. Verificam-se na tabela 14 os valores obtidos no ensaio de abatimento, bem como o valor da quantidade de água incorporada às misturas estudadas.

Tabela 14 - Avaliação quanto à consistência das misturas.

Traço	Média Diâmetro 1 (mm)	Média Diâmetro 2 (mm)	Média Diâmetro 3 (mm)	Média dos diâmetros de abertura	D.P	Percentual de água incorporado às misturas
SCAA1/8	268	235	259	254,00	17,06	36,04%
SCAA1/12	223	274	264	253,67	27,02	37,12%
SCAA1/8-0,80%(MG)	254	259	248	253,67	5,51	27,79%
SCAA1/8-1,20%(MG)	262	254	251	255,67	5,69	21,83%
SCAA1/8-0,80%(PL)	247	250	259	252,00	6,24	26,74%
SCAA1/8-1,20%(PL)	262	261	256	259,67	3,21	23,51%
SCAA1/12-0,80%(MG)	257	251	262	256,67	5,51	32,44%
SCAA1/12-1,20%(MG)	249	255	252	252,00	3,00	30,56%
SCAA1/12-0,80%(PL)	251	260	257	256,00	4,58	32,08%
SCAA1/12-1,20%(PL)	248	258	251	252,33	5,13	29,73%

A partir das informações da tabela 14 verifica-se que a atuação dos aditivos quanto à redução de água nas misturas é mais intensificada nas misturas que possuem maiores teores de cimento, já que conforme a revisão da literatura, esses compostos atuam junto ao ligante reduzindo a sua floculação, como resultado verifica-se uma maior mobilidade da mistura sem o aumento da relação água/cimento.

Outra informação presente na tabela 14 se denota ao se analisar os valores do desvio-padrão encontrados para as varias misturas. Os traços SCAA1/8 e SCAA1/12 que serviram de referencia para o estudo apresentaram desvio-padrão elevado, traduzindo a não uniformidade das misturas submetidas ao ensaio de abatimento. Isso se deve à quantidade excessiva de água incorporada nas mesmas. O oposto ocorre para as misturas que possuíram aditivos químicos em suas composições.

A figura 49 demonstra os percentuais de umidade atribuídos às misturas levando-se em conta o tipo e percentuais de aditivos adicionados.

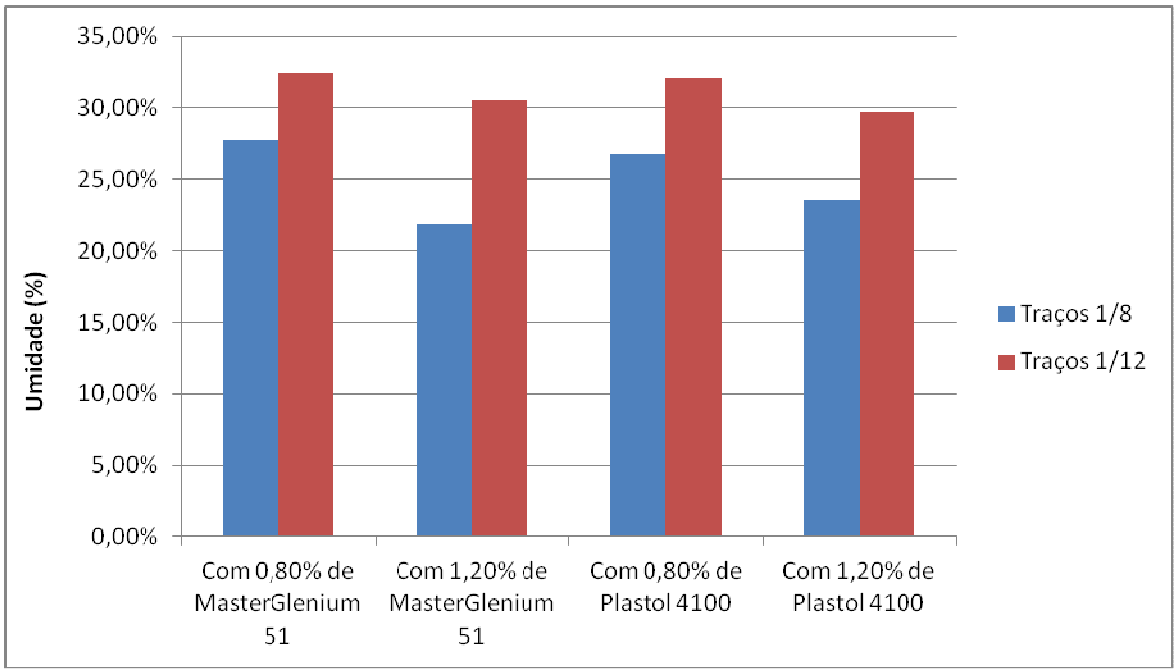


Figura 49 - Comparação entre os teores de umidades adquiridos pelo emprego de diferentes dosagens de aditivo

Quanto à homogeneidade e exsudação foram avaliados aspectos visuais da mistura, sendo classificado o comportamento das mesmas qualitativamente.

Berté (2012) ao estudar a consistência do solo-cimento autoadensável classificou as misturas quanto aos seguintes critérios: Homogeneidade – traduz como as partículas de solo e cimento estão sendo misturadas; Estabilidade – demonstrando a resistência à segregação; Presença de Exsudação – Avaliando o formato das misturas submetidas ao ensaio de consistência pode-se avaliar o grau em que se apresenta esta propriedade; Mobilidade – avalia os diâmetros de abertura no ensaio de consistência, sendo as misturas com diâmetros fora dos limites pré-estabelecidos consideradas sem mobilidade.

Tabela 15 - Avaliação qualitativa quanto à consistência das misturas.

Traço	Homogeneidade	Estabilidade	Exsudação	Mobilidade
SCAA1/8	Homogênea	Instável	Forte Exsudação	-
SCAA1/12	Homogênea	Instável	Forte Exsudação	-
SCAA1/8-0,80%(MG)	Homogênea	Estável	Fraca Exsudação	Com mobilidade
SCAA1/8-	Homogênea	Estável	Sem	Com

1,20%(MG)			Exsudação	mobilidade
SCAA1/8-0,80%(PL)	Homogênea	Estável	Sem Exsudação	Com mobilidade
SCAA1/8-1,20%(PL)	Homogênea	Estável	Sem Exsudação	Com mobilidade
SCAA1/12-0,80%(MG)	Homogênea	Estável	Fraca Exsudação	Com mobilidade
SCAA1/12-1,20%(MG)	Homogênea	Estável	Sem Exsudação	Com mobilidade
SCAA1/12-0,80%(PL)	Homogênea	Estável	Sem Exsudação	Com mobilidade
SCAA1/12-1,20%(PL)	Homogênea	Estável	Sem Exsudação	Com mobilidade

Com relação à classificação qualitativa dos materiais, pode-se observar que a adição de aditivos químicos a base de policarboxilatos melhora as características do solo-cimento autoadensável possibilitando-se a sua aferição por meio do ensaio de "flow table" adaptado. Porém as misturas referenciais apresentaram resultados que as impossibilitam de ser utilizadas, isso se deve principalmente à quantidade excessiva de água que necessitou ser adicionada para que a mesma possuísse a consistência pré-estabilecida.

5.5.3 Resistência à compressão axial e diametral aos 3 e 7 dias

A partir dos resultados de consistência, foram realizados os ensaios de resistência mecânica para os traços. Nesta fase não foram avaliados os traços SCAA1/8 e SCAA1/12, pois, estes não atenderam os critérios mínimos estabelecidos para o estado fresco.

Milani e Barboza (2012) concluíram que a mistura o traço de 1/12 com 22,98% de água atingiu aos 7 dias, 0,52 MPa. Essa constatação confirma a não utilização destes traços referencias, haja vista que as umidades necessárias para o atendimento da consistência requerida nesta pesquisa, são bem superiores à utilizada pelos autores.

Na tabela 16 são apresentados os valores encontrados para as resistências à compressão axial para os traços em estudo.

Tabela 16 - Resistências à compressão axial nas idades de 3 e 7 dias no estudo de traço.

Traço	TENSÃO MÉDIA (MPa) 3 dias	D.P.	CV(%)	TENSÃO MÉDIA (MPa) 7 dias	D.P.	CV(%)
SCAA1/8-0,80%(MG)	0,54 d	0,04	8,36	1,05 d	0,07	6,67
SCAA1/8-1,20%(MG)	0,62 c	0,01	1,02	1,26 c	0,08	6,33
SCAA1/8-0,80%(PL)	0,73 b	0,03	4,61	1,46 b	0,08	5,45
SCAA1/8-1,20%(PL)	1,08 a	0,04	3,40	1,79 a	0,08	4,72
SCAA1/12-0,80%(MG)	0,09 g	0,01	8,43	0,68 e	0,02	3,54
SCAA1/12-1,20%(MG)	0,19 f	0,02	10,67	0,69 e	0,05	7,15
SCAA1/12-0,80%(PL)	0,22 ef	0,03	11,47	0,82 e	0,09	10,68
SCAA1/12-1,20%(PL)	0,29 e	0,03	9,71	1,21 c	0,01	0,73

O estudo das resistências à compressão axial demonstrou que nem todas as misturas atingiram o limite mínimo para a resistência aos 7 dias (1,00 MPa), atribuído de acordo com a NBR 13553 (1996) à painéis monolíticos e portanto, os traços SCAA1/12-0,80%(MG), SCAA1/12-1,20%(MG) e SCAA1/12-0,80%(PL) estariam excluídos da próxima fase. As figuras 50 e 51 demonstram a evolução das resistências para os traços com dosagens de 1/8 e 1/12 respectivamente e diferentes dosagens de aditivo.

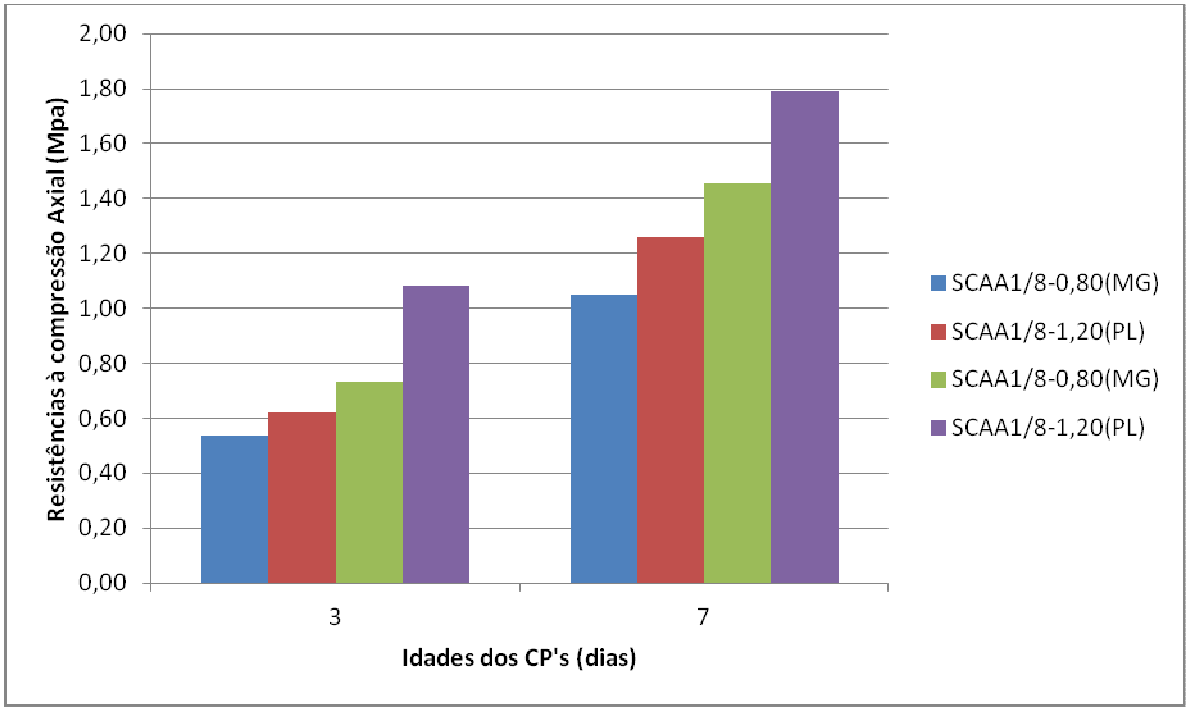


Figura 50 - Resistências à compressão axial para a dosagem 1/8 no estudo de traços

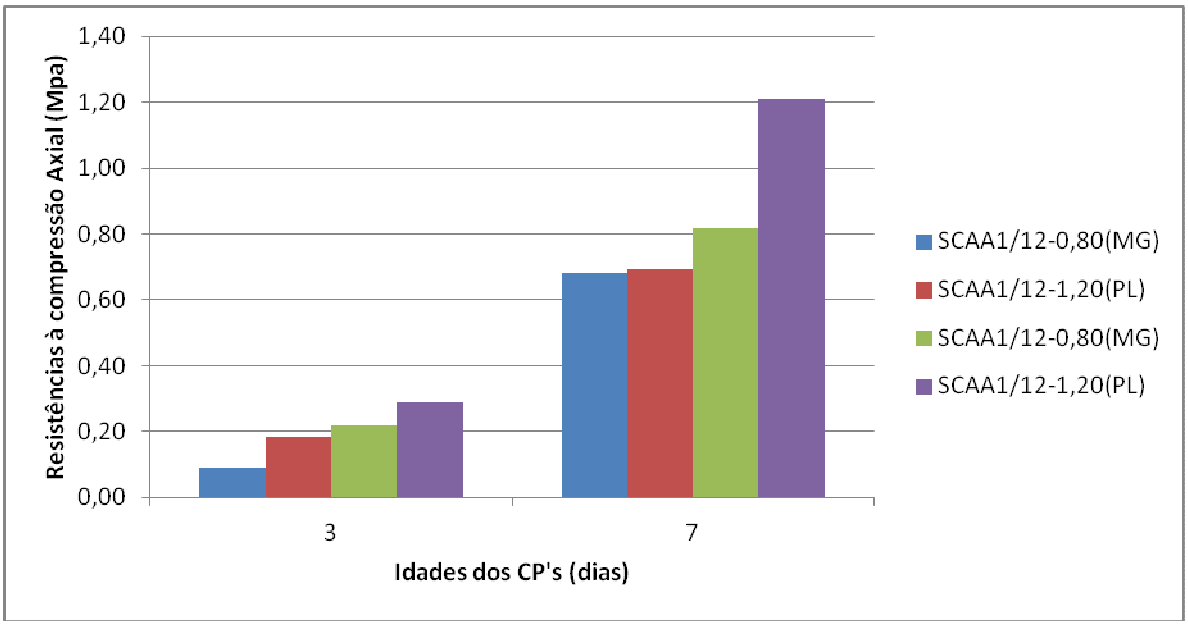


Figura 51 - Resistências à compressão axial para a dosagem 1/12 no estudo de traços

As maiores resistências são encontradas para os traços 1/8, onde o traço SCAA1/8-1,20%(PL) apresentou aos 7 dias 1,89 MPa, estando bem acima dos valores alcançados pelas outras misturas. Outra informação relevante é observada com relação à grande variação das resistências com relação à marca do aditivo utilizado, onde, para os traços 1/8 as mesmas dosagens de aditivo apresentaram aos 7 dias uma variação da ordem de 40%.

As figuras 52 e 53 relacionam o tipo de aditivo com as resistências encontradas.

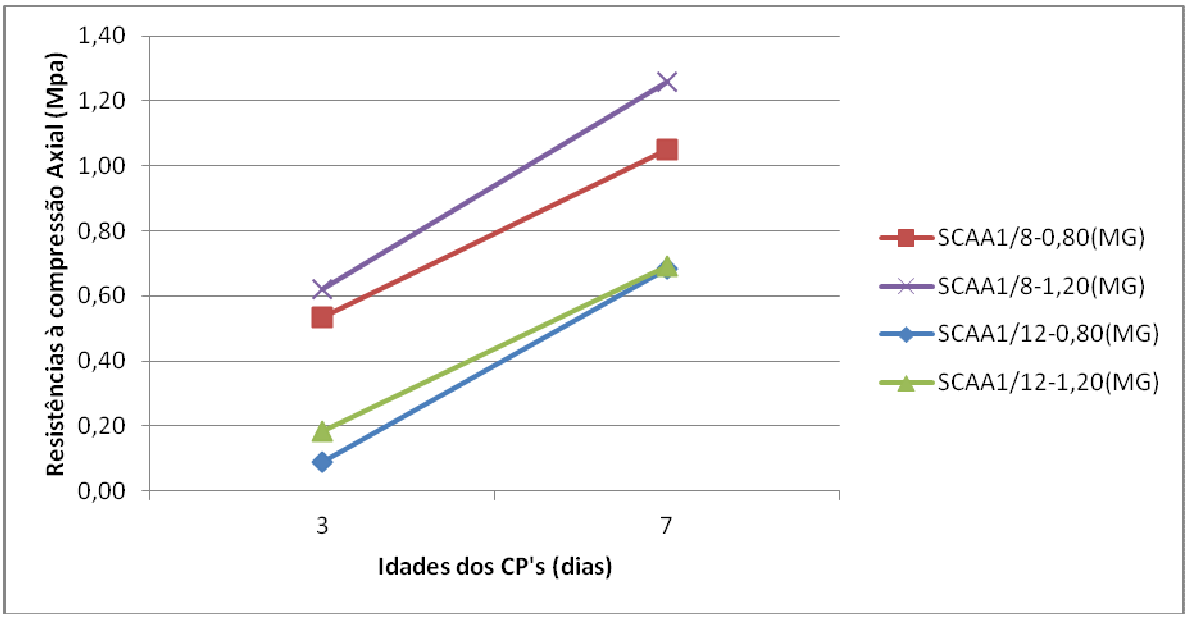


Figura 52 – Evolução das resistências à compressão axial com o emprego do aditivo “MasterGlenium 51”

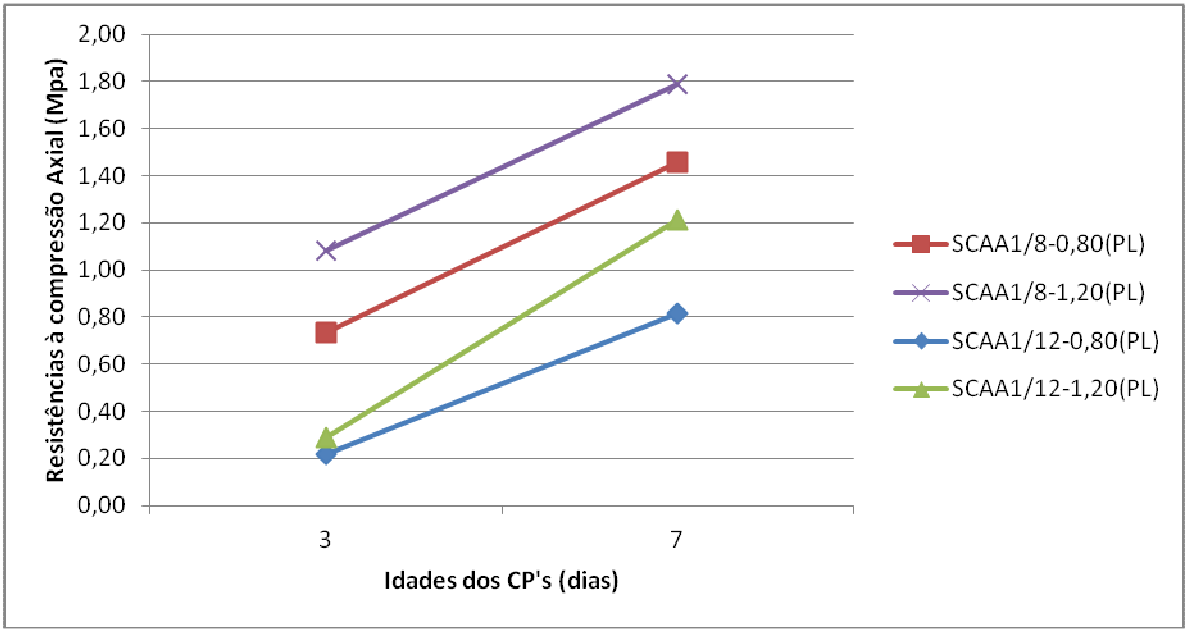


Figura 53 – Evolução das resistências à compressão axial com o emprego do aditivo "Plastol 4100"

Com relação às curvas de evolução para as misturas que foram preparadas com o aditivo MasterGlenium 51, pode-se constatar que os traços SCAA1/12-0,80%(MG) e SCAA1/12-1,20%(MG) tiveram suas curvas muito próximas, demonstrando que praticamente não houve ganho de resistência com o aumento do percentual de ativo, já para os traços SCAA1/8-0,80%(MG) e SCAA1/8-0,80%(MG) a diferença foi perceptível, sendo que ainda, as resistência iniciais com maiores dosagens deste composto foram mais acentuadas.

O aditivo Plastol apresentou bons níveis de ganho de resistência para o solo-cimento autoadensável, sendo que se chama atenção para a evolução do traço SCAA1/12-1,20%(PL) que apresenta no intervalo de 3 a 7 dias o seu valor aumentado em 4 vezes.

5.5.4 Análise estatística para o estudo de dosagem

Para o estudo de traço a análise estatística dos resultados obtidos para as resistências aos 3 e 7 dias é de vital importância, pois, por meio da análise de variâncias (ANOVA) pode-se verificar o grau de significância dos resultados e avaliar se as variações nos resultados seriam estatisticamente relevantes.

Os resultados da análise estatística indicam que a amostra, para os valores de resistência à compressão axial aos 3 dias, possuem significância ao nível de 1% de probabilidade, ou seja, apresenta grande significância. Pelo método de Tukey ($p<0,05$), os valores encontrados para os traços SCAA1/12-1,20%(MG) e SCAA1/12-0,80%(PL),

apresentados na não diferem estatisticamente entre si, assim como os valores encontrados para os traços SCAA1/12-0,80%(PL) e SCAA1/12-1,20%(PL), ou seja, as variações desses valores não foram consideradas estatisticamente diferentes.

Quanto às resistências encontradas para a amostra aos 7 dias, os resultados indicam que a amostra também possui significância ao nível de 1% de probabilidade, ou seja, apresenta grande significância. A variação dos valores encontrados para os traços SCAA1/12-0,80%(MG), SCAA1/12-1,20%(MG) e SCAA1/12-0,80%(PL), apresentados não apresentam estatisticamente variação em seus valores.

Levando-se em conta os resultados obtidos para as resistências aos 7 dias, podemos confirmar que para os traços 1/12 o aditivo MasterGlenium 51 não possui grande influência no ganho de resistências, o oposto ocorre para o outro tipo de aditivo, já que há diferença entre as resistências adquiridas pelos CP's ao se aumentar as dosagens de Plastol 4100.

Para os traços 1/8 ambos os aditivos possuem influência direta no ganho de resistências.

5.5.5 Conclusões do estudo de traço

A partir dos itens analisados foram tiradas as seguintes conclusões:

- Dosagem dos percentuais de aditivo: concluiu-se que os percentuais a serem estudados seriam 0,80% e 1,20% de aditivo em massa com relação ao aglomerante, esses valores foram escolhidos a partir da análise do ganho de fluidez das misturas neste intervalo.
- Consistência das misturas: Observou-se que a utilização de aditivos a base de policarboxilatos, conforme apresentava a literatura, proporcionou grande redução da quantidade de água nas misturas para o alcance de uma mesma consistência.
- Aditivo: O aditivo Plastol 4100 apresentou melhores resultados quanto a redução da quantidade água incorporada aos traços, em comparando-se com o aditivo MasterGlenium 51.
- Análise qualitativa: Os traços 1/8 e 1/12 que não continham teores de aditivo apresentaram instabilidade e forte exsudação, os traços que foram dosados com 0,80% do aditivo MasterGlenium 51 apresentaram fraca exsudação e para os demais traços houve a homogeneidade e não foi apresentada a exsudação.

- Resistências mecânicas à compressão axial: Todas os traços 1/8 com diferentes dosagens de aditivo de ambas as marcas apresentaram aos 7 dias valores superiores à 1,0 MPa. Para os traços dosados a partir de 1/12 apenas o traço contendo 1,20% do aditivo Plastol 4100 apresentou valor superior ao limite mínimo aos 7 dias.
- Análise estatística dos resultados: todas as aferições apresentaram significância a 1% de probabilidade, sendo consideradas representativas. Aos 7 dias com relação aos traços dosados com 1/12 contendo o aditivo MasterGlenium 51 não foi verificada a relação do aumento deste composto com o ganho de resistência. A resistência obtida pelo o emprego de 1,20% do aditivo MasterGlenium 51 no traço 1/8 foi equivalente a mesma dosagem do aditivo Plastol, porém com um menor teor de cimento 1/12.

A luz das conclusões expostas, o aditivo Plastol 4100 foi selecionado para os estudos de caracterização físico-mecânicas do solo-cimento autoadensável. Para que fosse avaliado a influência dos teores de cimento no comportamento físico do material, foram adotadas as variações que estavam sendo usadas no estudo de traço 1/8 e 1/12. A quantidade de aditivo utilizada no traço 1/12 alicerçou-se no alcance da resistência mínima aos 7 dias alcançada apenas por um traço SCAA1/12-1,20%(PL). Para o traço 1/8 foi selecionado o traço SCAA1/8-0,80%(PL) por atender os limites mínimos de resistência com um menor teor de aditivo, comparando-se com o traço SCAA1/8-1,20%(PL).

A quantidade de água que deviria ser adicionada às misturas para que estas possuíssem a consistência adequada se embasou nos ensaios de umidade feitos ao longo do estudo de traço. Não houve a possibilidade de se verificar se os percentuais adotados estavam próximos ao limite de liquidez do solo, já que conforme Martins et. al. (2012) em sua análise quanto à dosagem e reologia dos traços de solo-cimento, chegou a conclusão que a obtenção de misturas fluidas de solo-cimento, a razão água/solo seria da mesma ordem de grandeza do limite de liquidez. Os estudos de caracterização do solo utilizado demonstram que este não possui um índice de consistência aferível, sendo considerado não plástico.

Porém de acordo com Milani (2008) que ao se trabalhar com um solo contendo 1,20% de areia grossa, 25,90% de areia média, 41,25% de areia fina, 20,25% de silte e 11,49% de argila, também constatou que o solo a ser estudado era não plástico. Mas segundo a autora, seria possível utilizá-lo para a fabricação de materiais de solo-cimento, pois o solo possuía a

quantidade de finos (argila + silte = 31,74%) suficientes para aferir ao solo-cimento a coesão e plasticidade necessária para a sua utilização.

5.6 Segunda fase: Caracterização físico-mecânica do solo-cimento autoadensável

5.6.1 Análise quanto à consistência das misturas

A análise da consistência das misturas se fez por meio do ensaio "Flow Table", sendo verificadas propriedades semelhantes às encontradas na primeira fase (o estudo de traços). Na tabela 17 são apresentados os valores referentes ao ensaio de "Flow Table" para os traços SCAA1/8-0,80%(MG) e SCAA1/12-1,20%(PL) e os valores encontrados no teste de umidade das misturas. As classificações qualitativas são apresentas na tabela 18.

Tabela 17 - Avaliação quanto ao formato das aberturas do ensaio de consistência das misturas.

Traço	Média Diâmetro 1 (mm)	Média Diâmetro 2 (mm)	Média Diâmetro 3 (mm)	Média dos diâmetros de abertura	D.P	Percentual de água incorporado às misturas
SCAA1/8-0,80%(PL)	242	254	249	248,33	4,22	25,45%
SCAA1/12-1,20%(PL)	262	253	244	253,00	6,00	30,69%

Tabela 18 - Avaliação qualitativa quanto à consistência das misturas.

Traço	Homogeneidade	Estabilidade	Exsudação	Mobilidade
SCAA1/8-0,80%(PL)	Homogênea	Estável	Sem Exsudação	Com mobilidade
SCAA1/12-1,20%(PL)	Homogênea	Estável	Sem Exsudação	Com mobilidade

As misturas selecionadas tiveram comportamento semelhante ao demonstrado no estudo de traço, as figuras 54 e 55 retratam a constatação visual do ensaio qualitativo.

Figura 54 - Visão superior do ensaio de "flow table"

Figura 55 - Visão lateral do ensaio de "flow table"

Outro fator a ser observado é o tempo de manutenção da consistência adquirida pelas misturas. A figura 56 traz os valores para os diâmetros de abertura com relação ao tempo de transcorrido a partir do seu preparo.

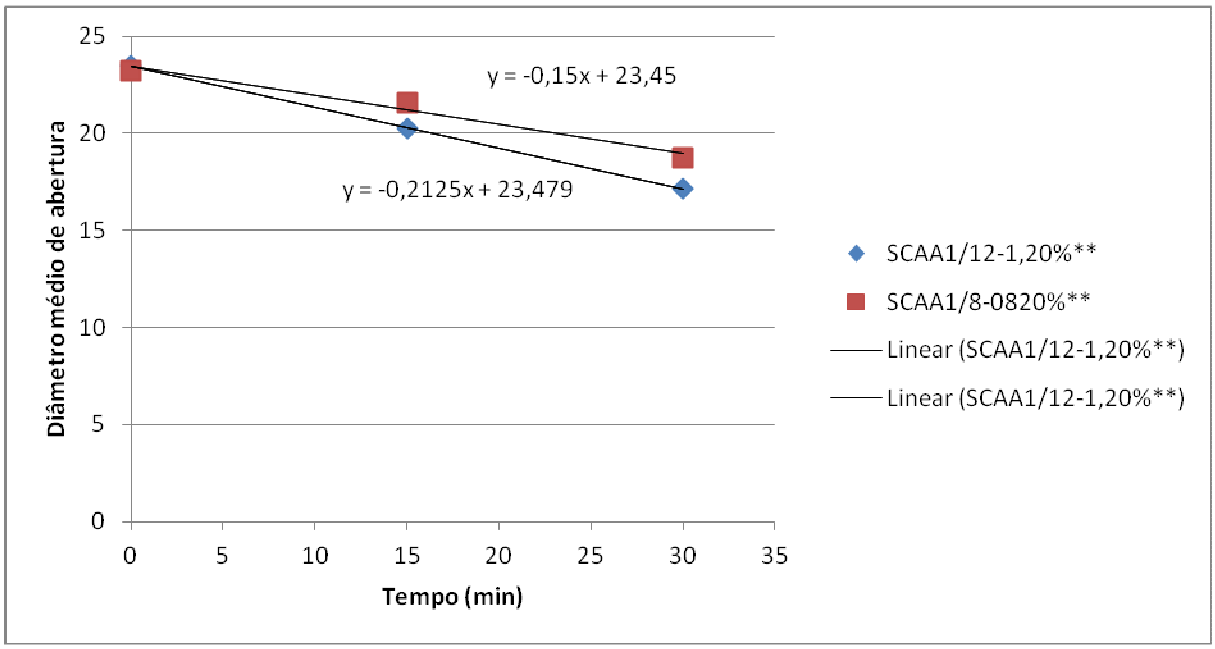


Figura 56 – Evolução da manutenção dos abatimentos pelo uso dos aditivos ao longo do tempo

O traço SCAA1/12-1,20%(PL) apresenta uma tendência de perder a fluidez mais rapidamente que o traço SCAA1/8-0,80%(PL). As figuras 57-a e 57-b apresentam visualmente esse comportamentos.

(a) (b)

Figura 57 – Diferença de aberturas constatadas no ensaio de manutenção de abatimento

A tabela 19 mostra a relação dos componentes, solo, cimento, aditivo e água dentro das misturas.

Tabela 19 - Relações entre os componentes das misturas

Traço	Fator água/cimento	Fator água/solo	Fator aditivo/cimento	Fator aditivo/solo
SCAA1/8-0,80%(PL)	2,12	0,33	0,86	0,32
SCAA1/12-1,20%(PL)	3,52	0,35	1,28	0,30

5.6.2 Retrações livres, comprimidas e por secagem

As retrações no estado fresco foram medidas a partir da moldagem dos CP's até a idade de 3 dias. Neste período, verificou-se que as misturas apresentaram as maiores variações dimensionais nas primeiras 48h. (figura 58)

Com relação à intensidade das retrações livres, estas foram menores que as retrações comprimidas, tal fato já era esperado, pois a carga constante que foi aplicada às misturas em suas idades iniciais contribuiu para a aproximação das partículas sólidas que nos primeiro dias não possuía resistência mecânica, acelerando assim as retrações.

Comparando-se o comportamento do SCAA1/8-0,80%(PL) com o traço SCAA1/12-1,20%(PL), o primeiro apresenta menores valores para as retrações livre e comprimidas, isso se deve ao fato de que este apresentava menores índices de água incorporada na mistura.

No ensaio de retração proposto pela CEPED (1984) o limite máximo para a utilização de um determinado solo com relação ao surgimento de retração, seria que este ao ser ensaiado em uma forma retangular com medidas 60x8,50x3,50 cm, apresentasse 2 cm de fissura, isso representa 653,60 mm/m/m². No solo-cimento autoadensável os maiores valores verificados para as retrações foram aproximadamente 3 vezes menor que este limite.

Bahar et al (2004), trabalhando com um solo com 62,0% de silte+argila, 30,3% de graus com dimensão 0,074 – 4,75 e 7,7 com maiores que 4,75mm avaliou a intensidade e a velocidade das retrações com diferentes dosagens para o solo-cimento, conforme a figura 58. O autor observa que a velocidade das retrações são maiores nos primeiros 4 dias, a adição de maiores percentuais de cimento, assim como a utilização de traços com a adição de percentuais de areia (variando-se entre 5 a 15%) diminuiriam os efeitos finais das retrações.

Tal situação é verificada para as misturas de solo-cimento avaliadas nesta pesquisa, sendo que a velocidade e as de retração são mais intensas, verificando-se para o SCAA que as fissuras atingem os seus maiores índices nas primeiras 48h.

Uma hipótese levantada para a explicação da velocidade das retrações serem praticamente o dobro em comparação com os estudos de Bahar et al (2004) seria a quantidade de água incorporada no SCAA, pois, para o alcance da consistência adequada, trabalha-se com teores de umidade por volta de 25 a 30%. O autor que estava verificando o comportamento de solo-cimento compactado utilizava a umidade por volta de 10 a 15%, sendo as retrações do SCAA fortemente relacionadas à perda de água por evaporação.

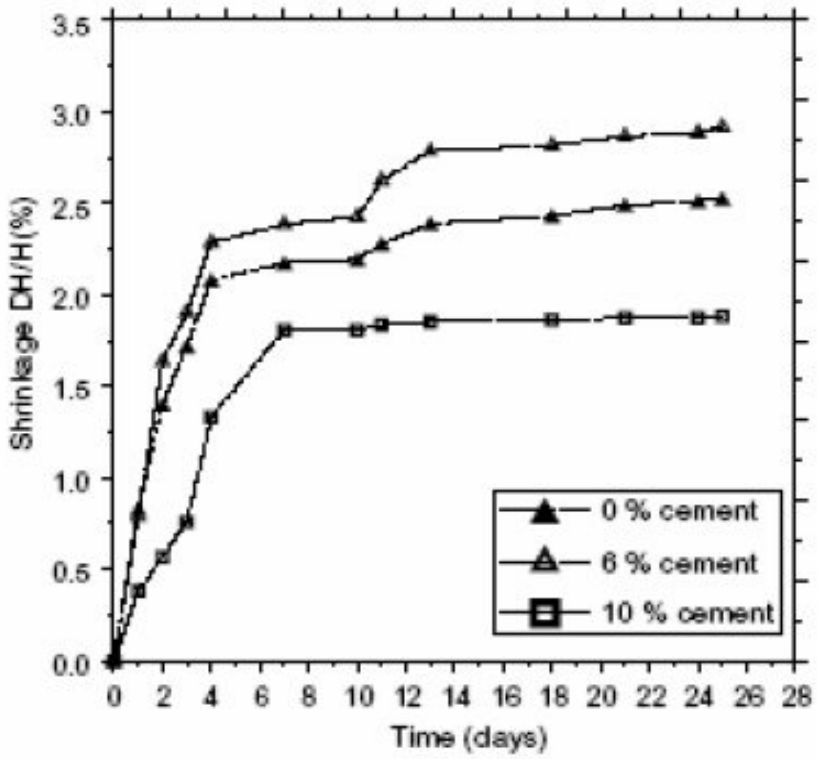


Figura 58 - Efeito dos percentuais de cimento na velocidade das retrações

Ao se analisar o formato das curvas verifica-se a semelhança do comportamento das mesmas, sendo que ainda os valores finais encontrados para as retrações máximas e mínimas por Bahar et al (2004) (0,74 à 1,74 mm) para as diferentes dosagens são da mesma ordem de grandeza do estudo de retrações para o SCAA (1,05 à 1,55 mm).

As figuras 59 e 60 apresentam respectivamente, os valores encontrados para as retrações totais e as retrações relacionadas às dimensões do corpo de prova ao longo do tempo.

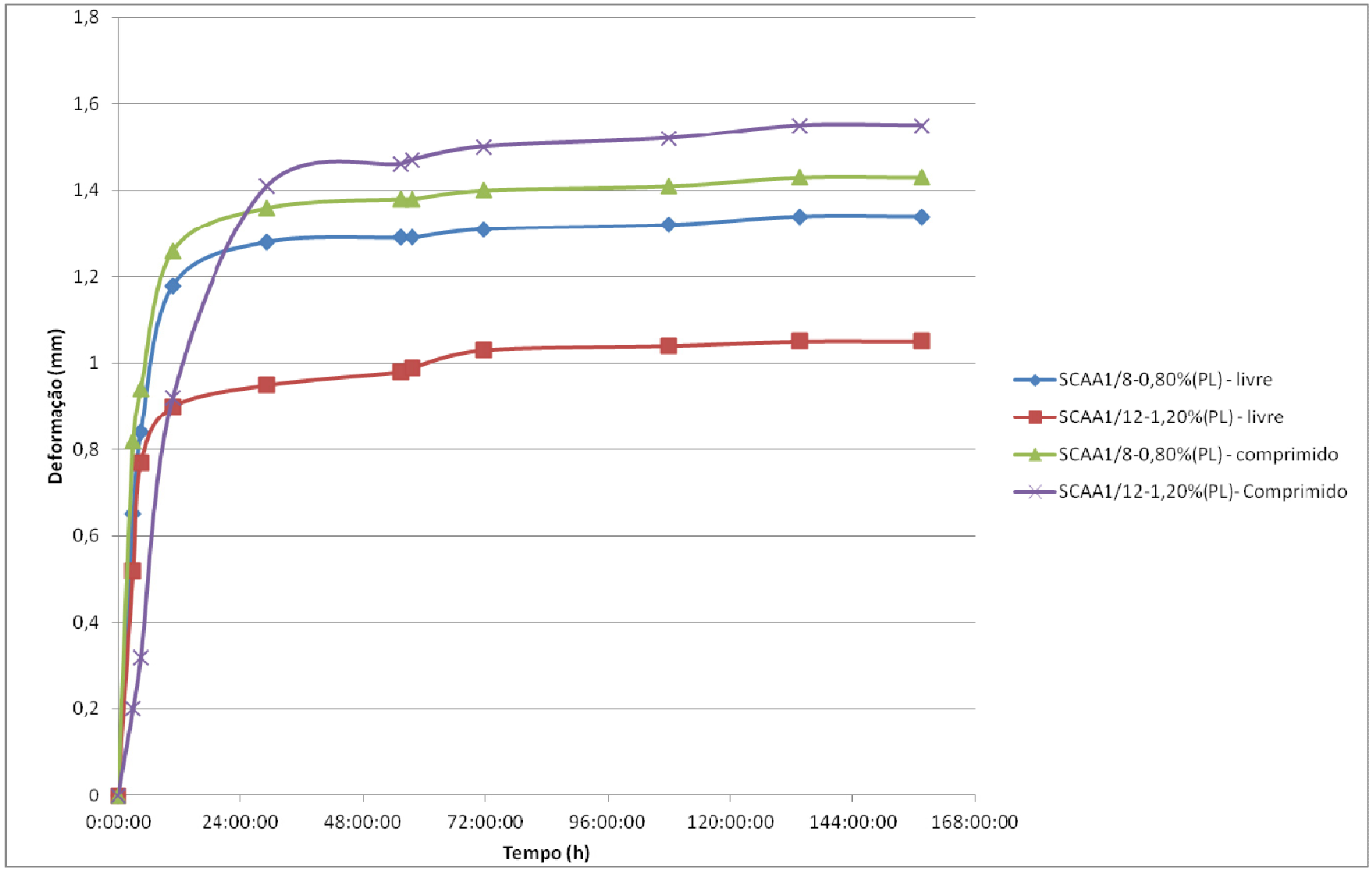


Figura 59 - Evolução das retrações ao longo do tempo (mm)

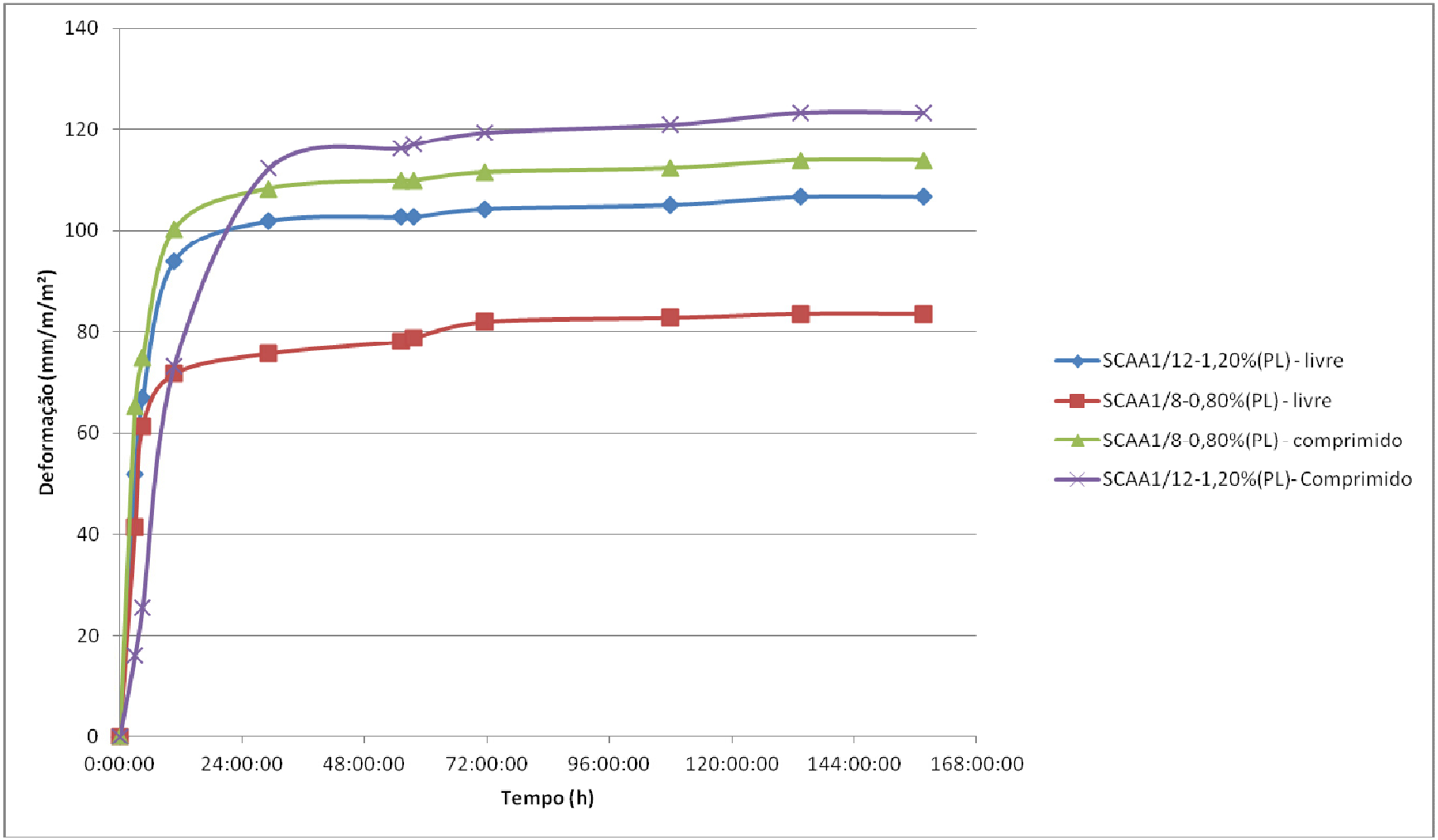


Figura 60 - Evolução das retrações ao longo do tempo (mm/m/m²)

5.6.3 Ensaio de compressão axial e diametral

Os ensaios de resistências à compressão axial e diametral se deram nas idades de 3, 7, 14 e 28 dias. As tabelas 20 e 21 trazem os valores obtidos para estes ensaios.

Tabela 20 - Ensaio à compressão axial de corpos-de-prova de solo cimento plástico

TRAÇOS	TENSÃO MÉDIA (MPa) 3 dias	D.P.	CV (%)	TENSÃO MÉDIA (MPa) 7 dias	D.P.	CV (%)	TENSÃO MÉDIA (MPa) 14 dias	D.P.	CV (%)	TENSÃO MÉDIA (MPa) 28 dias	D.P.	CV (%)
SCAA1/8-0,80%(PL)	0,76 e	0,01	1,44	1,31 c	0	0,26	1,52 b	0,06	3,88	1,72 a	0,04	2,12
SCAA1/12-1,20%(PL)	0,63 f	0,01	1,23	1,14 d	0,07	6,17	1,38 c	0,04	2,97	1,60 b	0,05	3,35

Tabela 21- Ensaio à compressão diametral de corpos-de-prova de solo cimento plástico

TRAÇOS	TENSÃO MÉDIA (MPa) 3 dias	D.P.	CV (%)	TENSÃO MÉDIA (MPa) 7 dias	D.P.	CV (%)	TENSÃO MÉDIA (MPa)14 dias	D.P.	CV (%)	TENSÃO MÉDIA (MPa) 28 dias	D.P.	CV (%)
SCAA1/8-0,80%(PL)	0,18 cd	0,02	12,54	0,33 ab	0,01	1,59	0,39 a	0,01	3,88	0,43 a	0,03	7,57
SCAA1/12-1,20%(PL)	0,14 d	0,01	4,47	0,26 BC	0,01	3,82	0,35 ab	0,05	14,66	0,40 a	0,09	21,74

Verifica-se que o traço SCAA1/8-0,80%(PL) teve valores médios superiores ao segundo traço analisado. Tal comportamento já era esperado, pois o primeiro traço possui menor relação água/cimento e água/solo. A figura 61 demonstra a comparação dos ganhos de resistências para cada traço.

Estatisticamente a resistência média adquirida pelo traço SCAA1/8-0,80%(PL) aos 14 dias é equivalente a resistência média alcançada pelo traço SCAA1/12-1,20%(PL) aos 28 dias. Aos 7 dias ambos os traços superaram o limite mínimo para as resistências de paredes monolíticas de solo-cimento estabelecido pela NBR 13553 (1996).

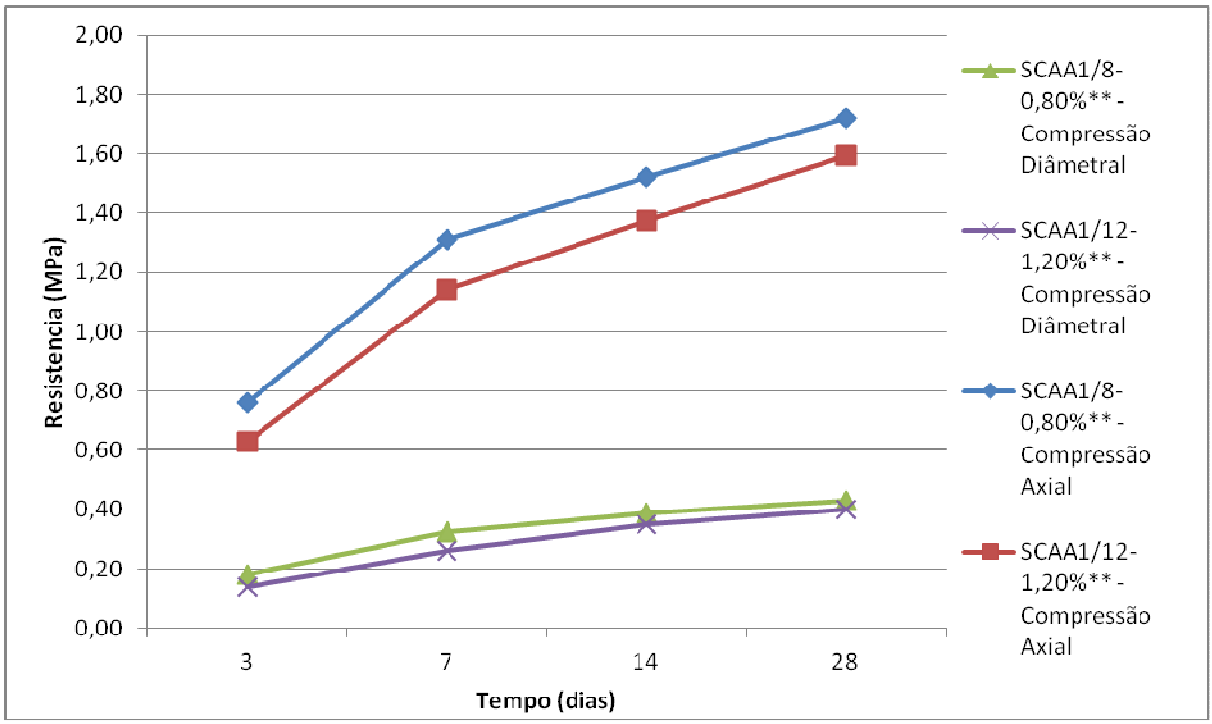


Figura 61 - Evolução das resistências à compressão diametral e axial

5.6.4 Ensaio de índice de vazios, absorção de água por imersão e por capilaridade.

Os ensaios de absorção de água aplicados aos corpos-de-prova cilíndricos de misturas de solo-cimento foram realizados nas idades de 7, 14 e 28 dias após a moldagem. A finalidade deste procedimento foi avaliar a relação entre o ganho de resistência mecânica e a diminuição dos índices de absorção, verificando-se o atendimento dos valores de absorção quanto aos limites especificados pela norma NBR 13553 (1986) para utilização de solo-cimento como elemento construtivo.

O ensaio de índice de vazios busca traduzir como está configurada a estrutura interna dos CP's, porém não é capaz de mensurar os vazios internos que não possuem ligação com o meio externo. A tabela 22 monstra os valores encontrados.

O ensaio de absorção de água por capilaridade se foi realizado com a finalidade de se caracterizar o solo-cimento autoadensável quanto a esta propriedade. Sendo calculada a absorção por capilaridade e o coeficiente de capilaridade, conforme a tabela 23.

Tabela 22 - Absorção de água por imersão.

Traço	Absorção média aos 7 dias (%)	D.P.	CV (%)	Absorção média aos 14 dias (%)	D.P.	CV (%)	Absorção média aos 28 dias (%)	D.P.	CV (%)
SCAA1/8-0,80%(PL)	25,45 a	0,96	3,77	23,31 a	0,66	2,83	18,84 b	0,42	2,23
SCAA1/12-1,20%(PL)	26,10 a	1,11	4,26	24,75 a	1,23	4,97	19,76 b	1,34	6,78

Tabela 23 - Ensaio de índice de vazios

Traço	Índice de vazios aos 7 dias (%)	D.P.	CV (%)	Índice de vazios aos 14 dias (%)	D.P.	CV (%)	Índice de vazios aos 28 dias (%)	D.P.	CV (%).
SCAA1/8-0,80%(PL)	20,28 a	0,30	1,48	18,90 a	0,30	1,59	15,85 b	0,30	1,89
SCAA1/12-1,20%(PL)	20,69 a	0,94	3,38	19,84 a	0,94	4,74	16,49 b	0,94	5,70

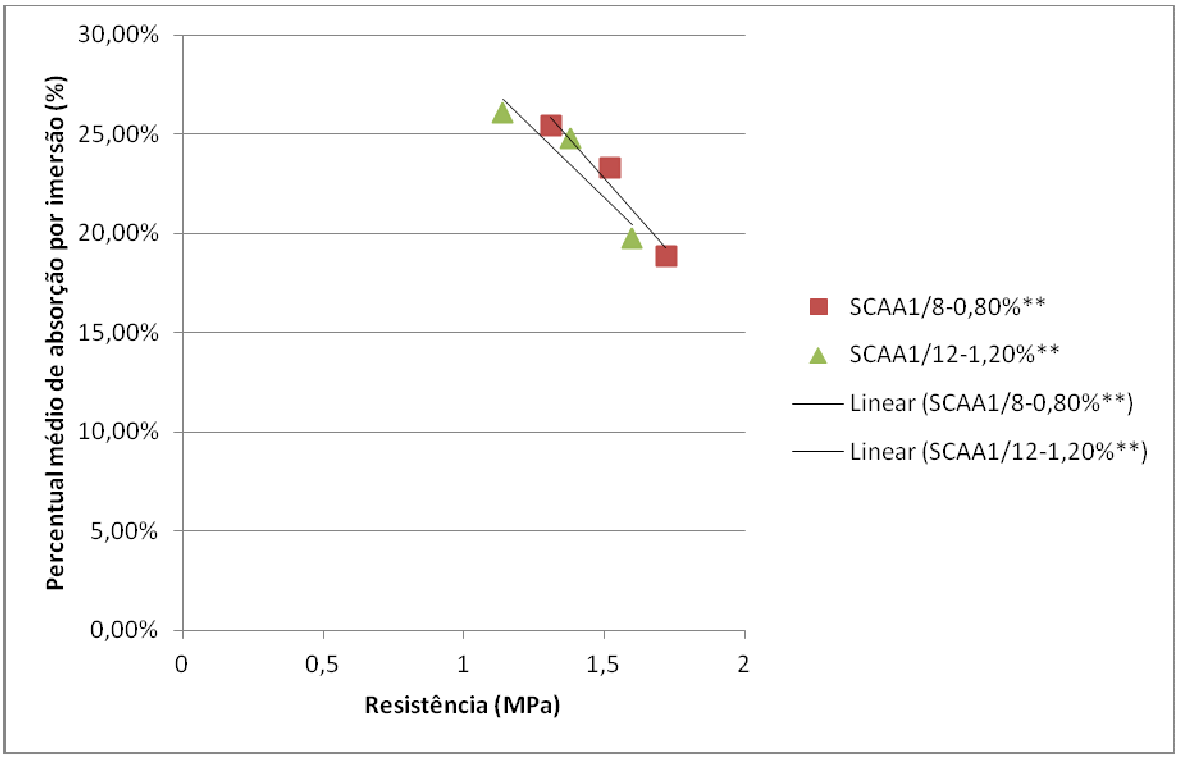


Figura 62 - Relação entre a absorção por imersão e resistências mecânicas

A avaliação estatística da absorção de água por imersão mostrou que nas idades iniciais a dosagem não sofre influência direta neste fator, porém nas idades de 14 e 28 dias os valores encontrados diferem entre si. Avaliando-se as variações de absorção durante a cura do material, verifica-se que para o traço SCAA1/8-0,80%(PL) houve diferenças significativas da amostra entre 7 e 14 dias, porém para o traço SCAA1/12-1,20%(PL) não houveram variações significativas.

Os resultados demonstram que as resistências estão ligadas proporcionalmente ao teor de umidade das misturas. Os índices de vazios encontrados para os traços seguiram a mesma tendência que a capacidade de absorção de água por imersão, onde com o passar do tempo houve o decréscimo dos valores.

A NBR 13553 (1996) estabelece como critério de aceitabilidade, que os componentes de solo-cimento devem obter 20,0% como valor máximo para a absorção de água. Ambas as dosagens obtiveram valores abaixo do limite.

Berté (2012) encontrou resultados para a absorção de água por imersão, na mesma ordem de grandeza dos resultados encontrados para os traços analisados nesta pesquisa. Fazendo-se uma extrapolação da curva encontrada para os valores presentes na pesquisa da autora, e inserindo os dados encontrados nesta pesquisa, verifica-se a linearidade da dispersão. Para a capilaridade, aferida aos 28 dias, os valores são apresentados na tabela 24.

Tabela 24 - Ensaios de Capilaridade

Traço	**Absorção por capilaridade (g/cm²) – NBR 9779 (1995)**	**Coeficiente de capilaridade "C" (g/dm².min1/2) - NBR 15.259 (2005)**
SCAA1/8-0,80%(PL)	1,42	0,30
SCAA1/12-1,20%(PL)	1,46	0,94

5.6.5 Avaliação de fissurações e perda de massa

Para a avaliação de fissurações e perda de massa, empregou-se um procedimento direcionado às argamassas de cimento, adaptadas para o solo-cimento autoadensável. Sendo aferidas as velocidades de aparecimento de fissuras bem como a sua área, estando estes valores relacionados à perda de massa.

Figura 63 - Ensaio de fissuração - amostras expostas ao calor

Tabela 25 - Amostras exposta ao calor no ensaio de fissuração

Tempo	SCAA1/12-1,20%(PL)				SCAA1/8-0,80%(PL)			
	Peso da mistura (g)	Perda de massa	Área das fissuras (mm²)	Perda de massa relativa (g/m²h)	Peso da mistura (g)	Perda de massa	Área das fissuras (mm²)	Perda de massa relativa (g/m²h)
0:00:00	4170	0,00%	0	0	4307	0,00%	0	0
3:00:00	3989,25	4,33%	73,97	1.448	4247	1,39%	75,30	480
4:00:00	3931,25	5,73%	265,20	1.392	4229	1,81%	272,57	432
5:00:00	3872,25	7,14%	505,83	1.416	4207	2,32%	570,83	528
8:40:00	3626,25	13,04%	734,50	1.601	4129	4,13%	740,10	510
11:50:00	3451,25	17,24%	768,41	1.326	4071	5,48%	778,35	439
16:00:00	3192,25	23,45%	858,23	1.491	3984	7,50%	1014,08	501
20:30:00	2917,25	30,04%	859,22	1.466	3886	9,77%	1023,90	522
24:00:00	2724	34,68%	859,48	1.323	3856	10,47%	1028,48	205

Tabela 26 - Amostras não expostas ao calor no ensaio de fissuração

Tempo	SCAA1/12-1,20%(PL)				SCAA1/8-0,80%(PL)			
	Peso da mistura (g)	Perda de massa	Área das fissuras	Perda de massa relativa (g/m²h)	Peso da mistura (g)	Perda de massa	Área das fissuras	Perda de massa relativa (g/m²h)
0:00:00	4202	0,00%	0	0	4264	0,00%	0	0
3:00:00	4083	2,09%	41,61	952	4234	1,69%	46,42	240
4:00:00	4043	3,05%	124,82	960	4225	1,90%	134,62	216
5:00:00	4001	4,05%	234,66	1.008	4211	2,23%	289,43	336
8:40:00	3836	8,01%	269,86	1.080	4177	3,02%	363,53	222
11:50:00	3714	10,94%	283,35	924	4140	3,88%	392,61	280
16:00:00	3556	14,72%	289,02	910	4100	4,81%	419,23	230
20:30:00	3359	19,45%	291,91	1.050	4062	5,69%	436,83	202
24:00:00	3252	22,01%	293,95	733	4004	7,04%	443,65	397

A partir da análise da figura 63 aonde se pode ver os traços sendo ensaiados. Quanto ao aparecimento de fissuras, verificou-se que a forma proposta nesta pesquisa para a produção de calor foi inadequada. As lâmpadas incandescentes produziam calor de maneira concentrada, com isso houve o surgimento heterogeneidade na evaporação da água incorporada aos traços, promovendo assim o surgimento de fissuras ortogonais às restrições que serviam para a indução de fissuras a serem avaliadas. Porém não se verificou prejuízos às análises de fissuração proposta, sendo os resultados expostos nas tabelas 25 e 26. Para as amostras ensaiadas sem o efeito da incidência de calor as fissuras ocorreram somente nas direções das restrições.

A primeira fissura foi registrada após 3h do inicio do ensaio, sendo que o pico de velocidade de expansão se deu entre a 4h e 5h de ensaio, tanto para as misturas que estavam expostas ao calor, como para as que estavam à sombra.

Ambas as amostras foram submetidas à exposição ao vento com velocidade constante de 2,50m/s para acelerar o processo de fissuração, porém observa-se de acordo com as figuras 65 e 66, o calor exerceu grande influência no surgimento de fissuras além da dosagem de teores de cimento e aditivo.

O traço SCAA1/8-0,80%(PL) apresentou, de acordo com as figuras 65 e 66, maior tendência ao aparecimento de fissuras, sendo observada ainda uma menor perda de massa ao

longo do ensaio comparando-se com o outro traço. Isso se deve ao fato de que este possui uma menor quantidade de água à mistura e ainda obtém maiores valores de ligante.

Silva (2011) avaliou o processo de retração e fissuração em argamassas na fase plástica, trabalhando com diversas dosagens foi estudado dentre outros fatores a influência de aditivos incorporadores de ar e a inserção de fibras de polipropileno nas mesmas. Os valores encontrados para a perda de massa e as áreas médias de fissuração pelo autor, de acordo com a figura 64, são da mesma ordem de grandeza dos valores encontrados para o SCAA, conforme as tabelas 25 e 26.

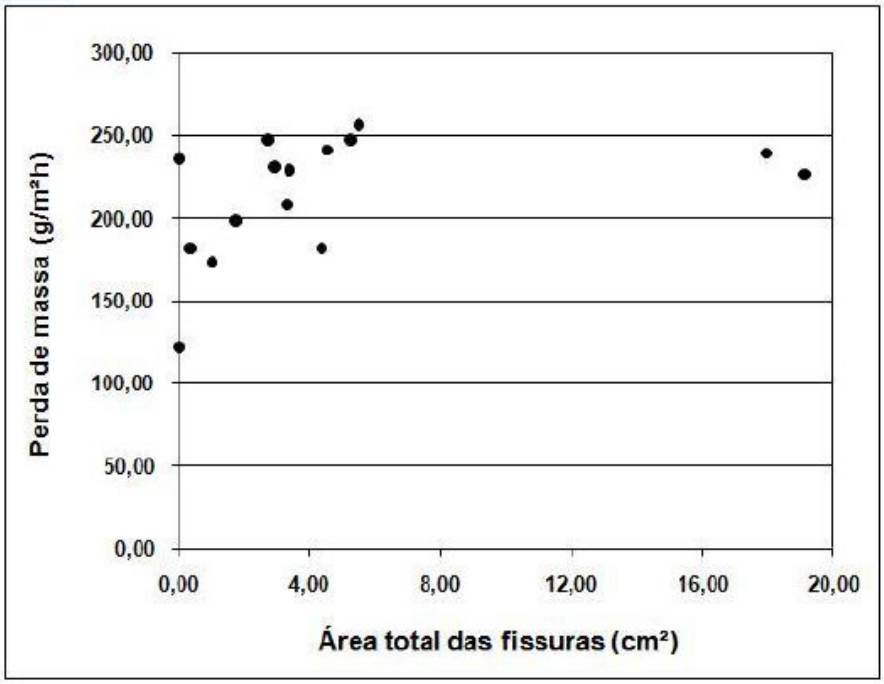


Figura 64 – Relação entre a perda de massa e área total de fissuras

Fonte: Silva (2011)

O autor conclui que a perda de massa por evaporação da água não influenciou a fissuração das argamassas com fibras de polipropileno, porém a quantidade de água evaporada influenciou na fissuração das argamassas com aditivo incorporador de ar.

No entanto, todas as argamassas, segundo o autor, que tiveram percentuais de fibras ou de aditivo incorporadores de ar em seus traços reduziram os percentuais de fissuração e retração linear livre.

O Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (1982), citado por Silva (2011), propõe vários métodos de classificação das argamassas à fissuração, destacando-se para o

caso do SCAA o método que relaciona os valores encontrados para as retrações lineares livres e a suscetibilidade de fissurações (figura 27). Sob este aspecto, faz-se uma relação para a verificação e classificação das misturas estudadas.

Tabela 27 - Amostras não expostas ao calor no ensaio de fissuração

Critério de classificação	Classificação quanto à fissuração
Retração (mm/m) ≤ 0,70	Baixa suscetibilidade
0,70 < Retração (mm/m) < 1,20	Média suscetibilidade
Retração (mm/m) ≥ 1,20	Alta suscetibilidade

Fonte: CSTB (1982)

Tabela 28 - Amostras não expostas ao calor no ensaio de fissuração

Traços	Condição de retração	Máxima retração livre (mm/m)	Área total das fissuras (mm²)	Critério de classificação	Classificação quanto à fissuração
SCAA1/8-0,80%(PL)	Livre	5,25	1028,48	Retração (mm/m) ≥ 1,20	Alta suscetibilidade
			443,65		
SCAA1/8-0,80%(PL)	Comprimida	7,15	859,48	Retração (mm/m) ≥ 1,20	Alta suscetibilidade
			293,95		
SCAA1/12-1,20%(PL)	Livre	6,70	1028,48	Retração (mm/m) ≥ 1,20	Alta suscetibilidade
			443,65		
SCAA1/12-1,20%(PL)	Comprimida	7,75	859,48	Retração (mm/m) ≥ 1,20	Alta suscetibilidade
			293,95		

Faz-se uma observação, ao se analisar a classificação das misturas de SCAA por meio deste método. Tal sistemática é aplicada às argamassas, que de maneira geral possuem pequenas espessuras e grandes áreas expostas à evaporação, sendo assim, exigido deste material valores quanto a fissuração e retração próximas a zero, as misturas de SCAA serão aplicadas com espessuras maiores e portanto, estarão menos suscetíveis essas patologias.

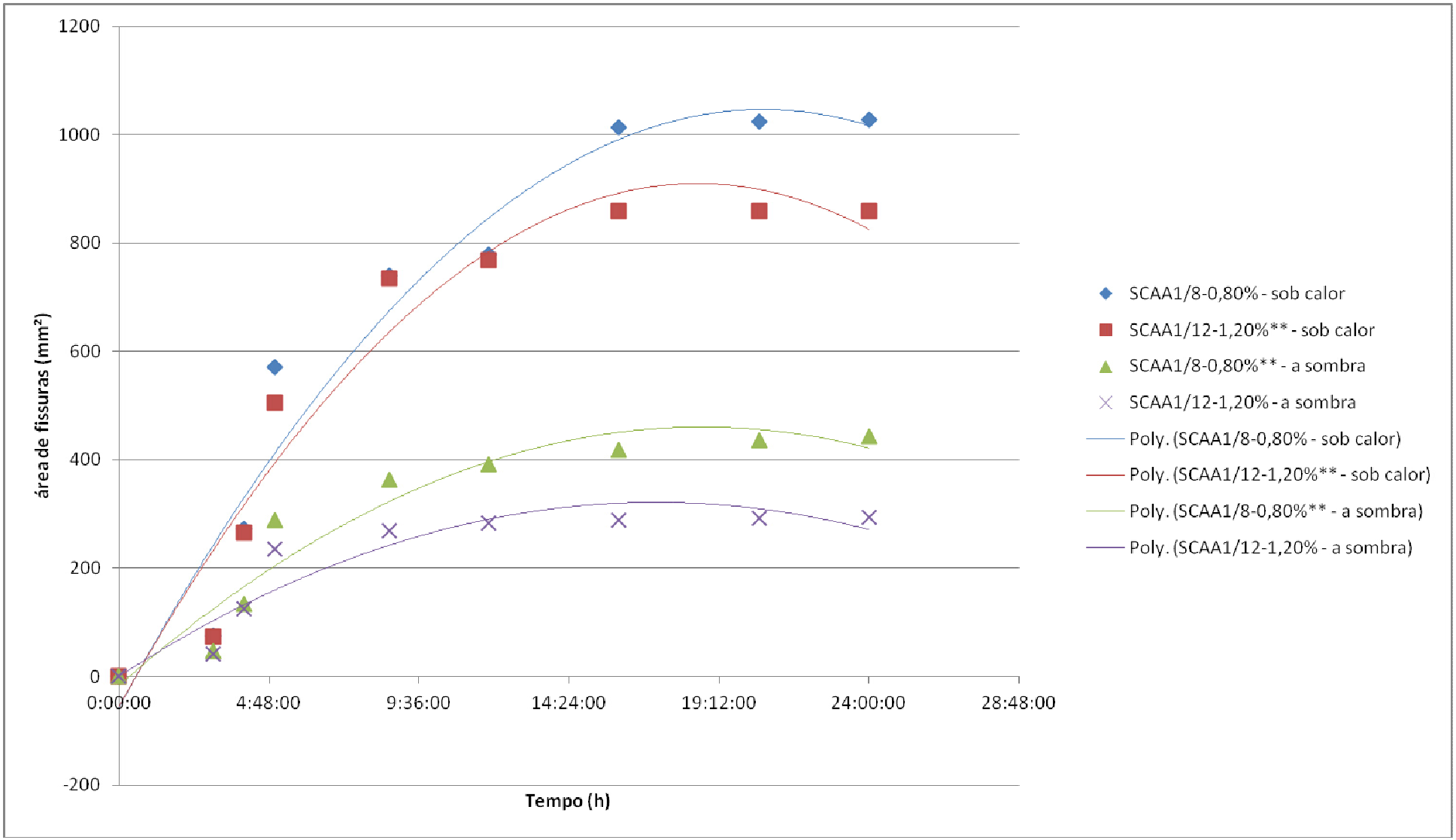


Figura 65 - Evolução das áreas das fissuras em diferentes condições

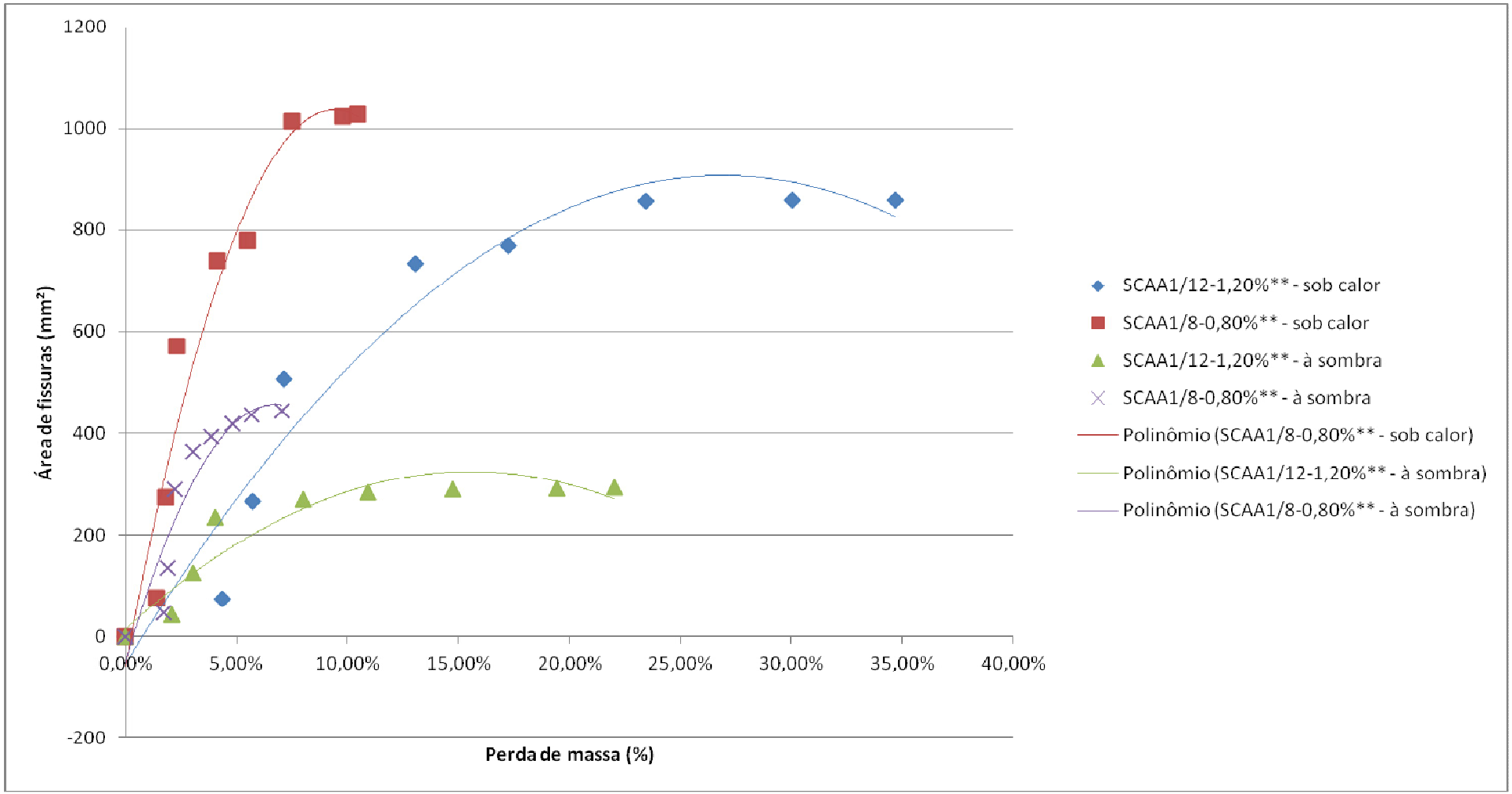


Figura 66 - Relação entre as áreas de fissuras e a perda de massa

5.6.6 Densidade de massa e teor de ar incorporado

Para a avaliação das densidades dos traços estudados, foram aferidas medidas da massa e volume dos CP's no estado fresco (logo após o adensamento da mistura) e no estado endurecido (aos 28 dias). O teor de ar incorporado foi aferido fazendo-se uma relação com as massas e volumes dos materiais, antes e depois de sua homogeneização, conforme normatização especifica para o ensaio.

Os valores encontrados são expostos na tabela 29, onde se verifica que a densidade de massa no estado fresco e endurecido está diretamente ligada à incorporação de ar, bem como às dosagens dos traços. O traço SCAA1/8-0,80%(PL) apresentou os menos índices de vazios e as maiores densidades. Tal fato se deve à menor quantidade de água incorporada à mistura.

Tabela 29 - Densidade aparente no estado fresco e endurecido e teor de ar incorporado

Traço	**Densidade de massa no estado fresco (g/cm³)**	**Densidade de massa aparente no estado endurecido (g/cm³)**	**Teor de ar incorporado (%)**
SCAA1/8-0,80%(PL)	2,69	1,87	26,91
SCAA1/12-1,20%(PL)	2,61	1,84	30,03

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados e discussões efetuados conclui-se:

6.1 Sobre o estudo de traço:

- Os traços SCAA1/8-0,80%(PL) e SCAA1/12-1,20%(PL) apresentaram características físico-mecânicas dentro dos parâmetros de exigência da norma NBR 13553 (1996);
- Os percentuais de aditivo interferem diretamente na consistência do SCAA, sendo que o intervalo 0,80% a 1,20% apresentou o maior índice de variação com relação ao ganho de fluidez das misturas;
- O desempenho dos aditivos a base de policarboxilatos dependem da marca a ser utilizada, sendo que para os materiais em estudo o aditivo Plastol 4100 apresentou melhores resultados comparando-se com o aditivo MasterGlenium 51;

6.2 Consistência das misturas:

- Os traços estudados na segunda fase mostraram-se estáveis, sem a presença da exsudação e com mobilidade, atingindo-se os parâmetros de consistência requeridos para a autoadensabilidade;
- O tempo entre a homogeneização das misturas e a sua aplicação deve ser observado, haja vista que os traços estudados apresentaram queda no abatimento com o passar do tempo;

6.3 Retrações:

- As retrações encontradas para os traços estão em consonância com a literatura sobre o tema, sendo que o método utilizado apresentou resultados satisfatórios;
- Em comparação com o método de caixa proposto pela CEPED (1984), os resultados obtidos são aproximadamente 3 vezes menores que o limite máximo estabelecido;

6.4 Resistências mecânicas:

- A relação A/C influenciou diretamente as resistências mecânicas, aos esforços axiais, adquiridas pelos traços, sendo que o traço com o maior teor de cimento apresentou valores superiores;
- Com relação aos esforços à tração, ambos os traços apresentaram pequenas variações entre si;
- Os traços analisados atenderam os parâmetros de aceitabilidade para este item, obtendo-se resistências à compressão aos 7 dias superiores a 1,0MPa;

6.5 Índices físicos:

- Os traços apresentaram valores para absorção por imersão abaixo de 20,0%, fator máximo admitido pela NBR 13553 (1996);
- Encontrou-se uma relação linear, inversamente proporcional, entre a absorção de água e as resistências à compressão dos traços;

6.6 Fissuração:

- O método adaptado para avaliação das fissurações mostrou-se como uma ferramenta eficaz de mensuração da suscetibilidade do surgimento dessa patologia;
- O pico de velocidade do surgimento de fissuras deu-se entre 4h e 5h após o início do ensaio, sendo mais intenso nas amostras expostas ao calor;
- O traço SCAA1/12-1,20%(PL) apresentou menores áreas de fissuras, comparando-se com o outro traço ensaiado;
- Ambas as misturas foram consideradas suscetíveis ao aparecimento de fissuras;
- O solo-cimento autoadensável possui grande parcela de finos, o que favorece o surgimento de fissuras;

6.7 Densidade aparente e teor de ar incorporado:

- Verificou-se que a densidade das misturas nos estado fresco e endurecido está diretamente relacionada ao teor de ar incorporado;
- O traço que continha o maior teor de cimento obteve as maiores densidades e o menor teor de ar incorporado;

7 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar o comportamento do material estudado em maiores idades, avaliando-se o seu comportamento quanto a durabilidade;
- Realizar ensaios de propagação de ondas ultra-sônicas para que seja avaliado o módulo de elasticidade do material;
- Realizar o ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura, com o objetivo de se avaliar a estrutura interna do material;
- Estudo da incorporação de fibras e aditivo incorporador de ar para a avaliação da suscetibilidade do surgimento de fissuras.
- Estudar dosagens com maior teor de cimento.
- Para regiões com o clima quente e seco, como é caso da região Centro-Oeste, onde foram realizados os testes, a mistura deverá ser exposta o mínimo possível, tanto em seu processo de fabricação, como no processo de cura, pois a perda de água por evaporação é intensa;
- Para a fabricação deste material, é indispensável a caracterização dos materiais envolvidos, principalmente o solo. Para a fabricação em larga escala, recomenda-se que se faça uma estimativa do potencial de fornecimento da jazida de solo, para que não haja a mistura de solo de jazidas diferentes.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aio, D. A; Silva, J. P N; Machado, A. F.; Segantini, A. A. S. **Estudo da influência do uso do cimento ARI nas propriedades do solo-cimento auto-adensável.** In: WORKSHOP CONCRETO: DURABILIDADE, QUALIDADE E NOVAS TECNOLOGIAS, 2, 2011, Ilha Solteira. Anais... UNESP, 2011. Disponível em: http://www.ppgec.feis.unesp.br/producao2004/Estudo%20da%20influ%EAncia%20do%20uso%20do%20cimento%20ARI%20nas%20propriedades%20do%20solocimento%20pl%E1stico.pdf> Acesso em: 20 maio 2014.

AITCIN. P. C. **Concreto de alto desempenho**. São Paulo: Pini, 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM C 125; **Standard test method for preconstruction and construction evaluation of mortars for plain and reinforced unit masonry**. In: Philadelphia, 1991.

_____, ASTM C1579: **Standard test method for evaluating plastic shrinkage cracking of restrained fiber reinforced concrete (using a steel form insert)**. Philadelphia, USA, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Solo-cimento na habitação popular**. São Paulo: ABCP, 1985.

_____. **ET-35: Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio.** São Paulo, 1986, 51p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 12024: **Solo-cimento - Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

_____NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura e determinação de consistência**. Rio de Janeiro, 2005.

_____NBR 13278: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**. Rio de Janeiro, 2005.

_____NBR 13280: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido**. Rio de Janeiro, 2005.

_____NBR 13553: **Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

_____NBR 15259: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade**. Rio de Janeiro, 2005.

_____NBR 6508: **Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

_____NBR 7215: **Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão**, Rio de janeiro, 1995

_____NBR 7223: **Consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1992.

_____NBR NM 47: **Concreto - Determinação do teor de ar em concreto fresco - Método pressométrico**, Rio de janeiro, 2002

_____NBR 10834: **Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

_____NBR 12025: **Solo-cimento - Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1990.

_____NBR 5738: **Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto**. Rio de Janeiro, 1994.

_____NBR 7180: **Ensaio de Índice de Plasticidade**. Rio de Janeiro, 1984.

_____NBR 7181: **Solo - Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro, 1984.

_____NBR 7222: **Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão**. Rio de Janeiro, 1994.

_____NBR 8492: **Tijolo Maciço de solo-cimento – Deteminação da re - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1990.

_____NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2005.

_____NBR 9779: **Argamassa e concreto endurecido - Determinação da absorção da água por capilaridade - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1995.

BAHAR, R.; BENAZZOUG M.; KENAI, S. Performance of compacted cement-stabilised soil. **Cement & Concrete Composites**. n. 26, p. 811-20, 2004.

BARBOSA, N. P.; TOLÊDO FILHO, R. D. **Construção com terra crua**. In: TOLÊDO FILHO,R. D.; NASCIMENTO, J. W. B.; GHAVAMI, K. **Materiais não convencionais para construções rurais**. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. cap. 4, p.113-43.

BASF S.A –**Ficha técnica para o aditivo MasterGlenium 51**– disponível em http://www.basf-cc.com.br/PT/produtos/aditivos/MasterGlenium51/Documents/MasterGlenium%C2%AE%20%2051.pdf, aceso em 06/07/2014.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**: 5.ed. Rio de Janeiro: ABDR Afiliada, 1994. v.1

BAUER, Roberto José F., et al. **Concreto Fluido de Alto Desempenho para Aplicação em Elementos Pré-moldados**. 39º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, 1997.

Berté, Susana Dalila Dolejal. **Otimização e estudo do comportamento do solo-cimento auto-adensável /** Susana Dalila Dolejal Berté – Ilha Solteira [Sn] 2012.

CAVALCANTI, Diogo Jatobá de Holanda; **Contribuição ao Estudo de Propriedades do Concreto auto-adensável visando a sua aplicação em elementos estruturais.** – Maceió, 2006.

CEPED – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento. THABA (1984). **Manual de construção com solo-cimento**. 3 ed.atual. São Paulo: CEPED/ BNH/ URBIS/ CONDER/ PMC/OEA/ CEBRACE/ ABCP. 147 p.

COELHO, Cleiton Anderson; REPETTE, Wellington Longuini; **Desempenho comparativo de aditivos redutores de água e estabilizadores de hidratação visando a manutenção do abatimento do concreto dosado em central, considerando a evolução do calor de hidratação e a resistência à compressão;** Ibracon 2010.

CORREA, A. C. A; **Eestudo do desempenho dos aditivos plastificantes e polifuncionais em concretos de cimento Portland tipo CPIII-40**. Niteroi, 2010. 142p, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niteroi.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM - DNER-ME 052. Solos e agregados miúdos – **Determinação da umidade com emprego do "Speedy"**, Rio de Janeiro - RJ: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1994, 4p

DÉTRICHÉ, C. H. **Contribution à l´étude des déformations des couches minces de mortiers de liants hydrauliques**. Toulouse, 1977, 247 p. Tese (Doutorado) – Université Paul Sebatier de Toulouse.

EDAMATSU, H.; NISHIDA, N.; OUCHI, M. (1999) **A Rational Mix-Design Method for Self-Compacting Concrete Considering Interaction Between Coarse Aggregate and Mortar Particles. In: 1st International Rilem Symposium on Self-Compacting Concrete**, p. 309-320, 1999, Stockolm, Sweden. A. Skarendahl and Ö. Petersson (editores) , E & FN Spon.

FRACALOSSI, Rômulo Augusto Rigon. **Aditivos a base de policarboxilatos: Influência nos tempos de pega e na manutenção do abatimento em pastas de cimento Portland.** 2011. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, RS.

Fundação João Pinheiro. Centro de Estatística e Informações. **Déficit habitacional municipal no Brasil 2010** / Fundação João Pinheiro. Centro de Estatística e Informações – Belo Horizonte, 2013. 78p. + CD-ROM: il. Modo de acesso:http://www.fjp.mg.gov.br 1. Habitação – Brasil. 2. Política habitacional – Brasil. 3. Política urbana – Brasil. I. Título

GAY, Matthias. **Admixture For HPC**. International Conference on Durability of HPC and Final Workshop of CONLIFE, 2004.p.53-62.

HARTMANN, C. T. **Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento Portland**. 2002. 210f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

IBGE (RJ). **Censo demográfico 2010: resultados gerais da amostra**. Rio de Janeiro, [2012].
Disponível<ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_Gerais_da_Amostra/Microdados/>. Acesso em: 30 jun, 2014.

IPEA - Instituto de pesquisa econômica aplicada. **Estimativas do déficit habitacional brasileiro(2007-2011) por municípios (2010)** / Brasília, maio 2013 – Nota técnica

ISMAIL, M. **Etude des transferts et de leurs interactions avec la cicatrisation dans les fissures pour Prolonger la duree de service dês Infrastructures (ponts, centrales nucleaires)**. Toulouse, França, 2006, 234 p. Tese (Doutorado) – Institut National des Sciences Appliquées.

LIMA, Thiago Vicente **Estudo da produção de blocos de solo-cimento com atériasprimas do núcleo urbano da Cidade de Campos dos Goytacazes–RJ** / Thiago Vicente Lima. – Campos dos Goytacazes, 2006.

MARTIN, J. F. M. **Aditivos para concreto.** In: Isaias, G. C. (Ed). Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. P. 381-397. V1.

MARTINS, A. P. S; SILVA, F. A; TOLEDO, F. R. D. **Desenvolvimento e caracterização mecânica de compósitos solo-cimento autoadensáveis;** TerraBrasil 2012.

MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: PINI, 1994.

MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. Concreto: **Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MENDONÇA, B. de Viveiros – **Estudo do Desempenho das Argamassas Hidráulicas** – Influência do Ligante. Lisboa, Instituto Superior Técnico, 2007. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

MILANI, A. P. (2008). **Avaliação física, mecânica e térmica do material solo-cimento-cinza de casa de arroz e seu desempenho como parede monolítica**. Campinas, 2008, 181p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.

MILANI, A. P. S; BARBOZA, C. S; **Uso de aditivo plastificante em solo-cimento plástico para fabricação de paredes monolíticas**. 14º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, ENTAC, 2012. Juiz de Fora – MG.

MIRANDA, L. F. R., ÂNGULO, S. C., CARELI, E.D (2009). **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986 – 2008**. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n°1, p. 57-71, jan/mar 2009.

Misurellie, Hugo e Massuda, Clovis – **Como Construir Paredes de Concreto** – Revista TÉCHNE – São Paulo: Editora PINI, nº 147, p. 74 - 80, junho, 2009.

NASCIMENTO, A. A. **Estudo de fissuras em paredes de tijolos de solo-cimento destinados a edficaçòes habitacionais**. São Paulo, 1992. 142p, Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo.

NASCIMENTO, A. A. **Estudo de fissuras em paredes de tijolos de solo-cimento destinados a edficaçòes habitacionais**. São Paulo, 1992. 142p, Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo.

PERM-MS. Programa de Estruturação Institucional para a Consolidação da Política Nacional de Recursos Hídricos – BRA / OEA / 01 / 002; **Consolidação da Etapa de Diagnóstico do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande; jun, 2008.

SAMPAIO, Elsa Araujo. **Minerologia do Solo**. Évora - Portugual: Notas de Aula, 2006.

SANTOS, P. S. (1989). **Ciência e Tecnologia de Argilas**, Volume 1, 2ª Edição, Editora Edgard Blücher Ltda. 408p.

SEGANTINI, A. A. S. **Utilização de solo-cimento plástico em estacas escavadas com trado mecânico em Ilha Solteira (SP)**. Tese de Doutorado, Unicamp, Campinas, 2000, 176 p.

SEGANTINI, A. A. S; ALCANTARA, M. A. M. **Solo-cimento e solo-cal**. In: ISAIA, G. C. (Ed) **Materiais de construção civil e princípios da ciência e engenharia de materiais.** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2007. v.2, p. 834-861.

SEGANTINI, A.A.S. **Utilização de solo-cimento em estacas apiloadas para obras de pequeno porte**. Dissertação de Mestrado, FEAGRI, UNICAMP, Campinas, SP,1994. 96p.

SILVA, F. de A. S. e. & AZEVDO, C. A. V. de. **A New Version of The Assistat-Statistical Assistance Software**. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4, Orlando-FL-USA: Anais... Orlando: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006. p.393-396.

SILVA, F. de A. S. e. & AZEVEDO, C. A. V. de. **Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance**. In:WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA, F. de A. S. e. & AZEVEDO C. A. V. de. **Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.4,n.1, p71-78,2002.

SILVA, F.de A.S.e. **The ASSISTAT Software: statistical assistance**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 6, Cancun, 1996. Anais... Cancun: American Society of Agricultural Engineers, 1996. p.294-298.

SILVA, Narciso Gonçalves da **Avaliação da retração e da fissuração em revestimento de argamassa na fase plástica** [tese] / Narciso Gonçalves da Silva ; orientador, Philippe Jean Paul Gleize. – Florianópolis, SC, 2011. 329 p.
soil. **Cement & Concrete Composites**. n. 26, p. 811-20, 2004.

SOUZA, R.; TAMAKI, M. R. **Específicação e recebimento de materiais de construção**. São Paulo: Centro de tecnologia de edificações. 2001. 101p

SPERA, S. T; REATTO, A.; CORREIA J. R; SILVA J. C. S; **Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro no Cerrado de Planaltina, DF, Submetido à ação do fogo.** Brasília. v.35 n.9, p. 1817-1824, set 2000.

TOKUDOME, Shingiro **Contribuição para o desenvolvimento do concreto auto-adensável**. / hingiro Tokudome.--Campinas, SP: [s.n.], 2006.
VIAPOL –**Ficha técnica para o aditivo Plastol 4100**– disponível em http://www.viapol.com.br/produtos_desc.php?menu=mantas&codigo_item=297, aceso em 06/07/2014.

WONGTANAKITCHAROEN, T.; NAAMAN, A. F. **Unrestrained early age shrinkage of concrete with polypropylene, PVA, and carbon fibers**. Materials and Structures, v. 40, n. 3, p. 289-300, 2007.

9 ANEXOS

9.1 Resultados da ANOVA e teste de Tukey para o estudo de traço – Resistências à compressão axial aos 3 dias

==========

ASSISTAT Versão 7.7 beta (2014) - Homepage http://www.assistat.com

Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG - Atualiz.01/06/2014

==========

Arquivo análise_3dias_saida.txt Data 02/07/2014 Hora 10:50:36

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	7	2.37480	0.33926	226.1714 **
Resíduo	16	0.02400	0.00150	
Total	23	2.39880		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)

ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
7	16	4.0259	226.1714	<0.001

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	0.09000	g
2	0.18667	f
3	0.22333	ef
4	0.28667	e
5	0.53667	d
6	0.62000	c
7	0.73333	b
8	1.08333	a

DMS = 0.06704

MG = 0.47000 CV% = 8.24

Ponto médio = 0.59500

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste t ao nível de 5% de probabilidade

Normalidade dos dados (alfa = 5%)

Teste (Estatística)	Valor	p-valor	Normal
Shapiro-Wilk (W)	0.90239	0.02420	Não

DADOS

.10 .08 .09

.19 .16 .21

.19 .26 .22

.25 .28 .33

.53 .48 .60

.63 .62 .61

.68 .74 .78

1.03 1.11 1.11

OBSERVAÇÃO

O Assistat não é responsável por resultados inconsistentes
de análise de dados que não atendem às exigências da ANOVA
Antes da análise o usuário deve verificar se ela se aplica

SIGLAS E ABREVIAÇÕES

UFCG = Universidade Federal de Campina Grande
CTRN = Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
DEAG = Departamento de Engenharia Agrícola
FV = Fonte de variação GL = Graus de liberdade
SQ = Soma de quadrado QM = Quadrado médio
F = Estatística do teste F MG = Média geral
CV% = Coeficiente de variação em %
dms = Diferença mínima significativa

9.2 Resultados da ANOVA e teste de Tukey para o estudo de traço – Resistências à compressão axial aos 7 dias

==========

ASSISTAT Versão 7.7 beta (2014) - Homepage http://www.assistat.com
Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG - Atualiz.06/01/2014

==========

Arquivo Análise_7dias_saida.txt Data 02/07/2014 Hora 11:40:58

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	7	3.18873	0.45553	55.9509 **
Resíduo	16	0.13027	0.00814	
Total	23	3.31900		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
7	16	4.0259	55.9509	<0.001

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	0.68000	e
2	0.69333	e
3	0.82000	e
4	1.21333	c
5	1.04667	d
6	1.25667	c
7	1.46000	b
8	1.79000	a

DMS = 0.15619

MG = 1.12000 CV% = 8.06

Ponto médio = 1.24000

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste t ao nível de 5% de probabilidade

Normalidade dos dados (alfa = 5%)

Teste (Estatística)	Valor	p-valor	Normal
Shapiro-Wilk (W)	0.93190	0.10752	Sim

DADOS

.72 .67 .65

.75 .62 .71

.75 .76 .95

1.22 1.22 1.20

1.03 1.15 .96

1.14 1.27 1.36

1.36 1.58 1.44

1.86 1.85 1.66

OBSERVAÇÃO

O Assistat não é responsável por resultados inconsistentes
de análise de dados que não atendem às exigências da ANOVA
Antes da análise o usuário deve verificar se ela se aplica

SIGLAS E ABREVIAÇÕES

UFCG = Universidade Federal de Campina Grande
CTRN = Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
DEAG = Departamento de Engenharia Agrícola
FV = Fonte de variação GL = Graus de liberdade
SQ = Soma de quadrado QM = Quadrado médio
F = Estatística do teste F MG = Média geral
CV% = Coeficiente de variação em %
dms = Diferença mínima significativa

9.3 Resultados da ANOVA e teste de Tukey para a segunda fase da pesquisa – Resistências à compressão diametral aos 3, 7, 14 e 28 dias.

==========

ASSISTAT Versão 7.7 beta (2014) - Homepage http://www.assistat.com
Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG - Atualiz.08/01/2014

==========

Arquivo SCAA_Tracao_saida.txt Data 05/08/2014 Hora 02:03:11

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	7	0.23312	0.03330	20.4414 **
Resíduo	16	0.02607	0.00163	
Total	23	0.25918		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
ns não significativo (p >= .05) e p = 0.0000 significa p < 0.0001

GL	GLR	F-crit	F	p
7	16	4.0259	20.4414	0.0000

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	0.18333	cd
2	0.14333	d
3	0.32667	ab
4	0.26000	bc
5	0.39000	a
6	0.35000	ab
7	0.43000	a
8	0.40333	a

dms = 0.11419

MG = 0.31083 CV% = 12.99

Ponto médio = 0.30500

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Normalidade dos dados (alfa = 5%)

Teste (Estatística)	Valor	p-valor	Normal
Shapiro-Wilk (W)	0.93660	0.13695	Sim

DADOS

.16 .18 .21

.15 .14 .14

.33 .32 .33

.27 .25 .26

.39 .38 .40

.39 .37 .29

.47 .42 .40

.45 .46 .30

OBSERVAÇÃO

Quando F se aproxima mas não atinge a significância mesmo assim o Teste de Tukey poderá encontrar diferença significativa entre a maior e a menor média e também poderá ocorrer o inverso. Esse caso é previsto na literatura e também ocorre com outros testes de comparação. Não entenda essa ocorrência como erro na análise

SIGLAS E ABREVIAÇÕES

UFCG = Universidade Federal de Campina Grande
CTRN = Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
DEAG = Departamento de Engenharia Agrícola
FV = Fonte de variação GL = Graus de liberdade
SQ = Soma de quadrado QM = Quadrado médio
F = Estatística do teste F MG = Média geral
CV% = Coeficiente de variação em %
dms = Diferença mínima significativa

9.4 Resultados da ANOVA e teste de Tukey para a segunda fase da pesquisa – Resistências à compressão axial aos 3, 7, 14 e 28 dias.

==========

ASSISTAT Versão 7.7 beta (2014) - Homepage http://www.assistat.com

Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG - Atualiz.08/01/2014

==========

Arquivo SCAA_Comp_Saida.txt Data 05/08/2014 Hora 02:00:59

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	7	3.21620	0.45946	246.6881 **
Resíduo	16	0.02980	0.00186	
Total	23	3.24600		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)

ns não significativo (p >= .05) e p = 0.0000 significa p < 0.0001

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	0.76000	e
2	0.63000	f
3	1.31333	c
4	1.14333	d
5	1.52333	b
6	1.37667	c
7	1.72333	a
8	1.59333	b

dms = 0.12209

MG = 1.25792 CV% = 3.43

Ponto médio = 1.18500

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Normalidade dos dados (alfa = 5%)

Teste (Estatística)	Valor	p-valor	Normal
Shapiro-Wilk (W)	0.89772	0.01926	Não

DADOS

.75 .77 .76

.62 .63 .64

1.31 1.32 1.31

1.08 1.13 1.22

1.59 1.48 1.50

1.41 1.33 1.39

1.75 1.68 1.74

1.62 1.53 1.63

OBSERVAÇÃO

Quando F se aproxima mas não atinge a significância mesmo assim o Teste de Tukey poderá encontrar diferença significativa entre a maior e a menor média e também poderá ocorrer o inverso. Esse caso é previsto na literatura e também ocorre com outros testes de comparação. Não entenda essa ocorrência como erro na análise

SIGLAS E ABREVIAÇÕES

UFCG = Universidade Federal de Campina Grande
CTRN = Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
DEAG = Departamento de Engenharia Agrícola
FV = Fonte de variação GL = Graus de liberdade
SQ = Soma de quadrado QM = Quadrado médio
F = Estatística do teste F MG = Média geral
CV% = Coeficiente de variação em %
dms = Diferença mínima significativa

9.5 Resultados da ANOVA e teste de Tukey para a segunda fase da pesquisa – Absorção de água por imersão aos 7, 14 e 28 dias.

==========

ASSISTAT Versão 7.7 beta (2014) - Homepage http://www.assistat.com
Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG - Atualiz.08/01/2014

==========

Arquivo SCAA_ABS_saida.txt Data 05/08/2014 Hora 02:06:13

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	0.01333	0.00267	25.2632 **
Resíduo	12	0.00127	0.00011	
Total	17	0.01460		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
ns não significativo (p >= .05) e p = 0.0000 significa p < 0.0001

GL	GLR	F-crit	F	p
5	12	5.0643	25.2632	0.0000

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	0.25333 a
2	0.23333 a
3	0.19000 b
4	0.26000 a
5	0.24667 a
6	0.19667 b

dms = 0.02818

MG = 0.23000 CV% = 4.47

Ponto médio = 0.22500

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Normalidade dos dados (alfa = 5%)

Teste (Estatística)	Valor	p-valor	Normal
Shapiro-Wilk (W)	0.89689	0.05073	Sim

DADOS

.26 .26 .24

.24 .23 .23

.19 .19 .19

.25 .27 .26

.24 .24 .26

.20 .18 .21

OBSERVAÇÃO

Quando F se aproxima mas não atinge a significância mesmo assim o Teste de Tukey poderá encontrar diferença significativa entre a maior e a menor média e também poderá ocorrer o inverso. Esse caso é previsto na literatura e também ocorre com outros testes de comparação. Não entenda essa ocorrência como erro na análise

SIGLAS E ABREVIAÇÕES

UFCG = Universidade Federal de Campina Grande
CTRN = Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
DEAG = Departamento de Engenharia Agrícola
FV = Fonte de variação GL = Graus de liberdade
SQ = Soma de quadrado QM = Quadrado médio
F = Estatística do teste F MG = Média geral
CV% = Coeficiente de variação em %
dms = Diferença mínima significativa