



UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS  
CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO À BASE DE POLÍMERO  
SUPERABSORVENTE E FIBRA CELULÓSICA COMO  
AGENTE DE CURA INTERNA EM MATRIZES DE  
CIMENTO PORTLAND**

**ANGÉLICA KOPPE**

São Leopoldo, dezembro de 2016.



ANGÉLICA KOPPE

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO À BASE DE POLÍMERO  
SUPERABSORVENTE E FIBRA CELULÓSICA COMO  
AGENTE DE CURA INTERNA EM MATRIZES DE  
CIMENTO PORTLAND**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

**Orientador:** Prof. Dr. Mauricio Mancio

**Co-Orientador:** Prof<sup>a</sup>. Dra. Tatiana L. A. C. Rocha

**Banca examinadora:** Prof<sup>a</sup>. Dra. Angela Borges Masuero - UFRGS

Prof<sup>a</sup>. Dra. Marlova Piva Kulakowski - UNISINOS

Prof<sup>a</sup>. Dra. Feliciane Andrade Brehm - UNISINOS

São Leopoldo, dezembro de 2016.

K83u

Koppe, Angélica.

Utilização de resíduo à base de polímero superabsorvente e fibra celulósica como agente de cura interna em matrizes de cimento Portland / Angélica Koppe. – 2016.

160 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2016.

"Orientador: Prof. Dr. Mauricio Mancio ; co-orientador: Prof<sup>a</sup>. Dra. Tatiana L. A. C. Rocha."

1. Cura interna. 2. Polímeros superabsorventes (PSA). 3. PSA residual. 4. Engenharia civil. 5. Cimento Portland. I. Título.

CDU 624

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Bibliotecário: Flávio Nunes – CRB 10/1298)

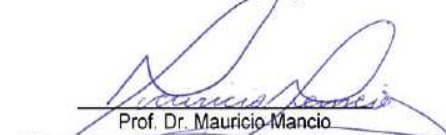
A dissertação de mestrado


**“UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO À BASE DE POLÍMERO SUPERABSORVENTE E FIBRA CELULÓSICA  
COMO AGENTE DE CURA INTERNA EM MATRIZES DE CIMENTO PORTLAND”**

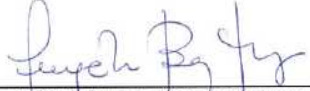
apresentada por **Angélica Koppe**

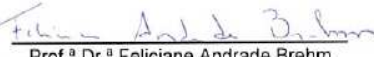
foi julgada e aprovada como atendimento parcial aos requisitos para a obtenção do grau de


**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL** pela seguinte banca examinadora:

  
Prof. Dr. **Maurício Mancio**  
Orientador e Presidente da Banca Examinadora  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

  
Prof.ª Dr.ª **Tatiana Louise Ávila de Campos Rocha**  
Coorientadora  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

  
Prof.ª Dr.ª **Angela Borges Masuero**  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

  
Prof.ª Dr.ª **Feliciane Andrade Brehm**  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

  
Prof.ª Dr.ª **Marlova Piva Kulakowski**  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

São Leopoldo, 21 de dezembro de 2016.



Dedico este trabalho às pessoas que sempre acreditaram em mim, principalmente aos meus pais, Bruno e Marlene Koppe, às minhas irmãs Beatriz e Justine e à minha sobrinha Bruna.





## **AGRADECIMENTOS**

Dedico este trabalho a todos que me acompanham no desenvolvimento do estudo.

Ao Nosso Senhor, a quem muitas vezes pedi em oração, força para seguir em frente e capacidade para vencer meus desafios.

A minha família que tanto me incentiva a dar sequência aos estudos, buscando sempre novos conhecimentos e oportunidades. Meus pais, Bruno e Marlene, que sempre procuraram entender o “não, não posso ir para casa este final de semana, preciso fazer um trabalho”. As minhas irmãs por todo o incentivo, principalmente a Tine que acompanhou de perto todas as minhas aflições e sempre soube dizer “faz, tu sabe como se faz”. A minha sobrinha que muitas vezes ouviu “Bruna, preciso me concentrar”, mas nunca me deixou sem um beijo e um abraço.

Ao meu orientador, Mauricio Mancio, a quem não tenho palavras que expressem tamanha gratidão, que em tantas vezes me acolheu em momentos de aflição e dúvida. Por ser um professor e principalmente um amigo que a vida me deu, sempre confiando no meu potencial, e me ajudando a subir os degraus do conhecimento. Obrigada pela forma sutil, com que me incentiva à pesquisa e a me mostrar que ser Engenheiro não é ser uma estrutura formada apenas por quatro paredes.

A minha co-orientadora, Tatiana Rocha, pela ajuda no desenvolvimento da pesquisa. Às oportunidades de crescimento profissional, por compartilhar conhecimentos na área da química e principalmente pelo coleguismo do desenvolvimento do estudo.

A Plásticos Brandt, representada pelo Vasco, pelo financiamento da pesquisa e por acreditar que Empresa e Universidade são parcerias que geram frutos.

A Feliciane, Marlova, Carlos Moraes e demais professores envolvidos no desenvolvimento do estudo, sempre mostrando interesse e curiosidade com os resultados alcançados.

Aos funcionários do Laboratório de Materiais (LMC) – Maurício, Ingrid, Júlio, Davi – não só pela competência, profissionalismo e apoio no desenvolvimento dos ensaios, mas também pelas risadas, pela convivência quase que diária deixando meus dias mais felizes.

Ao Rodrigo Heineck, bolsista de iniciação científica, pelo apoio na realização dos ensaios em laboratório.

A melhor turma de mestrandas – Luísa, Suelen, Fernanda, Jaqueline, Ilana, Joana, Alice e Gisele – que o PPGEC já conheceu. Meninas, o apoio de vocês foi fundamental, crescemos juntas, choramos juntas, nos tornamos mais profissionais juntas.

Aos demais amigos e colegas que em tantos momentos me apoiaram de uma forma ou de outra, em especial ao Eduardo, parceiro de pesquisas, por dividir experiência profissional e aflição no conhecimento técnico.

Deixo registrado meu agradecimento, se cheguei aqui, é por todos. Obrigada.

## **FONTES DE FINANCIAMENTO DA PESQUISA**



**Gerenciamento de Resíduos**



# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>25</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	27
1.2	OBJETIVOS .....	28
1.2.1	<i>Objetivo geral.....</i>	<i>28</i>
1.2.2	<i>Objetivos específicos .....</i>	<i>28</i>
1.3	ESTRUTURA DA PESQUISA .....	28
1.4	DELIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	29
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>31</b>
2.1	CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND.....	31
2.1.1	<i>Hidratação do Cimento Portland.....</i>	<i>32</i>
2.1.2	<i>Características desejadas de uma matriz de cimento Portland hidratada.....</i>	<i>36</i>
2.1.3	<i>Retração em matrizes de cimento Portland.....</i>	<i>38</i>
2.2	CURA DO CONCRETO .....	46
2.2.1	<i>Cura convencional e sua importância.....</i>	<i>47</i>
2.2.2	<i>Conceito de Cura Interna.....</i>	<i>49</i>
2.3	POLÍMEROS SUPERABSORVENTES (PSA).....	53
2.3.1	<i>Técnicas usuais de medição da absorção de um PSA .....</i>	<i>58</i>
2.4	OBRAS COM UTILIZAÇÃO DE CURA INTERNA .....	60
2.5	FIBRA CELULÓSICA (FC).....	62
2.5.1	<i>Fibra celulósica contendo PSA Residual.....</i>	<i>63</i>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>65</b>
3.1	MATERIAIS .....	67
3.1.1	<i>Aglomerantes.....</i>	<i>67</i>
3.1.2	<i>Agregado Miúdo.....</i>	<i>69</i>
3.1.3	<i>Fibra celulósica contendo polímero superabsorvente (FCPSA).....</i>	<i>70</i>
3.1.4	<i>Água.....</i>	<i>71</i>
3.2	MÉTODO .....	71
3.2.1	<i>Programa piloto .....</i>	<i>71</i>
3.2.2	<i>Absorção do FCPSA.....</i>	<i>76</i>
3.2.3	<i>Inchamento do FCPSA .....</i>	<i>78</i>
3.2.4	<i>Cálculo do volume de FCPSA .....</i>	<i>78</i>
3.2.5	<i>Ensaio de Consistência.....</i>	<i>79</i>
3.2.6	<i>Produção das argamassas.....</i>	<i>80</i>
3.2.7	<i>Resistência à Compressão .....</i>	<i>83</i>
3.2.8	<i>Retração .....</i>	<i>83</i>
3.2.9	<i>Retração Plástica .....</i>	<i>84</i>
3.2.10	<i>Fissuração em estado fresco.....</i>	<i>86</i>
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>89</b>
4.1	PROGRAMA PILOTO.....	89
4.2	ABSORÇÃO DO FCPSA .....	91
4.3	INCHAMENTO FCPSA .....	91
4.4	ANÁLISE DA CONSISTÊNCIA .....	93
4.5	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	96
4.5.1	<i>CP II-F 40.....</i>	<i>98</i>
4.5.2	<i>CP IV 32 .....</i>	<i>101</i>
4.5.3	<i>Síntese dos resultados de compressão .....</i>	<i>105</i>
4.6	RETRAÇÃO POR SECAGEM .....	105
4.6.1	<i>CP II-F 40.....</i>	<i>106</i>
4.6.2	<i>CP IV 32 .....</i>	<i>108</i>
4.6.3	<i>Síntese dos resultados de retração .....</i>	<i>110</i>

4.7	RETRAÇÃO PLÁSTICA .....	111
4.7.1	CP II- F 40.....	111
4.7.2	CP IV 32 .....	114
4.7.3	Síntese dos resultados de retração plástica.....	115
4.8	FISSURAÇÃO EM ESTADO FRESCO .....	116
4.8.1	CP II-F 40.....	117
4.8.2	CP IV 32 .....	119
4.8.3	Síntese dos resultados de retração plástica.....	121
4.9	SÍNTESE DOS RESULTADOS ALCANÇADOS .....	122
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>123</b>
5.1	SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS.....	124
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>127</b>
	<b>APÊNDICE .....</b>	<b>135</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fissuras de retração plástica, causas, correções e tempos de aparecimento.	43
Tabela 2 – Fissuras de retração por secagem, causas, correções e tempo de aparecimento. .....	45
Tabela 3 – Taxa de evaporação de água relacionada à probabilidade de fissuração.....	48
Tabela 4 – Caracterização química do cimento CP II-F40.....	67
Tabela 5 – Caracterização física e mecânica do cimento CP IIF-40.....	67
Tabela 6 – Caracterização química do cimento CP IV-32. ....	68
Tabela 7 – Caracterização física e mecânica do cimento CP IV-32.....	68
Tabela 8 – Análise de composição granulométrica segundo a NBR NM 248:2003. ....	69
Tabela 9 – Quantitativo de materiais por mistura.....	73
Tabela 10– Absorção de FCPSA determinado segundo a ISO 17190-6:2001.....	77
Tabela 11 – Identificação dos tipos de traços moldados .....	80
Tabela 12 – Quantitativo de material por mistura. ....	80
Tabela 13 – Dados obtidos no ensaio de Consistência segundo a NBR 7215:1997. ....	94
Tabela 14: Síntese da análise de variância (ANOVA) do efeito do uso de FCPSA na resistência à compressão obtida para o CP II-F 40 em 24h.....	96
Tabela 15 Síntese da análise de variância (ANOVA) do efeito do uso de FCPSA na resistência à compressão obtida para o CP IV 32 em 24h.....	97
Tabela 16: Síntese dos resultados médios de compressão obtidos para o CP II-F 40....	98
Tabela 17: Síntese dos resultados da análise de variância (ANOVA) do efeito do uso de FCPSA, da condição de cura e da análise entre idades na resistência à compressão para o CP II-F 40. ....	99
Tabela 18: Síntese dos resultados médios de compressão obtidos para o CP IV 32....	101
Tabela 19: Síntese da análise de variância (ANOVA) do efeito do uso de FCPSA, da condição de cura e da análise entre idades na resistência à compressão para o CP IV. ....	102
Tabela 20: Síntese da análise de variância (ANOVA) do efeito do uso de FCPSA e condição de cura na retração para o CP II-F 40. ....	106
Tabela 21: Síntese da análise de variância (ANOVA) do efeito do uso de FCPSA e condição de cura na retração para o CP IV 32. ....	109
Tabela 22: Síntese dos resultados alcançados com o estudo.....	122





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – A) Perda de água em função da umidade relativa; B) Retração em função da perda de água. ....	39
Figura 2 –Ábaco de Petrucci para a obtenção da taxa de evaporação de água.....	41
Figura 3 – Retração plástica, “pele de crocodilo”, visualizada em uma estrutura de concreto armado. ....	42
Figura 4 – Recuperação da deformação ocorrida pela retração. a) Redução de 70% da retração em função de cura a 100% de saturação. b) Redução de 30% da retração em função do ciclo de molhagem e secagem. ....	46
Figura 5- Hidratação e percentual de ganho de resistência de concretos em função da cura úmida. ....	48
Figura 6– Conceito de cura externa e interna. ....	51
Figura 7 – Ilustração comparativa entre ARC e agregado comum. A e C apresentam a capacidade de absorção e adsorção da água pelo agregado, gerando, em C, uma melhora na zona de transição. B e D representam um agregado comum, onde não há a absorção de água, enfraquecendo a zona de transição em função do acúmulo de água sobre o agregado. ....	52
Figura 8 – Base de um PSA de poliacrilato ácido. ....	54
Figura 9 – Representação esquemática de um PSA em meio a uma matriz cimentícia, em função do tempo. a) adição de PSA seco em matriz cimentícia; b) de 5 a 10 min após a inserção o PSA apresenta sua absorção total; c) Após alguns dias – com a liberação da água tem-se a formação e um poro praticamente vazio.....	58
Figura 10 – Execução de ponte com concreto contendo cura interna. ....	61
Figura 11 - Representação esquemática do programa experimental do estudo.....	66
Figura 12 – Distribuição granulométrica fracionada: 60% ANR e 40% ABR.....	70
Figura 13 – FCPSA (foto A e B em proporções diferentes, não representam a mesma quantidade). a) FCPSA seco, assemelhando-se a um algodão; b) FCPSA com água incorporada, formando um gel.....	71
Figura 14 - Representação esquemática do programa piloto.....	74
Figura 15 – A) Filtros utilizados para o ensaio de absorção do FCPSA; B) Filtros prontos para o ensaio (dois com FCPSA e dois vazios).....	76
Figura 16 - Interior do equipamento centrifugador. A – filtros amarrados com FCPSA; B – filtros vazios. ....	77
Figura 17 - Microscópio Axio Vision, modelo IMAGER M2m utilizado para o ensaio. ....	78
Figura 18 – Fluxograma das análises de resistência à compressão e retração. ....	82
Figura 19 – Compressão das argamassas. A) Leituras das alturas e diâmetros do corpo de prova; B) Fim do ensaio de resistência à compressão, com ruptura do corpo de prova. ....	83
Figura 20 - Moldagem das barras destinadas ao ensaio de retração.....	84
Figura 21 – Corpo de prova posicionado no equipamento para análise do ensaio de retração. (A- aparelho de retração; B – relógio comparador posicionado no topo do aparelho de retração) ....	84
Figura 22 – Dispositivo de análise da retração plástica. A) Fôrma retangular com perfurações na lateral; B) Par de sensores LVDT; C) Base metálica. ....	85
Figura 23 – Detalhes do dispositivo de análise da retração plástica; A) Perfuração na lateral da fôrma por onde é inserido o LVDT; b) placa de PVC inserida na fôrma. ....	86

Figura 24 – Fôrma para análise da fissuração em estado fresco. ....	87
Figura 25 - Evolução da resistência à compressão média ao longo de 28 dias. ....	89
Figura 26 – Imagem ampliada, por meio de micrografia ótica, do FCPSA em estado natural; a) ampliação de 5 vezes; b) ampliação de 2,5 vezes. ....	92
Figura 27 – Imagem ampliada, por meio de micrografia ótica, do FCPSA saturado; a) ampliação de 5 vezes; b) ampliação de 2,5 vezes.....	92
Figura 28 - Ensaio de consistência inicial com CP II-F 40 com e sem FCPSA. a) Argamassa com FCPSA incorporada à mistura; b) Argamassa referência, sem a adição de FCPSA; c) Ajuste de consistência da argamassa referência com relação à consistência encontrada com a incorporação do FCPSA.....	93
Figura 29 - Ensaio de consistência inicial com CP IV 32 com e sem FCPSA. a) Argamassa com FCPSA incorporada à mistura; b) Argamassa referência, sem a adição de FCPSA; c) Ajuste de consistência da argamassa referência com relação à consistência encontrada com a incorporação do FCPSA. ....	94
Figura 30 – Influência da adição do FCPSA na resistência média à compressão das argamassas com diferentes cimentos na idade de 24 horas. ....	96
Figura 31- Resistência à compressão média das argamassas moldadas com CP II-F 40	99
Figura 32- Resistência à compressão média das argamassas moldadas com CP IV 32. ....	102
Figura 33- Retração média das argamassas moldadas com CP II-F 40.....	106
Figura 34- Retração média das argamassas moldadas com CP II-F 40 até a idade de 20 dias.....	108
Figura 35- Retração média das argamassas moldadas com CP IV 32.....	109
Figura 36- Retração média das argamassas moldadas com CP IV 32 até a idade de 20 dias.....	110
Figura 37 - Deslocamento inicial das argamassas mantidas a 60% UR, moldadas com CP II-F 40. ....	111
Figura 38 - Deslocamento inicial das argamassas mantidas a 30% UR, moldadas com CP II-F 40. ....	113
Figura 39 - Deslocamento inicial das argamassas mantidas a 60% UR, moldadas com CP IV 32. ....	114
Figura 40 - Deslocamento inicial das argamassas mantidas a 30% UR, moldadas com CP IV 32. ....	115
Figura 41 – Fissuração em estado fresco das argamassas curadas a 30% de umidade relativa. ....	116
Figura 42 – Fissuração em estado fresco do CP II-F 40 observada para a argamassa referência; A) imagem coletada 24h após o início do ensaio; B) imagem com área de fissura analisada por meio de AutoCAD. ....	117
Figura 43 – Fissuração em estado fresco do CP II-F 40 observada para a argamassa FCPSA; A) imagem coletada 24h após o início do ensaio; B) imagem com área de fissura analisada por meio de AutoCAD.....	117
Figura 44 – Fissuração em estado fresco do CP II-F 40 observada para a argamassa FCPSA+; A) imagem coletada 24h após o início do ensaio; B) imagem com área de fissura analisada por meio de AutoCAD. ....	118
Figura 45 – Fissuração em estado fresco do CP IV 32 observada para a argamassa referência; A) imagem coletada 24h após o início do ensaio; B) imagem analisada por meio de AutoCAD.....	119

Figura 46 – Fissuração em estado fresco do CP IV 32 observada para a aragamassa FCPSA; A) imagem coletada 24h após o início do ensaio; B) imagem analisada por meio de AutoCAD.....	119
Figura 47 – Fissuração em estado fresco do CP IV 32 observada para a aragamassa FCPSA+; A) imagem coletada 24h após o início do ensaio; B) imagem analisada por meio de AutoCAD.....	120



## **LISTA DE ABREVIATURAS**

CI – Cura Interna

PSA – Polímero Superabsorvente

a/c – água/cimento

SAP – Superabsorbent Polymer

PSA – Polímero superabsorvente

FCPSA – fibra celulósica contendo polímero superabsorvente

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental

d.C. – depois de Cristo

FC – Fibra celulósica

ABR – Areia de britagem

ANR – Areia natural regular

SEMAE – Sistema de abastecimento de água e esgoto

CP II-F 40 – cimento Portland com adição de fíler calcário

CP IV 32 – cimento Portland com adição de cinza volante

UR – umidade relativa



## LISTA DE SÍMBOLOS

$\mu\text{m}$  – micrômetro

$\text{g}/\text{cm}^3$  - gramas por centímetro cúbico

$\text{kg}/\text{m}^3$  - quilograma por metro cúbico

kN – quilo Newton

MPa/s – Mega Pascal por segundo

MPa – Mega pascal





## RESUMO

KOPPE, A. **Utilização de resíduo à base de Polímero Superabsorvente e Fibra Celulósica como agente de cura interna em matrizes de Cimento Portland**. São Leopoldo, 2016. 165 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2016.

A falta de cura adequada e, conseqüentemente, os problemas de má hidratação do cimento e manifestações patológicas, como retração e fissuras, estão entre os principais responsáveis pela redução da durabilidade de estruturas de concreto. Aliados ao aumento da velocidade de execução das obras, esses tendem a piorar uma vez que há falhas recorrentes nas atividades de pós-concretagem. A cura, com o objetivo de manter a umidade necessária para a correta hidratação do cimento e minimização da retração, vem evoluindo para um novo campo de pesquisa, a técnica da cura interna. Essa se baseia na incorporação, a uma matriz cimentícia, de materiais capazes de reter água e liberá-la de forma gradativa ao longo do período de cura. Seu estudo tem sido voltado basicamente para o uso em concretos de alto desempenho, contudo, concretos convencionais também são frequentemente negligenciados na prática de cura úmida e tendem a evoluir para essa tecnologia. Entre os materiais mais estudados, os polímeros superabsorventes (PSA) têm apresentado desempenho satisfatório como agentes de cura interna, apresentando-se como reservatórios internos de água dispersos na matriz. Esses polímeros foram apresentados à indústria da construção civil em 2001, já na prática de cura interna, com o intuito de melhorar a durabilidade das estruturas, diminuir a retração e melhorar a hidratação das partículas de cimento, agindo de dentro para fora. Mesmo com a desvantagem de gerar poros internos, seu uso apresenta vantagens quanto ao efeito plastificante, com capacidade de reduzir a relação  $a/c$  e a retração do concreto. Dentre os estudos publicados até o momento, entretanto, não se tem registros do uso de PSA de origem residual. Sendo assim, o presente estudo objetiva avaliar a viabilidade de uso de PSA residual (FCPSA), composto de fibra celulósica e PSA, proveniente de empresas de produtos de higiene, em matrizes cimentícias como agente de cura interna, buscando melhores características microestruturais. Foram realizadas análises de absorção de água e efeito plastificante do FCPSA, de resistência mecânica e retração ao longo do tempo em argamassas curadas a 100%, 60% e 30% de umidade relativa (UR), e análises de fissuração e retração inicial, até a idade de 24h, em matrizes com cimentos Portland CP II-F 40 e CP IV 32. Os resultados mostram que o FCPSA melhora a trabalhabilidade das argamassas em estado fresco, quando adicionado pré-saturado, possibilitando uma redução da relação  $a/c$  em ambos os tipos de cimento. No estado endurecido, o FCPSA (a) atua principalmente na minimização de fissuração inicial, podendo reduzir a área fissurada em até 22,5% para o cimento CP II-F e 76,2% para o CP IV 32; (b) atua na redução de retração em condições de temperatura elevada e baixa umidade relativa e (c) apresenta resistências à compressão similares às argamassas referência, com dosagem calculada, para ambos os cimentos.

Palavras-chave: Cura interna, polímeros superabsorventes (PSA), PSA residual.



## ABSTRACT

KOPPE, A. Utilização de resíduo à base de Polímero Superabsorvente e Fibra Celulósica como agente de cura interna em matrizes de Cimento Portland. São Leopoldo, 2016. 165 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2016.

The lack of adequate curing conditions, and related problems such as poor hydration, shrinkage and cracking, are among the main reasons for the reduction in durability of reinforced concrete structures. Considering the increasingly tight schedules practiced in current building construction projects, these reasons tend to worsen once there are recurring failures in the post-concrete placement and finishing activities. Concrete curing, which aims to keep adequate moisture conditions for the proper hydration of cement and to minimize shrinkage and cracking, has been evolving into a new field of research: the practice of internal curing. This is based on the incorporation, into a cement matrix, of materials able to retain water and release it in a gradual manner during the curing period. Most internal curing studies conducted so far have focused primarily on high performance concretes; however, conventional concretes are often neglected in the practice of proper wet curing and also tend to evolve and apply this technology. Among the most studied materials in this context, superabsorbent polymers (SAP) have presented satisfactory performance as an internal curing agent, presenting themselves as internal water reservoirs dispersed throughout the matrix. They were presented to the construction industry in 2001, as internal curing agents, employed to improve the durability of the structures, reduce shrinkage and promote better hydration of the cement particles. Even with the disadvantage of generating internal voids, its use presents advantages due to its plasticizing effect (when pre-saturated), with a capacity to reduce w/c ratio and shrinkage. Among the studies published so far, there are no records of the use of residual SAP. The objective of this study is to evaluate the technical feasibility of using residual SAP (FCSAP), composed of cellulose fiber and SAP, from hygiene products companies, in conventional cement matrices as an internal curing agent. The RSAP absorption and plasticizing effects were evaluated, as well as mechanical strength and shrinkage in mortars cured at 100%, 60% and 30% relative humidity (RH), in addition to analysis of cracking and plastic shrinkage up to 24h, for two types of cements (CP II-F and CP IV). Results show that the use of RSAP as an internal curing agent improves the workability of fresh mortars when added pre-saturated, thus allowing a reduction of w/c ratio for a given workability. In the hardened state: (a) it works mainly in the minimization of initial cracking, being able to reduce the cracked area by up to 22.5% for CP II-F and 76.18% for CP IV; (b) acts in the reduction of shrinkage in high temperature and low relative humidity conditions; and (c) presents similar compressive strengths to the control mortars, when mixed in proper amounts, for both types of cement tested.

The Key-words: Internal Curing, superabsorbent polymers (SAP), residual SAP.



# 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, tem se observado um grande avanço em tecnologias voltadas à construção civil. Novos materiais vêm surgindo a fim de minimizar a quantidade de uso de recursos naturais, cálculos avançados a fim de aperfeiçoar estruturas e técnicas construtivas e novos processos de execução com o intuito de acelerar o andamento das obras. Contudo, observa-se que pouco ainda tem sido desenvolvido, ou aplicado, a fim de se solucionar problemas (seja por materiais utilizados, mão de obra falha, ou projetos inadequados) já existentes no modelo construtivo atual, e, como consequência, tem-se estruturas com vida útil comprometida devido ao aumento das manifestações patológicas.

A cura do concreto é considerada um dos processos pós-concretagem mais importantes para que se tenha um concreto com a resistência e durabilidade desejada. Embora utilizada há muitos anos nos sistemas construtivos em concreto, ainda apresenta falhas de execução, o que acarreta em problemas sérios de durabilidade da estrutura. O procedimento é dado como um processo na qual se mantém uma umidade satisfatória para a hidratação do cimento, evitando a evaporação da água da mistura de concretos, garantindo assim que o material possa desenvolver as propriedades desejadas ao mesmo tempo em que se minimiza a retração do material.

No entanto, é nítido que parte das obras realiza este procedimento somente em estruturas recém concretadas, ou, muitas vezes, nem o realizam. Com isso, as características superficiais são as mais afetadas, aumentando a porosidade e conseqüentemente gerando permeabilidade, fissuração, carbonatação, etc (HELENE, LEVY, 2013). O fenômeno da retração por secagem, o mais comum ocasionado em estruturas com falha no sistema de cura, é conhecido como uma deformação tridimensional ocasionada pela perda de água do concreto (KUMM, 2009). Contudo, a falta de cura nas estruturas afeta não somente as características superficiais já citadas, afeta também a sua resistência e durabilidade. Segundo Mehta e Monteiro (2014), se a cura não for realizada e o concreto for mantido em ambiente seco, a queda na sua resistência pode chegar a cerca de 50% aos 28 dias, quando comparado ao material curado sob condições ideais. Na prática, grande parte das obras que realiza este procedimento a realiza em idades muito reduzidas, de três a sete dias.

A fim de se evitar tais problemas estruturais, autores como Jensen, Hansen (2001), Bentz, Lura, Roberts (2005); Cusson, Hoogeveen (2008); Dudziak, Mechtcherine (2008); entre outros, vêm estudando materiais promissores a serem usados como agentes de cura interna,

capazes de reter determinadas taxas de água e, quando incorporado a matrizes de cimento Portland, liberá-la, proporcionando uma hidratação de dentro para fora da matriz. Alguns desses materiais, que se apresentam em processo de estudo, são nacionalmente conhecidos como polímeros superabsorventes (PSA), ou internacionalmente como *superabsorbent polymers* (SAP). Foram utilizados pela primeira vez na construção civil, no combate a retração de concretos de alto desempenho com relação a/c muito baixa (retração autógena), por Jensen e Hansen (2001).

PSA ou SAP é um material polimérico com grande capacidade de absorção e retenção de água dentro de sua estrutura (JENSEN, 2014). Quimicamente, trata-se de poliacrilatos interligados por ligações covalentes cruzadas que, em função de sua estrutura interna, podem absorver grandes quantidades de água sem se dissolverem (KUMM, 2009, MECHTCHERINE e REINHARDT, 2012). Dependendo da granulometria do PSA, que pode assumir a forma de pó, grão, ou mesmo partículas maiores, estes podem absorver até 5000 vezes o seu peso próprio seco (KUMM, 2009; JENSEN, 2014). Mechtcherine e Reinhardt (2012) observam que o PSA, após máxima absorção de água, apresenta-se na forma de partículas de gel maiores, semelhante a sua forma física em estado seco (grão, partícula).

Dentre as diversas propriedades do PSA, está a alta capacidade de absorção de água com a liberação do líquido sob ação de pressão moderada – balanço de forças repulsivas que atuam expandindo a cadeia polimérica (KUMM, 2009). Segundo a autora, toda a água absorvida pelo PSA pode ser considerada disponível para auxiliar no processo de hidratação do cimento. Gomes (2014) explica que a liberação de água do gel (PSA + H<sub>2</sub>O) – de polímeros utilizados na produção de produtos de higiene – ocorre em pH elevado, e a liberação desta ocorre na medida em que a umidade relativa interna do concreto reduz, durante as reações de hidratação do cimento, que consomem a água da mistura. Jensen (2014) complementa definindo que um agente de cura, como o PSA, é classificado como um reservatório interno de água, que vai liberando a água gradualmente, conforme a necessidade do concreto, promovendo a cura de dentro pra fora.

Para Jensen (2014), usar PSA como agente de cura interna apresenta dois efeitos opostos: em um, o PSA gera vazios ao concreto, reduzindo sua resistência, em outro, aumenta o grau de hidratação do cimento, elevando a resistência. Diversos são os fatores que tem influência para que um destes efeitos se torne dominante, tal qual a maturidade do concreto, relação a/c e, principalmente, a quantidade de PSA utilizada. Contudo, para Mechtcherine e Reinhardt (2012), a geração de vazios pode se tornar um ponto importante em determinados

tipos de concreto, como é o caso de estruturas de gelo/degelo, que necessitam de poros para a expansão da água em forma de gelo.

Atualmente a geração de PSA está voltada a dois sistemas de consumo, a indústria de higiene e os PSA's técnicos. Este último compreende todas as aplicações para além dos produtos de higiene, podendo ser utilizados, por exemplo, no paisagismo, combate a incêndio e embalagens de alimentos (MECHTCHERINE e REINHARDT, 2012). A indústria de higiene é responsável pelo maior consumo de PSA's. Associada ao conforto e a praticidade na vida moderna, houve um aumento no consumo de produtos de higiene pessoal (fraldas descartáveis e absorventes higiênicos) contendo PSA em sua composição (GOMES, 2014). Porém, junto a esta modernidade da sociedade surgiu o efeito cascata, onde, com o maior consumo destes materiais, maior a geração de resíduos (referentes ao processo de industrialização destes materiais). Os desafios promovidos estão na eliminação do novo resíduo gerado a partir do processo de produção destes produtos de higiene. Na maioria dos casos, o PSA não é utilizado de forma bruta e pura no setor da indústria de higiene; o material pode ser composto por 70% de fibra celulósica e somente 10% de PSA, sendo os demais 20% água e outros elementos incorporados à mistura, como no caso do material estudado por Gomes (2014).

Neste contexto, e tomando como base o estudo anterior de caracterização de PSA residual (FCPSA) de empresas do setor de higiene, realizado por GOMES (2014), este estudo busca avaliar a utilização de PSA na forma residual (FCPSA) como agente de cura interna em matrizes de cimento Portland.

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

Os polímeros superabsorventes (PSA) atualmente são conhecidos como a inovação da tecnologia de cura interna, e difundidos no ramo da hidratação de estruturas de cimento Portland desde 2001. Como alternativa, são materiais com alta capacidade de absorção de água, incorporada a matrizes de cimento Portland, agindo como reservatórios internos, além de melhorarem a trabalhabilidade, e diminuir a relação água/cimento (a/c). Estudos já apontam em melhoras nas microestruturas de cimento quando utilizado PSA como agente de cura interna. Tiveram suas primeiras aplicações na construção de pavilhões para a Copa do Mundo de 2006, na Alemanha, em paredes de painéis projetados em Lyngby (MECHTCHERINE e REINHARRDT, 2012; DUDZIAK e MECHTCHERINE, 2008), e, mais atualmente, em diversas pontes na região da América do Norte, em Nova York, Ohio e Indiana (BENTZ e WEISS, 2011).

Entretanto, dentre os estudos e aplicações publicados até o momento, como no combate a retração autógena, retração plástica e em estudos como agente de cura interna, estes materiais foram estudados somente em concretos de alto desempenho. Além de, em todos os casos, ser utilizado polímeros nobres, de origem comercial, produzidos para tal finalidade, sem registros do uso de PSA de origem residual na construção civil.

Aliado a este fato, a Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPA), regido pela Lei Nº 12305 (2010) que regulamenta as diretrizes relativas ao gerenciamento de resíduos, incluindo manejo e disposição final, obriga todos os setores do mercado a redirecionarem seus resíduos. Sendo assim, conseguir destinar estes rejeitos, dando-lhes um destino nobre, sem a necessidade de despejo em aterros sanitários, passa a ser um trabalho conjunto do setor empresarial e meio acadêmico. Vinculado ao cunho ambiental, com menor necessidade de extração e deposição final de rejeitos, e a necessidade da prática de cura úmida, surge à possibilidade da utilização de polímero superabsorvente adquirido de forma residual como matéria promissora a técnica da cura interna.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Como objetivo geral, o estudo busca avaliar a viabilidade técnica do uso de resíduo à base de polímero superabsorvente e fibra celulósica (FCPSA), proveniente da fabricação de produtos de higiene pessoal, como agente de cura interna em matrizes cimentícias.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos são:

- avaliar e a taxa de absorção do FCPSA para incorporá-lo como agente de cura interna em matrizes de cimento Portland;
- avaliar a influência de diferentes percentuais de adição do resíduo através de estudo de dosagem específico para cura interna;
- incorporar FCPSA na fração argamassa do concreto e avaliar a influência da sua incorporação na modificação da consistência, resistência mecânica e estabilidade dimensional;

## **1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA**

O estudo está estruturado da seguinte forma:



No capítulo 1 apresenta-se uma breve introdução ao tema do trabalho, assim como os objetivos da pesquisa e a justificativa. A Revisão Bibliográfica é apresentada no capítulo 2. Está estruturada de forma científica e de claro entendimento, onde são apresentados dados já existentes na literatura e análises individuais relacionadas ao tema do trabalho. O capítulo 3 apresenta o programa experimental, com a descrição dos materiais e métodos adotados e as análises laboratoriais realizadas. No capítulo 4 são apresentados e discutidos os resultados obtidos ao longo do trabalho, enquanto os comentários finais e as conclusões do estudo encontram-se no capítulo 5, assim como as sugestões para trabalhos futuros. O final encontram-se os Apêndices e as referências bibliográficas, listadas no capítulo 6.

#### **1.4 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO**

O trabalho está limitado à utilização de PSA de origem residual (FCPSA) em matrizes de cimento Portland. Sua utilização se dá em argamassas estruturais produzidas com cimento CP II-F 40 e CP IV 32. O estudo avalia o uso do FCPSA como agente de cura interna curada em três condições – 100% UR a  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ , 60% UR a  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$  e 30% UR a  $40^{\circ}\text{C}$  – representando três situações de clima, comuns principalmente na região sul do Brasil.

Cabem observar que as conclusões apresentadas neste trabalho se referem especificamente aos resultados obtidos para os materiais utilizados neste estudo, preparados, misturados, curados e testados conforme descrito na metodologia. Sua representatividade deve ser ratificada através da execução de novas pesquisas, que apresentem resultados que possam complementá-las e confirmá-las. Apesar de a cura interna ser particularmente interessante para concretos estruturais, neste trabalho os ensaios foram realizados em argamassa, segundo procedimentos baseados na norma ABNT NBR 7215 (1997), sendo que a distribuição granulométrica das areias utilizadas no traço do estudo baseia-se na fração argamassa de concretos comercializados por uma empresa concreteira da região.



## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A revisão da literatura está baseada no estudo de fibra celulósica contendo polímeros superabsorventes utilizados como agentes de cura interna em matrizes de cimento Portland. São abordados conceitos de cura do concreto, com ênfase na análise de materiais com potencial de auxiliarem na minimização dos efeitos provocados pela falta de cura. Além disso, serão apresentados conceitos, normativas e métodos de dosagem de polímeros superabsorventes, em teor ideal, para aplicação em matrizes de cimento Portland.

### **2.1 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**

O concreto é uma das matrizes de cimento mais versáteis e confiáveis, amplamente utilizado na construção civil, o que o faz ser considerado o material mais consumido pelo homem, perdendo somente para a água. Segundo Mehta e Monteiro (2014), anualmente são consumidas aproximadamente 33 bilhões de toneladas de concreto por ano, o que corresponde a um consumo médio de aproximadamente 12 kg de concreto por pessoa por dia. Disseminado pela facilidade de sua produção, com ampla presença no desenvolvimento da sociedade, Mehta e Monteiro (2014) apresentam três razões principais que o fazem tornar-se um material com tamanha procura e consumo: a) facilidade em alcançar diferentes formas e tamanhos de estrutura, por apresentar consistência plástica em estado fresco; b) o baixo custo de produção em função da disponibilidade de matérias-primas adequadas em praticamente todos os pontos do mundo, com insumos, na maioria, de fácil extração; c) e suas excelentes propriedades adquiridas, principalmente resistência mecânica, alta capacidade de resistir a intempéries, proteção da armadura e longa durabilidade.

Embora não apresente propriedades mecânicas e maleabilidade tão elevada quanto o aço, por exemplo, o concreto hoje é essencial para a modernização, praticidade e agilidade na execução de estruturas de concreto armado. Muito utilizado em virtude das características em estado fresco e microestrutura formada em estado endurecido, passou a ser também um material de constante preocupação de projetistas de concreto armado. No decorrer dos últimos anos, como já mencionado no início do século atual, com o aumento gradativo da velocidade de execução das estruturas, que demanda maiores resistências iniciais, menor porosidade, entrelaçado a uma maior resistência mecânica e finura de cimentos, as estruturas vêm apresentando maior índice de fissuração, maior retração, acarretando em uma redução de durabilidade (MEHTA, 2001). Fator este preocupante, uma vez que a vida útil de uma estrutura de concreto armado deve ser projetada para, no mínimo, 50 anos (ABNT NBR 15575, 2013).

A redução da durabilidade, associada aos fatores supracitados, também é consistente com dosagens inadequadas e problemas de execução verificados com frequência em diversas obras. Mehta (2001) apresenta uma crítica ao modo construtivo em que o mercado vem se encaminhando, ainda bastante atual: “a prática da construção está impulsionada pela velocidade de construção, utilizando concretos com grandes resistências iniciais. O resultado é a expansibilidade, rachaduras, contrações térmicas, gerando uma menor durabilidade das estruturas”. A crítica é apresentada uma vez que pouco tem se evoluído quanto à execução, a partir das melhorias obtidas nos materiais.

Problemas estruturais gerados por falhas nas atividades de pós-concretagens são os mais comuns, ainda mais quando envolvem cimentos com resistências e finuras elevadas (HELENE, LEVY, 2013). Com maior calor de hidratação, geram maior calor interno, necessitando uma melhor hidratação. Contudo, sabe-se que a mão-de-obra (de forma não generalizada) muitas vezes não acompanha a evolução dos materiais constituintes de estruturas de concreto e ainda apresenta um sistema falho de cobrança por parte do profissional, para uma estrutura bem executada. Além disso, inevitavelmente tem-se observado o esquecimento de características microestruturais de materiais no desenvolvimento de memoriais construtivos, elevando os percentuais de falhas.

No caso de cimentos mal hidratados, elevadas temperaturas de concretagem, incidência de ventos, agrupados com falta de cura de estruturas, por exemplo, geram problemas de retração e, conseqüentemente, fissuração. As fissuras são consideradas vãos de passagem para agentes agressivos do meio externo até as armaduras. Podem aparecer com dimensões que variam de 0,05 mm até aberturas muito maiores (CARMONA FILHO, CARMONA, 2013). Estas por sua vez, independente da dimensão, devem ser evitadas nas estruturas, tomando-se o cuidado com processos adequados.

### **2.1.1 Hidratação do Cimento Portland**

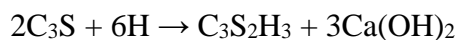
Os diferentes tipos de cimento Portland, utilizados na produção principalmente de concretos e argamassas, são definidos como aglomerantes hidráulicos, com partículas angulares de dimensão que variam de 1 a 50  $\mu\text{m}$ . São produzidos a partir da mistura heterogênea de vários compostos devidamente proporcionados entre o sulfato de cálcio e clínquer. O clínquer, por sua vez, é composto principalmente por óxido de cálcio, sílica, alumina e óxido de ferro, produzido por reações em temperaturas na ordem de 1450°C.

Os componentes formados a partir destas reações correspondem, de forma reduzida, a  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$  e  $C_4AF$ , que, definidos por Mehta e Monteiro (2014), correspondem a proporções entre 45 a 60%, 15 a 30%, 6 a 12% e 6 a 8% respectivamente. Os mais volumosos constituintes formados,  $C_3S$  e  $C_2S$ , são também denominados como Alita e Belita. A Alita ( $C_3S$ ), como principal constituinte da mistura é definida como a maior responsável quanto ao endurecimento e resistência mecânica dos cimentos nas idades iniciais, até 28 dias (TAYLOR, 1997). Segundo o autor, o hidróxido de cálcio liberado na hidratação deste constituinte confere aos concretos um alto grau de alcalinidade, com pH 12 a pH 13. A Belita ( $C_2S$ ), por sua vez, também é responsável pela resistência mecânica, porém em idades posteriores aos 28 dias, isso em função da sua taxa de hidratação lenta (BATTAGIN, 2011). Esta constitui de 15% a 30% do clínquer e reage lentamente com a água, o que contribui pouco para a resistência mecânica inicial, correspondente aos primeiros 28 dias (TAYLOR, 1997).

O Aluminato Tricálcico ( $C_3A$ ) é responsável pelo início da pega do cimento, e é considerado o componente com maior reatividade do clínquer (BATTAGIN, 2011). Como possui elevada liberação de calor de hidratação do cimento, reage quase que imediatamente com a água, fazendo com que se tenha a necessidade de se adicionar sulfato à mistura, a fim de se regularizar e normalizar a pega do cimento (MEHTA e MONTEIRO, 2014). O Ferro Aluminato Tetracálcico ( $C_4AF$ ) caracteriza-se por apresentar uma lenta velocidade de hidratação, porém possui elevada resistência ao ataque de sulfatos (BATTAGIN, 2011), e influi diretamente na pega do cimento.

Estes elementos, por sua vez, só reagem e hidratam na presença de água. Esta hidratação é definida como a reação química responsável por gerar os produtos responsáveis pelas características de pega e endurecimento de matrizes de cimento, sendo este último essencial para a durabilidade de uma estrutura. Após ocorrerem as reações químicas, são formadas quatro fases sólidas principais: (a) silicato de cálcio hidratado (C-S-H); (b) hidróxido de cálcio (CH); (c) sulfoaluminatos de cálcio; e (d) grãos de clínquer ainda não hidratados. Como já mencionado, a água é o principal elemento necessário para a formação destas fases, no seu contato com o  $C_3S$  e  $C_2S$ , por exemplo, ocorrem à precipitação do silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e do hidróxido de cálcio (CH), principais responsáveis pela resistência mecânica das matrizes cimentícias. Segundo Neville (2006), ambos os silicatos necessitam aproximadamente a mesma quantidade de água para a sua hidratação, porém o  $C_3S$  produz mais do que o dobro de CH, do que a fase formada pela hidratação do  $C_2S$ . Estas reações são

apresentadas por Neville (2006), por meio das equações estequiométricas, conforme Equação 1 e Equação 2:



**Equação 1**



**Equação 2**

Onde,

O Silicato de cálcio hidratado corresponde ao maior volume de sólidos na pasta totalmente hidratada (CINCOTTO, 2011). Por apresentar de 50 a 60% do volume, confere-se a esta fase como a mais importante, determinando as propriedades da pasta hidratada. Mehta e Monteiro (2014), Paulon e Kirchheim (2011) a caracterizam por ser uma fase não muito definida, apresentando conteúdos de água, relação C/S ( $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ ) e morfologia indefinida, sendo a relação a/c, temperatura e a idade de hidratação os principais constituintes para a variação da sua composição química. Em função das várias formas de apresentação da estrutura exata do  $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ , dada por diversos pesquisadores, recebeu abreviação de C-S-H, não implicando em uma estequiometria definida. Para Cincotto (2011) a formação desta fase se dá em duas etapas: (a) formação inicial do silicato intermediário, menos solúvel que o  $\text{C}_3\text{S}$ , com relação C/S igual a 2,5; (b) estabilidade do C-S-H menos solúvel, com relação C/S mais baixa. O produto gerado da hidratação do  $\text{C}_3\text{S}$ , denominado por alguns autores como “gel rígido”, é formado pelo C-S-H cristalizado tridimensionalmente em camadas de folhas intercaladas por moléculas de água (CINCOTTO, 2011).

A fase definida como hidróxido de cálcio (CH) apresenta 20 a 25% do volume de sólidos da pasta hidratada. Diferente da fase do C-S-H, esta se apresenta como uma fase bem definida, com a formação de grandes cristais, de forma prismática hexagonal, contudo a variação se dá em indefiníveis pilhas destes grandes cristais. Mehta e Monteiro (2014) e Paulon e Kirchheim (2011) atribuem limite à resistência dessa fase em função da baixa área superficial, o que acaba contribuindo pouco na resistência do concreto.

As fases de sulfoaluminatos de cálcio e os grãos de clínquer não hidratados são considerados fases secundárias, presentes em menor quantidade na pasta hidratada. O sulfoaluminato de cálcio ocupa somente 15 a 20% do volume de sólidos, formam cristais de etringita nas fases iniciais de hidratação. Sua presença em concretos é responsável pela vulnerabilidade ao ataque por sulfatos (PAULON, KIRCHHEIM, 2011). Apresenta seus cristais na forma de placas hexagonais (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Já os grãos de clínquer não hidratados originam-se pela não hidratação de todas as partículas de cimento anidro ou por meio da falta de espaço para que ocorra esta reação. Mehta e Monteiro (2014) explicam que um grão de cimento apresenta dimensões entre 1 a 50  $\mu\text{m}$ , e que, enquanto ocorrem às reações de hidratação, as partículas menores são transformadas em produtos de hidratação, e as partículas maiores tornam-se menores, porém, sem espaço na matriz para que consigam seguir suas reações.

Para Mehta e Monteiro (2014), as reações ocorridas a partir dos componentes formados, gerando o fenômeno inicial da hidratação, ocorrem em duas fases sequenciais. Na primeira, denominada dissolução-precipitação, ocorre à dissolução de compostos anidros em compostos iônicos, gerando uma solução contendo hidratos devido à baixa solubilidade, gerando a precipitação de cristais. Ou seja, parte da água é consumida na hidratação das partículas de cimento, e a água restante evapora, formando vazios e poros capilares no interior da mistura cimentícia (CINCOTTO, 2011). Para a autora, nesta etapa a área superficial da partícula de cimento e a temperatura ambiente são fatores de grande importância para a formação de cristais. Já na fase seguinte, denominada hidratação por difusão, a hidratação na fase sólida, as reações ocorrem sem se misturarem em solução, ocorrendo na própria superfície do cimento anidro (MEHTA e MONTEIRO, 2014). Ou seja, a água dos poros difunde por meio dos produtos hidratados já formados, continuando assim, a hidratação da fração ainda anidra da partícula (CINCOTTO, 2011).

Influenciada pela temperatura e umidade relativa, a hidratação de um cimento ocorre em condições favoráveis, como melhor condição temperatura média de 23°C e umidade superior a 98% (MEHTA e MONTEIRO, 2014). Para os autores, na temperatura de 23°C e UR > 98%, aos 28 dias os cimentos terão atingido, no máximo, 75% de sua hidratação total, podendo chegar a 100% com aproximadamente 50 anos, respeitando e mantendo as condições de umidade e temperatura. Para Andrade e Helene (2010), as relações a/c baixas, próximas ou menores a 0,4, nunca poderão apresentar uma hidratação completa, uma vez que não há água suficiente para sua hidratação total.

Cincotto (2011) afirma que a velocidade das reações não é constante, atingindo sua velocidade máxima em menos de 72 horas, e posteriormente em velocidade reduzida. Esta velocidade está relacionada principalmente à finura e composição dos cimentos, além de aditivos e fatores intrínsecos de exposição, como temperatura e umidade relativa (HELENE e LEVY, 2013). Quando em cimentos muito finos, ocorrem de forma mais acelerada, podendo gerar maior calor de hidratação, mais propício à fissuração de estruturas. Ou seja, as reações

iniciais são rápidas, e se completam com idades seguintes de forma mais lenta. Em função disso, é gerada a necessidade de cura, desde as idades iniciais, para assim garantir o desempenho e durabilidade desejada da estrutura.

### **2.1.2 Características desejadas de uma matriz de cimento Portland hidratada**

O concreto pode ser descrito por três fases principais, partículas de agregados, matriz porosa de pasta de cimento e zona de transição entre duas fases (PAULON e KIRCHHEIM, 2011). Porém, o que se deseja a partir da estrutura como um todo é resistência, durabilidade e estabilidade dimensional. Estes, por sua vez, são influenciados pelas características microestruturais formadas, ou seja, são influenciados diretamente pela proporção de materiais na mistura, relação a/c e propriedades adquiridas da pasta de cimento hidratada (NEVILLE e BROOKS, 2013).

A resistência de uma matriz cimentícia está relacionada à ruptura, uma vez que é considerada a capacidade de suportar tensões. Quando, por algum motivo, surgem fissuras na matriz, gerando o rompimento, atribui-se que esta resistiu até sua tensão máxima, e, no momento seguinte, quando a tensão é superior a resistência potencial estimada, há uma perda de capacidade de suportar cargas. Considerada como uma propriedade mecânica, a resistência de uma matriz é atribuída às forças de Van der Waals (soma de forças atrativas ou repulsivas, não ligadas a ligações covalentes entre moléculas, ou forças de interação eletrostática de íons), onde há a aderência entre as superfícies sólidas. Ou seja, a resistência se dá sobre a superfície sólida, sendo os vazios (porosidade) prejudiciais à resistência. Neville e Brooks (2010) relatam a necessidade de saber-se esta porosidade, uma vez que esta é um dos principais agravantes para a redução de resistência mecânica final. Contudo, os autores atribuem à relação a/c o fator primordial para redução de resistência, considerando os demais fatores, como fatores secundários.

Os sólidos responsáveis pela aderência, responsáveis por gerar a resistência, são os cristais de C-S-H, sulfoaluminatos de cálcio hidratados e aluminatos de cálcio hidratado (MEHTA e MONTEIRO, 2014). Para os autores, os produtos de hidratação do cimento não se agregam somente entre si, podendo se aderir também a superfícies sólidas de tamanho reduzido, como hidróxido de cálcio, grãos de clínquer não hidratados e a agregados miúdos e graúdos, gerando as zonas de transição Além disso, atribuem o ganho de resistência ao grau de hidratação do cimento, em função de sua condição de cura (duração da hidratação, umidade e temperatura).



A durabilidade é considerada uma das propriedades mais importantes, uma vez que essencialmente necessita suportar carregamentos para os quais foi projetado suportar durante sua vida útil. Segundo a ACI (2013), a durabilidade está associada à capacidade de resistir a ações de intempérie, ataque químico, abrasão e outras condições de exposição, ou seja, está associada a fatores químicos, físicos e mecânicos. Neville e Brooks (2013) associam a ação do congelamento, diferença entre propriedades térmicas do agregado e da pasta de cimento como causas físicas, abrasão como causa mecânica e ataques por sulfatos, ácidos e cloretos como fatores químicos. Já Mehta e Monteiro (2014) associam, além dos fatores já citados por Neville e Brooks (2013), o desgaste superficial, cristalização de sais nos poros e exposição a temperaturas extremas aos aspectos físicos negativos.

A durabilidade, assim como a resistência, também está diretamente relacionada à porosidade de uma argamassa ou concreto. Mehta e Monteiro (2014) apresentam uma relação entre a permeabilidade e a porosidade, onde a permeabilidade é diminuída em função da menor porosidade. Em um concreto tradicional a permeabilidade é estabelecida pela porosidade da pasta de cimento, sendo mais permeável quando a pasta apresentar poros capilares maiores (NEVILLE e BROOKS, 2013). Esta porosidade capilar, por sua vez, está associada à relação  $a/c$  e ao grau de hidratação do cimento. Ou seja, uma maior porosidade é alcançada com uma má formação dos produtos de hidratação do cimento, ocasionados por uma cura inadequada, com isso, à medida que não ocorre uma hidratação do cimento os espaços vazios entre as partículas não são preenchidos pelos produtos de hidratação, gerando uma maior porosidade (MEHTA e MONTEIRO, 2014). Além disso, Neville e Brooks (2013) salientam que somente existe permeabilidade quando se tem grandes poros capilares conectados, sendo estes os responsáveis pela passagem de agentes agressivos externos até a armadura. Mehta e Monteiro (2014) consideram a água como o agente fundamental para a deterioração de uma estrutura cimentícia, pois, além de ser necessária para uma boa estruturação microestrutural, ela pode ser dada como o veículo de transporte de agentes agressivos para o interior das estruturas e deficiência na hidratação.

Além destes, outro fator relevante para a diminuição da durabilidade consiste na interrupção ou má execução da cura úmida de uma estrutura. Para Neville e Brooks (2013), um período de secagem, havendo falta de cura nas primeiras idades, gera um aumento de permeabilidade em função das fissuras de retração, ocasionadas entorno do agregado. Esta retração superficial, por sua vez, está associada à estabilidade dimensional.

A estabilidade dimensional é necessária a uma estrutura, que por sua vez podem apresentar deformações elásticas e inelásticas no carregamento das estruturas de concreto, além de deformações ocasionadas por retração. De forma geral, as características que combinadas levam o concreto a uma variação dimensional são geometria da estrutura, dosagem dos materiais empregados e condições climáticas (GIROTTTO, BARBOSA, MACIEL, 2014). Além disso, ainda são afetada por fissurações geradas por tensões aplicadas, mudança de volume, em função da retração e variações na temperatura e expansão (NEVILLE, BROOKS, 2013). Também está fortemente associada à fissuração de matrizes de cimento Portland ocasionadas por falta de cura, que, segundo Mehta e Monteiro (2014) podem ser minimizadas mantendo-se a estrutura a uma cura adequada (com umidade relativa de 100%), sendo assim, não se observam uma variação dimensional. Contudo, sabe-se que este é um ambiente pouco encontrado quando se fala de estruturas, onde normalmente tem-se umidade ambiente menor que a ideal.

Neville e Brooks (2010) atribuem à existência de falhas, descontinuidade e porosidade de uma matriz de cimento Portland como fatores diretamente ligados a não se conseguir as desejadas resistências, durabilidade e estabilidade dimensional.

### **2.1.3 Retração em matrizes de cimento Portland**

Segundo a ACI (2013), a retração é considerada a diminuição do comprimento ou volume de um material em função de alterações no teor de umidade de uma matriz de cimento ou alterações na sua composição química. Ou seja, é definida como a redução de volume, seja no estado fresco ou no estado endurecido. Já Diniz, Fernandes e Kuperman (2011) atribuem a retração somente à deformação da pasta de cimento, associada principalmente a perda de água, sem que ocorra nenhum tipo de carregamento, reação química expansiva ou térmica.

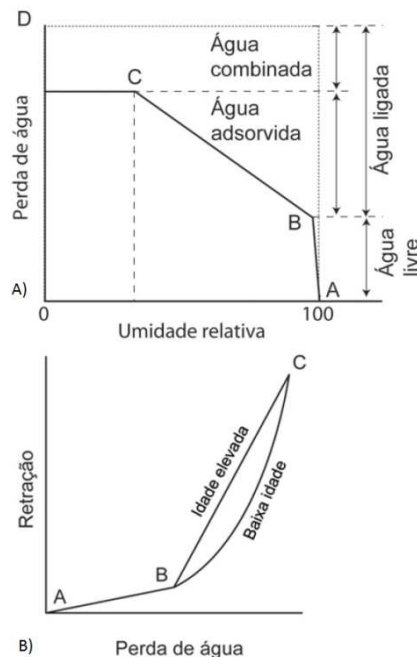
A retração, independente do tipo, plástica, por secagem, autógena, hidráulica ou por carbonatação, é uma das principais causas de fissuração de uma matriz de cimento Portland, diminuindo resistência e durabilidade, comprometendo sua vida útil. Girotto, Barbosa e Maciel (2014) descrevem que a retração ocorre em dois momentos, no estado plástico e posteriormente no estado endurecido, e, independente dos momentos, estão associadas à perda da água ou da combinação química da água.

Na fase plástica, a retração ocorre de forma mais drástica, influenciada pela temperatura, ventos, tendo como consequência destes efeitos a evaporação de água. Neste estágio, a retração é determinada por perda de água, seja por evaporação ou para a superfície

seca, a uma taxa superior à quantidade de água disponível para exsudação (GIROTTO, BARBOSA, MACIEL, 2014).

Segundo Hermite (1960) apud Mehta e Monteiro (2014), Figura 1, a retração é diretamente ligada à perda de água, ou seja, quando se tem uma baixa perda de água, com umidade relativa pouco inferior a 100% tem-se uma ligeira retração. Contudo, quanto menor a umidade relativa, maior a perda de água, e maior a retração gerada, e, em todos os casos, a água é perdida sob a forma de evaporação.

Já no estado endurecido, a retração é consequência de ações do ambiente ou influenciada por proporções de materiais, problemas de dosagem, associados à hidratação da pasta de cimento (cimento + H<sub>2</sub>O). As principais retrações ocorridas nesta fase são a retração autógena e retração por carbonatação (DINIZ, FERNANDES, KUPERMAN, 2011).



**Figura 1 – A) Perda de água em função da umidade relativa; B) Retração em função da perda de água.**

Fonte: Hermite (1960)<sup>1</sup> apud Mehta e Monteiro (2014).

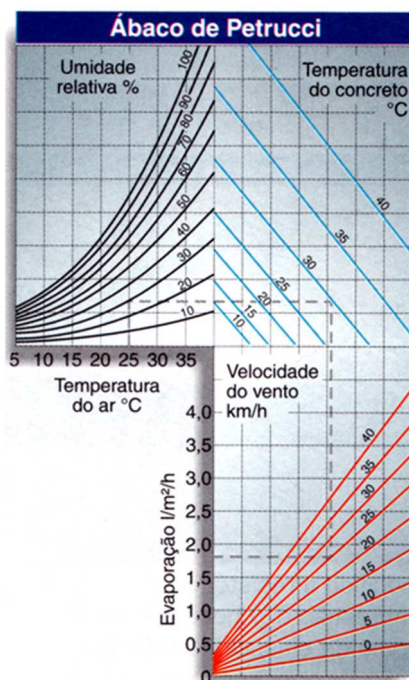
Neville e Brooks (2013) afirmam que a retração que ocorre em longas idades pode ser também resultado de um efeito de carbonatação (em função do avanço das idades e ataques externos). Contudo, ela diminui em função do tempo, de forma que 85% da retração que possa ocorrer em 20 anos, ocorrem nos primeiros 365 dias. Além disso, as retrações ocorridas em idades mais avançadas são também influenciadas fortemente pelos agregados, que limitam a

<sup>1</sup> HERMITE, R. L. Proceedings of the Fourth International Symposium on Chemistry of Cements, Washington, D. C., 1960.

retração da pasta de cimento. Neville e Brooks (2013) afirmam que uma das características dos agregados que apresenta forte influência sobre a retração é relacionada ao módulo de elasticidade. Além disso, a retração não é influenciada diretamente pela dimensão máxima do agregado, mas sim, pelo teor de argamassa quando utilizado agregados com dimensões maiores, estes possibilitam o uso de misturas mais pobres para uma relação a/c constante, gerando uma menor retração.

De forma geral, ela é causada principalmente pela relação a/c inadequada, temperaturas elevadas, taxa de umidade relativa do ar e velocidade dos ventos, efeitos de capilaridade, temperatura interna da matriz, condições estruturais do material (GIROTTI, BARBOSA, MACIEL, 2014) e formação de ligações químicas a partir do C-S-H e CH com a água. Como consequência, têm-se deformações verticais e longitudinais. Além disso, os comportamentos não lineares de concretos, que estão associados à parte mais frágil da zona de transição, entre os agregados e a pasta de cimento hidratada, também levam a microfissuras induzidas. O tamanho e o número destas microfissuras aumentam com relação ao aumento de tensões que o concreto sofre, gerando assim, outro efeito causador da retração (NARIN, WIKLUND, 2012).

Tratar as fissuras que ocorrem em função da retração de forma somente estética é um erro comum, contudo a evolução delas, ao longo dos anos, pode acarretar em uma patologia séria, gerando caminhos para a entrada de agentes agressivos à estrutura, além de problemas com transmissão acústica (NEVILLE, 2006). Formas simples de se evitar retração provocada em idades iniciais estão relacionados à realização de uma boa cura úmida, ou diminuição da relação a/c da mistura. Petrucci (1973), (Figura 2), relaciona a temperatura do ar, umidade relativa, temperatura do concreto e a velocidade do vento como fatores externos a influenciarem diretamente na taxa de evaporação de água, acarretando em fissuração. Segundo o autor, ao relacionar-se os itens e obtendo-se uma taxa de evaporação de água superior a 1,2 l/m<sup>2</sup>/h a probabilidade de fissuração é de 100%, já com uma taxa inferior a 0,5 l/m<sup>2</sup>/h não se tem fissuração.



**Figura 2 –Ábaco de Petrucci para a obtenção da taxa de evaporação de água.**

Fonte: Adaptado de Petrucci (1973).

A falta de cuidados com a dosagem e, principalmente, não manter a umidade satisfatória nas idades iniciais, evitando a evaporação excessiva inicial, conforme mencionado, hoje é um dos mais agravantes fatores que levam a problemas de retração (DINIZ, FERNANDES, KUPERMAN, 2011). Os dois procedimentos giram em torno do mesmo elemento, a água, que é essencial para a minimização de dois principais problemas de retração mais encontrados, a retração plástica e a retração por secagem, apresentados mais detalhados a seguir.

### 2.1.3.1 Retração plástica

A retração plástica ocorre quando a pasta de cimento ainda está em estado plástico, ou seja, enquanto apresenta sua pior resistência à tração, facilitando o surgimento das fissuras, em decorrência da perda de água por evaporação. Segundo DNIT 061:2004-TER, a retração plástica gera fissuras de pouca profundidade, com abertura inferior a 0,5 mm e com comprimento limitado, apresentando-se de forma aleatória nas estruturas, formando ângulos de 45° a 60° com o eixo longitudinal da estrutura. Embora seja uma denominação para pavimentação rígida, seus dados podem ser atribuídos também a estruturas de concreto como lajes e pisos.

Este tipo de retração é consequência, principalmente, de uma cura realizada de forma inadequada somada a presença de evaporação de água (DINIZ, FERNANDES,

KUPERMAN, 2011). Ou seja, na maioria dos casos está associado a um problema de execução, e não a fatores intrínsecos dos materiais do concreto. E sua intensidade está relacionada às condições climáticas, onde temperatura, condições de vento e umidade relativa do ar são fatores determinantes para a perda de água. Mehta e Monteiro (2014) associam alguns dos fatores que contribuem para a retração plástica: (a) a rápida perda de água por evaporação; (b) exsudação ou sedimentação; (c) redução de volume da estrutura em função da ligação cimento-água e (d) deformações da fôrma.

Giroto (2012) também abrange aos efeitos de retração plástica a evaporação de água e consequente perda de massa, temperatura interna da estrutura, efeitos de capilaridade e consolidações do material, gerando deformações verticais e longitudinais. Como consequência tem-se fissuras conhecidas como “pele de crocodilo”, “escama de peixe” ou “malha” (Figura 3).



**Figura 3 – Retração plástica, “pele de crocodilo”, visualizada em uma estrutura de concreto armado.**

Fonte: da autora.

Neville (2006) cita que nas idades iniciais a matriz de cimento é frágil a pequenas movimentações, sejam ocasionadas por fontes externa ou por reações físico-químicas de seus componentes, gerando uma série de fissurações precoces. Na Tabela 1 são apresentados tipos de fissuração plástica, além de causas comuns, tipos de correções sugeridas, localizações comuns e tempo de seu aparecimento. Além disso, também é apresentado o tempo necessário para o aparecimento deste tipo de fissura.

**Tabela 1 – Fissuras de retração plástica, causas, correções e tempos de aparecimento.**

<b>Tipo de Fissura</b>	<b>Subdivisão</b>	<b>Localização (comum)</b>	<b>Causas principais</b>	<b>Causas secundárias</b>	<b>Correção</b>	<b>Tempo de aparec.</b>
Assentamento plástico	Sobre a armadura Em arco Mudança de espessura	Seções espessas Topo de pilares Lajes nervuradas	Exsudação excessiva	Condições para secagem precoce	Reduzir a exsudação; revibrar	10 min. a 3 horas
Retração plástica	Diagonal Aleatória Sobre a armadura	Pisos e Lajes Lajes armadas Lajes armadas	Secagem precoce Sec. precoce e arm. Prox. a superf.	Velocidade de exsudação baixa	Iniciar a cura mais cedo	30 min. há 6 horas

Fonte: Neville e Brooks (2013).

Neville e Brooks (2013) sugerem que o aparecimento deste tipo de fissuras se dá nas primeiras horas, de 10 minutos até 6h, podendo chegar à 8h, após o lançamento. Costumam aparecer afastadas de 0,30 a 1 m entre si, com 25 a 50 mm de profundidade e devem ser eliminadas antes do início da pega do cimento, com revibração do concreto (GIROTTO, 2012). Mehta e Monteiro (2014) salientam que o processo de revibração é viável, uma vez que aumenta a resistência e alivia as tensões causadoras da retração plástica em torno das partículas.

Neville (2006) agrega as elevadas taxas de cimento na mistura e uma maior relação a/c a um maior número de fissuras por retração plástica. Esta perde água por evaporação ou para a superfície seca, sofre contração volumétrica de aproximadamente 1% do volume total de cimento seco da mistura (NEVILLE, BROOKS, 2013), ou seja, a quantidade de cimento da mistura influencia na maior ou menor tensão que gera a retração plástica.

#### 2.1.3.2 Retração por secagem, ou hidráulica

A retração por secagem, ou hidráulica, também está associada à perda de água para o meio, porém a granulometria, dimensão máxima, forma e textura do agregado estão associadas a este tipo de retração (DINIZ, FERNANDES, KUPERMAN, 2011). Ou seja, a retração por secagem está associada à redução dimensional da estrutura, causada pela evaporação da água da mistura. Trata-se de uma retração que ocorre de forma inevitável, quando a estrutura não se apresenta na condição total de saturação (DINIZ, FERNANDES, KUPERMAN, 2011). A umidade relativa é um fator de grande relevância na retração por secagem, em ambientes mais secos e com baixa umidade relativa do ar tem-se uma retração maior do que em ambientes mais úmidos.

Assim como a retração pode ocorrer em função da remoção da água livre de hidratação, ela pode também ocorrer por secagem rápida da superfície devido a uma proteção

inadequada, deixando-a mais exposta ao meio, o que pode gerar pressões sobre a porosidade capilar (GIROTTO, BARBOSA, MACIEL, 2014). Quando se tem o ressecamento da superfície do concreto, tem-se uma forte ligação entre o processo de secagem e o ambiente externo. As camadas superiores irão se aproximar do valor da umidade relativa do ambiente interno, que muitas vezes é mais quente, e, como a umidade do concreto não é linear e depende propriamente das condições de permeabilidade da estrutura, tem-se uma não linearidade das camadas, o que gera uma retração muito maior na camada superior do que na inferior (NARIN, WIKLUND, 2012). Ou seja, a umidade relativa do concreto tende a se balancear com a umidade relativa do ar, com isso a água é expelida por meio de poros capilares, acarretando em tensões no concreto (MEHTA, MONTEIRO, 2014).

Mesmo já no estado endurecido, a matriz de cimento continua a perder água para o ambiente. Segundo Girotto (2012), a água perdida inicialmente não está ligada aos produtos de reação de hidratação do cimento por ligações físico-químicas, gerando pequenas fissuras de retração. Contudo, no decorrer da secagem, sem que haja um bloqueio da saída de água, tem-se a perda de grandes quantidades de água, quimicamente necessárias para a hidratação, gerando o aparecimento de fissuras de maiores dimensões (Figura 1).

Narin e Wiklund (2012) associam a perda de água, na retração por secagem, através de quatro mecanismos: (a) ação capilar; (b) tensão superficial; (c) dissociação da pressão e (d) movimento interlamelar da água. Os três primeiros mecanismos estão associados a água livre e adsorvida, já o quarto, se refere à água absorvida.

a) Ação capilar – estes efeitos ocorrem na pasta hidratada de cimento em função da ação de coesão e adesivas combinadas, à água sobe pequenas distâncias pelos poros capilares. Quanto menor o diâmetro do poro, maior a força e a distância de água que irá percolar por ele;

b) Tensão superficial – ocorre quando a água da pasta de cimento hidratada entra em contato com partículas sólidas, fazendo com que as forças coesivas (que atraem as moléculas de água para junto da partícula) e adesivas (atuando sobre dois tipos distintos de molécula, água e partícula) atuem sobre eles. Quando há a perda das moléculas de água a partir da superfície das partículas, a energia de superfície é aumentada, o que gera um aumento das tensões internas na pasta de cimento hidratada, provocando a retração;

c) Dissociação da pressão - neste mecanismo, em poros muito estreitos, a água adsorvida gera um acúmulo de água na superfície. Este acúmulo se aglomera nas paredes dos



poros gerando uma tensão superficial nas duas superfícies do poro, e a partir do momento que esta água é liberada, há o surgimento de uma pressão de dissociação, gerando a retração;

d) Movimento interlamelar da água – no mecanismo a água está fortemente ligada à pasta de cimento hidratada por meio de seus longos caminhos e conexões com as superfícies sólidas. Em função disso, a água presa em camadas gera uma grande quantidade de energia, que quando removida gera a retração. Com isso, tem-se, inicialmente uma pasta de cimento mais densa e a retração gerada pode ser considerada irreversível. Sua ocorrência é provocada quando o concreto é submetido a altas temperaturas e apresentar uma umidade relativa do ar inferior a 10%.

Algumas das vezes este tipo de retração é gerada, também, pela falta de água da própria estrutura, ou seja, uma relação a/c inadequada para a formação de compósitos do cimento (C-S-H e CH), gerando uma retração induzida (KUENZE et al., 2012). Para os autores, os fatores que mais influenciam, de forma química, na retração por secagem é a densidade da carga iônica e a quantidade total de cátions. Contudo, esses fatores estão fortemente ligados a concretos especiais levados a altas temperaturas.

Narin e Wiklund (2012) alegam que, para que se tenha uma diminuição da retração, deve-se ter cuidado com a relação a/c, uma vez que, em concretos com resistências menores, ela é maior. Ou seja, quanto maior a resistência de uma matriz cimentícia, menor a relação a/c e menor a retração por secagem. Contudo, elevados consumos de cimento também geram retração. Para Neville e Brooks (2013), a retração será menor, quanto maior for o teor de agregados da mistura. Mehta e Monteiro (2014) complementam dizendo que quanto menor a relação a/c, menor a quantidade de retração por secagem. Na Tabela 2 é apresentado o tipo de fissuração por secagem, além de causas comuns, tipos de correções sugeridas e eficientes, além disso, também é apresentado o tempo necessário para o aparecimento deste tipo de fissura.

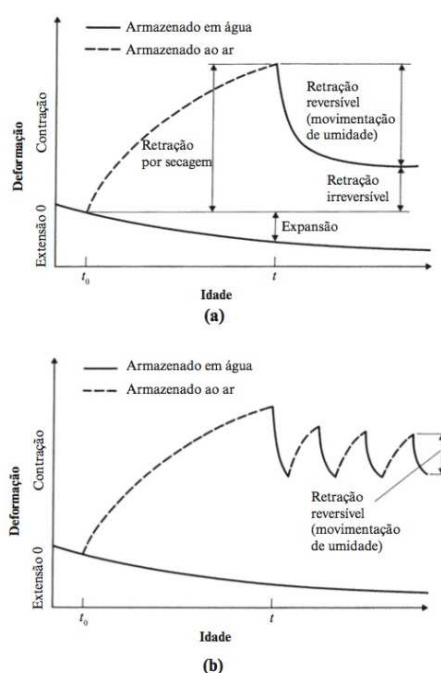
**Tabela 2 – Fissuras de retração por secagem, causas, correções e tempo de aparecimento.**

<b>Tipo de Fissura</b>	<b>Localização (comum)</b>	<b>Causas principais</b>	<b>Causas secundárias</b>	<b>Correção</b>	<b>Tempo de aparec.</b>
Retração por secagem	Lajes e paredes finas	Juntas ineficientes	Retração excessiva e cura ineficiente	Reduzir a quantidade de água e melhorar a cura	Várias semanas a meses

Fonte: Neville e Brooks (2013).

Neville e Brooks (2013) consideram que parte dos problemas de retração é reversível nas horas iniciais, logo após o estágio de início de pega do cimento. Para os autores a perda de água responsável por gerar a retração por secagem pode ser compensada de 30% a

70% uma vez que se realize a cura (Figura 4). A partir do momento em que se mantém a estrutura a uma taxa de umidade relativa de 100% ou próximo à água entra nos poros, reage com o cimento e expande, diminuindo a retração ali presente (Figura 4-a). Contudo, na prática, tem-se um ciclo de molhagem e secagem, onde a estrutura não se mantém sempre 100% úmida. Nestes casos (Figura 4-b) a reversão é menor, a uma taxa de apenas 30%.



**Figura 4 – Recuperação da deformação ocorrida pela retração. a) Redução de 70% da retração em função de cura a 100% de saturação. b) Redução de 30% da retração em função do ciclo de molhagem e secagem.**

Fonte: Neville e Brooks (2013).

Neville e Brooks (2013) garantem que existem alguns processos para minimizar a retração por secagem, como uso de aditivos para controle de retração ou fibras. Contudo o melhor método é uma cura bem realizada, pois aumenta a resistência à tração do concreto, contudo, associado a ela, deve ser realizado o procedimento de corte de juntas de movimentação, responsáveis por eliminar restrições externas.

## 2.2 CURA DO CONCRETO

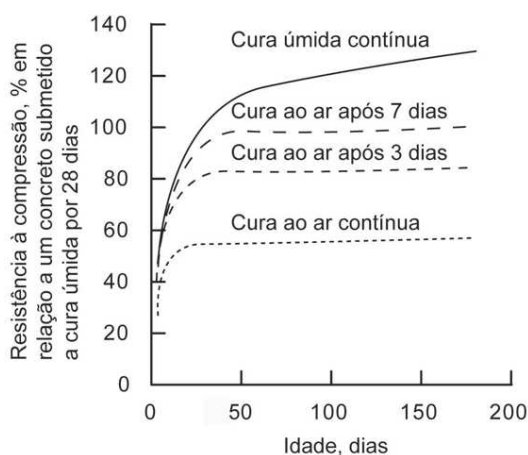
As características de durabilidade, resistência e estabilidade dimensional desejada para uma estrutura são adquiridas pelas boas fases sólidas formadas a partir da hidratação de partículas de cimento, além da proporção de materiais constituintes na mistura. Entretanto, como dito anteriormente, as propriedades de um concreto somente são alcançadas com o passar do tempo, quando o concreto recebe os procedimentos de execução e pós-execução de modo adequado, como a cura úmida.

### 2.2.1 Cura convencional e sua importância

Considerando-se que o grau de hidratação de um cimento Portland, influenciado diretamente pelo tempo de hidratação, temperatura e umidade, logo após o lançamento, depende do procedimento de cura, este, por sua vez, passa a ser considerado o processo pós-concretagem de maior relevância para que se tenha resistência e durabilidade desejada. O processo de cura tem por objetivo potencializar a hidratação do cimento, ou seja, manter uma umidade satisfatória para a hidratação do cimento, evitando a evaporação da água da mistura, garantindo assim que o material possa desenvolver as propriedades estruturais e microestruturais desejadas. Figueiredo et al. (2008), complementa citando que cura é um conjunto de ações realizadas com a finalidade de (a) proteger a superfície de um elemento estrutural de temperaturas elevadas, dessecação prematura, impactou ou desgaste prematuro, (b) evitar a evaporação de água da mistura destinada a hidratação o cimento. Em outras palavras, o efeito da cura apresenta duas finalidades principais, hidratar o máximo possível o cimento e reduzir a retração e fatores intrínsecos à durabilidade (BATTAGIN, 2002).

Para Helene e Levy (2013), a água é parte constituinte da mistura de um concreto, sua perda proporciona vazios e cria esforços de retração hidráulica. Além disso, a cura inadequada implica em redução da resistência e durabilidade de estruturas de concreto, provocando fissuras e deixando a camada superficial fraca, porosa e permeável, vulnerável a entrada de substâncias agressivas provenientes do meio ambiente no interior do concreto. O fenômeno da retração, o mais comum ocasionado em estruturas com falta de cura, é conhecido como uma deformação tridimensional, gravemente ocasionada por este processo ocasionado de forma inadequada (MEHTA, MONTEIRO, 2014).

Quanto a tempo e umidade, Mehta e Monteiro (2014) representam graficamente as consequências de uma cura insuficiente. Na Figura 5 são apresentadas diferentes condições de exposição de cura e as consequentes perdas de resistência ocasionada ao longo do tempo, quando não realizado o procedimento de forma satisfatória. Observa-se que um concreto curado a 100% de umidade relativa, representando as condições ideais para se conseguir o desempenho desejado, desenvolve sua resistência. Já outro, sem cura (exposto ao ar continuamente), perde, aos 28 dias, praticamente 50% de seu potencial. Na prática, grande parte das obras que realiza este processo, o executa em idades muito reduzidas, de três a sete dias, que, segundo os autores, tem eficiência deduzida para 90% quando realizada por sete dias, e 80% para cura realizada em apenas três dias.



**Figura 5- Hidratação e percentual de ganho de resistência de concretos em função da cura úmida.**

Fonte: Mehta e Monteiro (2014).

O fator temperatura apresenta influência ao histórico de ganho de resistência das estruturas. Independente do tipo de cimento, este fator tem um efeito acelerador das reações de hidratação do cimento. Para Mehta e Monteiro (2014), a relação tempo-temperatura apresenta maior relevância com temperatura de cura do que com temperatura de lançamento e mistura do concreto. Em concretos moldados no verão, sua resistência inicial é superior ao mesmo concreto moldado em dias de inverno, porém, aos 28 dias, as reações de hidratação do cimento geram resistência maior aos concretos moldados e curados no inverno.

As características superficiais são as mais afetadas quando não há uma cura adequada, gerando retração, permeabilidade, carbonatação, etc. Petrucci (1973) correlaciona a perda de água com a probabilidade de fissuração conforme apresentados na Tabela 3. Segundo o autor, a evaporação excessiva de água, ocorrida por temperaturas elevadas, ventos e/ou baixa umidade, é a geradora do efeito da fissuração. Quando um concreto apresentar taxa de evaporação de água superior a 1,2 l/m<sup>2</sup>/h, e não compensado com cura úmida, a probabilidade de fissuração é alta. Já Neville e Brooks (2013) garantem que a fissuração é garantida com uma taxa de evaporação de 0,25 kg/h/m<sup>2</sup>.

**Tabela 3 – Taxa de evaporação de água relacionada à probabilidade de fissuração**

Evaporação l/m <sup>2</sup> /h	Probabilidade de Fissuração
0 - 0,5	Nenhuma
0,5 - 1,2	Pouca
> 1,2	Alta

Fonte: Petrucci (1973).

Na prática, a cura deve ser realizada logo após o lançamento do concreto. O uso de lonas plásticas, mantas, serragem, aspersão de água e molhagem são os métodos mais utilizados

a fim de se evitar a fissuração devido à retração autógena ou retração térmica provocada pela falta de água para a hidratação de partículas de cimento nas matrizes de cimento Portland.

### 2.2.2 Conceito de Cura Interna

Como já mencionado, a cura é um conjunto de medidas que têm por finalidade evitar a evaporação da água utilizada na mistura do concreto, a qual deverá reagir com o cimento e hidratá-lo. Já a cura interna (CI) é considerada uma técnica promissora capaz de proporcionar umidade, a fim de contribuir com uma hidratação de partículas de cimento de maneira mais eficaz, e reduzir a retração (RILEM TC-196, 2007). A definição mais aceita é dada pelo *American Concrete Institute* (ACI) define a cura interna como o fornecimento de água a uma mistura de cimento, inserindo reservatórios internos de água através de agregados leves pré-saturados, com capacidade de liberar água conforme necessidade para a hidratação ou para substituir a umidade perdida por evaporação ou auto dessecação (ACI, 2013). Ou seja, a cura interna trata-se do uso de um “reservatório” interno, com capacidade de reter água e liberá-la durante a hidratação da pasta do concreto ou argamassa. Para um melhor desempenho, o material utilizado com tal finalidade deve possuir capacidade de absorção de água e proporcionar altas taxas de eliminação de água (CUSSON, HOOGEVEEN, 2008). O ACI (2013) define os dois principais focos de ação dos efeitos de cura interna, a maximização da hidratação das partículas de cimento e a minimização da auto dessecação.

Os conceitos de cura interna partiram inicialmente de estudos sobre agregados leves. Segundo Bentz e Weiss (2011), foram utilizados pela primeira vez no antigo império Romano, na construção da cúpula do Pantheon (118 d.C. até 125 d.C.), os agregados serviram para reduzir o peso da estrutura. Muitos anos depois, já em meados de 1900, Stephen J. Hayde conseguiu patente da produção de agregados leves artificiais, cedida e utilizada durante a Primeira Guerra Mundial para a construção de navios com casco de concreto leve. Sua utilização seguiu para a segunda guerra mundial e passou a ser utilizada também em pontes, resistentes até os dias de hoje.

Até então, meados de 1950, não se atribuía melhoras quanto à durabilidade em função de um melhoramento na cura das estruturas. A primeira publicação que atribui a melhora em estruturas de concretos leves, em função da cura interna deu-se em 1957 por Paul Klieger, que determinou que agregados leves absorvam taxas de água consideráveis durante a mistura e que, aparentemente, podem liberar para a pasta durante a hidratação (BENTZ e WEISS, 2011). A partir da teoria de Klieger, Philleo, em 1991, se arriscou a enfatizar o conceito afirmando que uma forma deve ser encontrada a fim de se melhorar a auto dessecação, seja a partir da mudança

do cimento Portland ou por meio de formas a se obter uma cura mais adequada, de forma interna, em elementos estruturais de elevada resistência. Philleo afirmou ainda que a utilização de agregados leves saturados seria a solução, porém os autores responsáveis por conseguirem elevadas resistências com os estudos não apresentam interesse pelo agregado leve. “A substituição parcial dos agregados finos por agregados leves saturados pode oferecer uma solução promissora” (PHILLEO, 1991<sup>2</sup> apud BENTZ, WEISS, 2011).

Já na década de 1990 vários grupos de pesquisa seguiram os conceitos de Philleo, e partiram a se aprofundar no estudo de cura interna. Segundo levantamentos realizados por Bentz e Weiss (2011) sobre o conceito, na Alemanha (Weber & Reinhardt, 1995), Países Baixos (van Breugel & de Vries, 1998) e Israel (Bentur, Igarishi, & Kovler, 1999) buscaram melhorar a cura com agregados leves saturados.

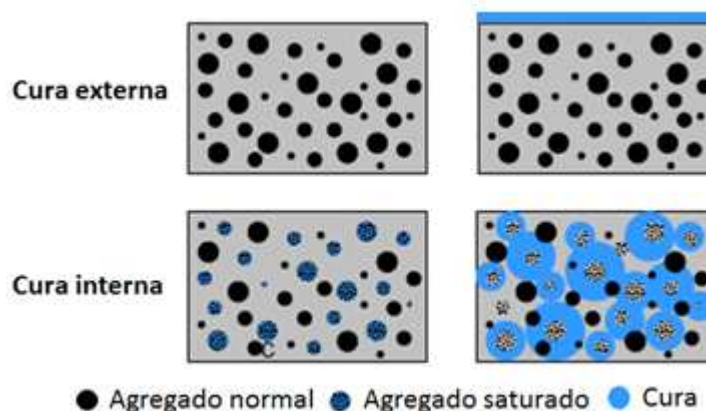
Em 2001 surgiram estudos utilizando polímeros superabsorventes (PSA) por (Jensen e Hansen, 2001), e fibras de madeira pré-saturada (MOHR et al, 2005). Posteriormente diversos estudos foram realizados, com diferentes materiais, inclusive, alguns deles, já aplicados. Contudo, Cusson e Hoogeveen (2008) atribuem a somente dois métodos promissoramente capazes de agirem como cura interna: a) materiais porosos saturados; b) utilização de polímeros superabsorventes (PSA).

A cura com materiais porosos saturados é gerada por materiais capazes de absorver água para seu interior, inseridos às misturas de concretos ou argamassas, estando ou não saturado. Em geral, são partículas de pequenas dimensões que armazenam grande quantidade de água e possuem a capacidade de liberá-la posteriormente. Repette (2011) atribui estas características a agregados leves e agregados reciclados. A Figura 6 adaptada, publicada por Bentz e Weiss (2011) apresenta de forma esquemática o conceito de cura interna utilizando agregados leves saturados, onde, a partir da imagem, observa-se que a zona de hidratação, em contato com a água interna, é ampliada quando há a utilização da cura interna. Kawashima e Shah (2011), afirmam que a água de cura externa necessita ultrapassar uma microestrutura muito densa para reabastecer de água toda a matriz cimentícia, enquanto a água de cura interna possui uma microestrutura reduzida a ultrapassar em função de já estar inserido na matriz. Entretanto esta afirmação contradiz o conceito de cura, que atribui ao conceito de cura manter

---

<sup>2</sup> PHILLEO, R. Concrete Science and Reality. In J. Skalny, & S. Mindess (Eds.), Materials Science of Concrete II (pp. 1-8). Westerville, OH: American Ceramic Society. 1991

a umidade da estrutura e protege-la de dessecação e impacto prematuro, e não penetrar na matriz cimentícia.

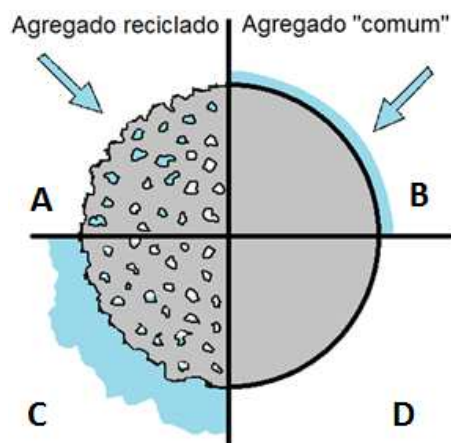


**Figura 6– Conceito de cura externa e interna.**

Fonte: Adaptado de Bentz e Weiss (2011).

Os agregados leves e saturados contribuem por possuírem poros e agirem como reservatório interno de água quimicamente disponível para agir durante a hidratação do cimento. Esta água é liberada de forma natural durante a hidratação por meio dos poros relativamente grandes do agregado, para os poros de menor dimensão da pasta de cimento (CUSSON, HOOGEVEEN, 2008; BENTZ, WEISS, 2011). Ou seja, a água quimicamente disponível é liberada a partir da capilaridade.

Outra gama de agregados com este potencial é conhecida como agregados reciclados de concreto (ARC). Estes absorvem parte da água de amassamento, em função da alta porosidade do material reciclado (Figura 7), oriundo da antiga matriz cimentícia, promovendo uma cura interna e diminuindo a água livre na mistura, acarretando em um aumento de resistência à compressão. Estudos recentes revelam uma melhora nas propriedades do concreto com a utilização de agregados reciclados de concreto, uma das propriedades mais destacadas é o melhoramento da zona de transição da pasta com o agregado. Este fato deve-se ao fato de que este agregado apresenta capacidade de absorver água por capilaridade, fazendo com que haja uma melhor interação entre o agente de cura interna e a pasta. Entretanto autores como Leite (2001), Ângulo (2005) e Werle (2011) atribuem ao uso de agregados reciclados de concreto seco uma diminuição da trabalhabilidade das matrizes cimentícias contendo esses materiais, fazendo-se necessário um aumento da relação a/c, e, em alguns casos, um aumento no consumo de cimento.



**Figura 7 – Ilustração comparativa entre ARC e agregado comum. A e C apresentam a capacidade de absorção e adsorção da água pelo agregado, gerando, em C, uma melhora na zona de transição. B e D representam um agregado comum, onde não há a absorção de água, enfraquecendo a zona de transição em função do acúmulo de água sobre o agregado.**

Fonte: adaptado de Tokudome (2009)

Um segundo método proposto por Cusson e Hoogeveen (2008) envolve o uso de polímeros superabsorventes (PSA). Os autores atribuem seu uso em função das partículas poderem absorver grandes quantidades de água durante o processo de mistura de concretos ou argamassas, formando consideráveis partículas contendo água livre, impedindo a auto dessecação durante a hidratação do cimento. Ou seja, o PSA, que tem a capacidade de reter líquidos, passa a absorver água, livre ou da mistura, formando partículas de gel, e posteriormente quando inseridos à mistura cimentícia libera a água quimicamente livre hidratando as partículas de cimento. A eficácia de utilização de cura interna foi quantificada em numerosos estudos, avaliando propriedades físicas, medindo umidade relativa interna, retração autógena, grau de hidratação, retração e resistência à compressão (BENTZ, STUTZMANN, 2008).

Muitos estudos já foram desenvolvidos utilizando-se estes materiais. Tiveram seu início por Hansen e Jensen em 2001, e, desde então, são os materiais mais promissores a fim de melhorar as propriedades de hidratação. Foram atribuídas melhoras a trabalhabilidade (HANSEN e JENSEN, 2001; DUDZIAK L, MECHTCHERINE V, 2008; KUMM, 2009, MECHTCHERINE e REINHARRDT, 2012) com o aumento da relação a/c, diferente dos agregados reciclados de concreto, apresentam melhor trabalhabilidade, melhor hidratação interna, contudo a geração e poros internos, que é considerada a desvantagem ao uso destes materiais.

Embora com a vasta vantagem gerada pelo uso de elementos a auxiliarem na cura interna, segundo Cusson e Hoogeveen (2008), o uso da cura interna não substitui totalmente as



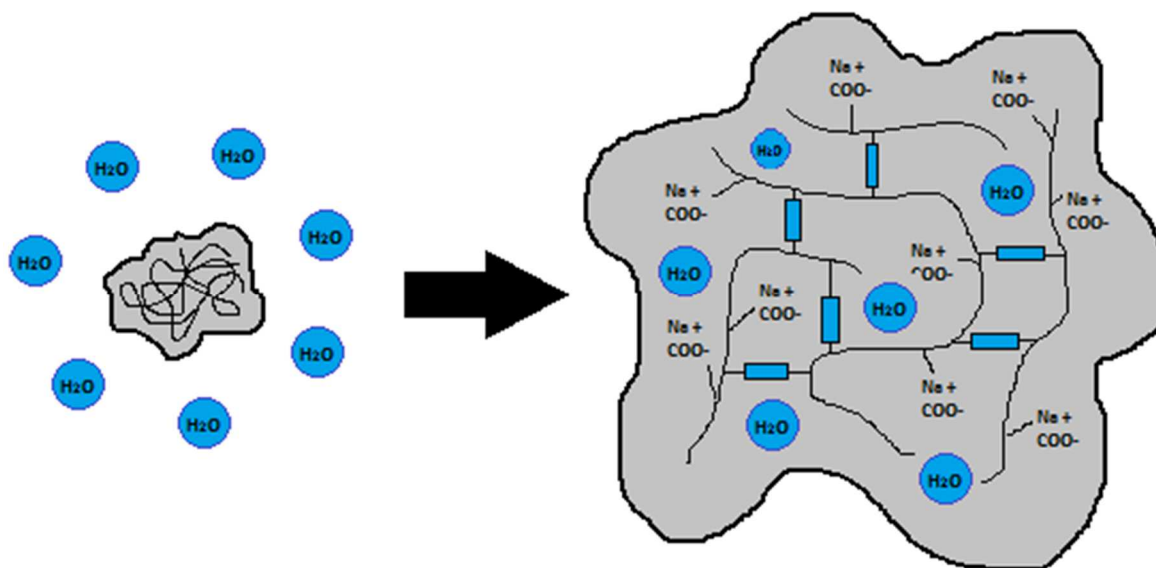
práticas recomendadas de cura de uma estrutura uma vez que é importante manter a superfície do concreto sempre úmido. A cura interna é denominada um procedimento a auxiliar a falha de processos externos inadequados de cura, auxiliando na não proliferação de fissuras e melhores taxas de hidratação do cimento.

### 2.3 POLÍMEROS SUPERABSORVENTES (PSA)

Os materiais sólidos, que são base para a produção de tudo o que é consumo, é dividido basicamente em três classificações: cerâmicos, metais e polímeros. O termo polímero parte de origem grega, pela fusão do termo *poli* + *meros*, significando *muitos* e *iguais*, respectivamente, ou seja, uma designação de muitas combinações sequenciais e iguais. Os polímeros podem ser agrupados por meio de sua natureza, cadeia, morfologia, ou por meio de classificações, comportamento mecânico, sua ocorrência (podendo ser naturais ou sintéticos), entre outras vastas opções (CALLISTER JR., 2002).

Segundo Callister Jr (2002), os polímeros de ocorrência sintética, produzidos pela mão humana, são divididos em três formas básicas: (a) plásticos, que podem ser produzidos por pressão e posteriormente transformados; (b) fibras, que podem se orientar e formar filamentos compridos com elevadas resistências e (c) elastômeros, que possuem elevada elasticidade. E, quanto a sua estrutura molecular, podem ser classificados em: (a) lineares, que apresentam cadeias únicas; (b) ramificados, apresentando ramificações laterais conectadas a uma principal; (c) redes tridimensionais, formadas por três ligações covalentes e (d) ligações cruzadas, que apresentam cadeias lineares unidas por várias ligações covalentes.

Na linha das ligações cruzadas encontram-se os polímeros capazes de reter líquidos, nacionalmente conhecidos como polímeros superabsorventes (PSA), ou internacionalmente como *superabsorbent polymers* (SAP). São materiais que apresentam como principal característica a capacidade de absorver e reter grandes taxas de solução, que podem ser até mil vezes superiores a sua própria massa (CALLISTER JR, 2002). Quimicamente, trata-se de poliácridatos interligados por ligações covalentes cruzadas (Figura 8) e, em função de sua estrutura interna podem absorver grandes quantidades de água sem se dissolverem (JENSEN, 2014; KUMM, 2009; MECHTCHERINE e REINHARRDT, 2012). Na grande maioria das formas de sua apresentação, após consumirem sua capacidade máxima de absorção de solução, sua forma física assemelha-se a um gel, formando o hidrogel. Jensen e Hansen (2001) colocam que a formação do gel ocorre em função da quantidade de hidrófila presente na cadeia do polímero. O controle do inchamento do gel é neutralizado com forças elásticas (JENSEN, HANSEN, 2001).



**Figura 8 – Base de um PSA de poliacrilato ácido.**

Fonte: Mechtcherine e Reinhardt, (2012).

Os polímeros superabsorventes foram desenvolvidos inicialmente no início da década de 1980 para a indústria de higiene, mais precisamente para fraldas descartáveis (MECHTCHERINE e REINHARRDT, 2012). Hoje, difundidos no mercado, Santos (2015) aponta que este material atrai grandes interesses nos centros de pesquisa pelo mundo. Atualmente são produzidos por diversas empresas, destacando-se sete principais: Nippon Shokubai; BASF; Evonik; Sumitomo Seika; San-Dia Polymers; LG Chem e Taiwan Plastics, com estimativa de produção de 2.707.000 toneladas para o ano de 2016 (SANTOS, 2015).

Estes materiais são encontrados no mercado, tradicionalmente, de duas formas. Uma para a indústria de higiene (fraldas descartáveis, e produtos para adultos), com partículas granuladas com dimensão aproximada de 150-850  $\mu\text{m}$ . Na segunda, formados basicamente por bases de acrilamina e ácido acrílico, são utilizados em paisagismo, isolamento de cabos, embalagens de alimentos, combate a incêndios (MECHTCHERINE, REINHARRDT, 2012). A principal diferença entre eles, de forma prática, está relacionada à liberação da água do hidrogel, sendo na prática de paisagismo de modo rápido no pH do solo e, nos produtos de higiene, somente em pH elevados.

Com o surgimento de vastos tipos de problemas relacionados à ineficiência ou dificuldade nos processos de cura úmida na construção civil, a tecnologia vem buscando aperfeiçoamento de técnicas, direcionando estudos a busca de agentes de cura interna, com a finalidade de alcançar melhores resultados de hidratação em estruturas de cimento Portland. Ou seja, buscando materiais que tenham a capacidade de reter taxas de água e, posteriormente,

depois de incorporados a uma matriz de cimento Portland, liberar a água, promovendo uma hidratação de dentro para fora. Segundo Santos (2015), 8% dos estudos de PSA publicados até o ano de 2014 direcionam-se para a construção civil, mais precisamente trabalhos com cura interna e selantes.

Os polímeros superabsorventes foram apresentados pela primeira vez na construção civil, como combate a retração autógena, em 2001 por Jensen e Hansen. Felizmente, após apresentado seu potencial de uso como promissor a construção civil, muito tem se pesquisado e desenvolvido, seja como agente de cura interna, aditivos a fim de controlar quantidades de água, diminuição da retração autógena, ou até controle de efeitos de gelo/degelo. Recentemente a RILEM estabeleceu um comitê “TC-SAP 225” com a finalidade de estudar e potencializar a utilização de polímeros superabsorventes como materiais promissores na construção civil (ESTEVES, 2010).

Dentre as diversas propriedades vantajosas da utilização de PSA na construção civil, além da forma do grão, resistência, módulo de deformação do gel inchado, está à alta capacidade de absorção de água com a liberação do líquido sob ação de pressão moderada – balanço de forças repulsivas que atuam expandindo a cadeia polimérica (KUMM, 2009, KIATKAMJORNWONG, 2006). A ação de condução da água para o interior das partículas de PSA depende do tipo matriz química do polímero, e pode ocorrer por meio de interação eletrostática, pressão osmótica, ação capilar, entropia ou por meio da interação de Coulomb (KIATKAMJORNWONG, 2006).

Quando se trata de polímeros superabsorventes de ligações cruzadas, inseridas em meio a líquidos, as cargas iônicas diluem-se criando densidades de cargas ao longo de cadeias gerando um inchamento pela expansão do gel, por meio das repulsões eletrostáticas (KIATKAMJORNWONG, 2006). Ou seja, a absorção deve-se a macro matriz de um PSA ser formada por um polímero com grupos ionizáveis, chamado de polieletrólito, que pode dissolver em uma solução (SANTOS, 2016). E, em função dos grupos ionizáveis que os PSA's apresentam em seu interior, gerando uma elevada carga de íons, é que se tem uma atração de fluxos de água para o interior da estrutura do PSA (MECHTCHERINE, REINHARRDT, 2012). Assim, o ingresso de água para o interior do polímero é dada pela elevada concentração de íons, que movimenta a água do lado mais saturado para o menos saturado, determinada pela pressão osmótica (JENSEN e HANSEN, 2001, SANTOS, 2016). Além disso, segundo os autores, a absorção de uma solução pelo PSA está ainda diretamente ligada às características de salinidade da solução, onde os íons presentes na solução são responsáveis por alterar as interações inter e

intramoleculares dos polietrólitos, devido à cadeia de cargas do polímero, fazendo assim com que ele absorva mais ou menos solução.

Gomes (2014) destaca que a absorção de uma solução por um PSA varia conforme pH da solução, onde quanto maior o pH da solução a ser absorvida, menor a taxa de absorção do polímero. O autor, em seus estudos com polímero residual composto de fibra celulósica com 10% de PSA, detectou uma perda de 43% de eficiência de absorção quando em uma solução de pH 13, comparado a uma solução de pH 5. Este fato pode ser relacionado à quantidade de íons de  $\text{Ca}^{2+}$  presente na solução, que, para Mechtcherine e Reinhardt (2012), é fator determinante na quantidade de solução absorvida em função da interligação das cadeias do polímero, limitando a reação de inchamento. Jensen e Hansen (2001) atribuem a perda de capacidade de absorção ao aumento de íons de  $\text{Ca}^{2+}$  na solução, fazendo com que a pressão osmótica do interior do PSA diminua.

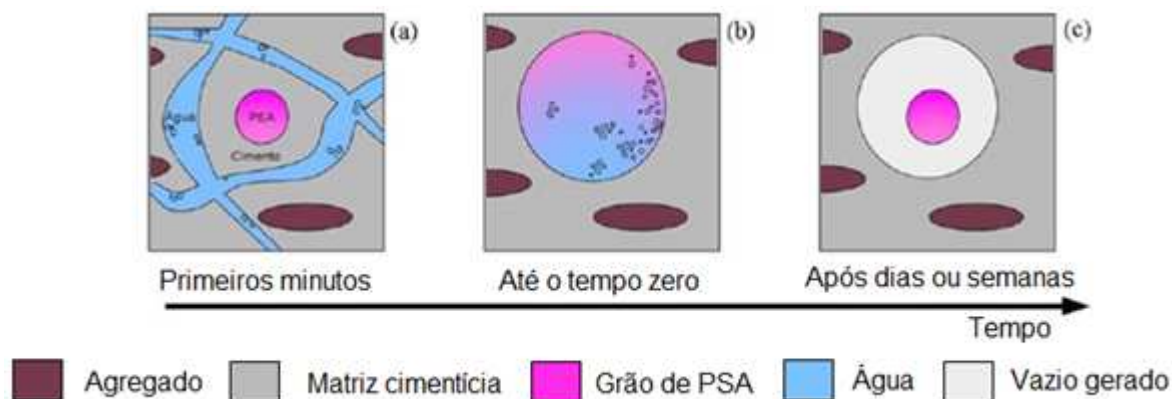
Para Kumm (2009), toda a água absorvida pelo PSA pode ser considerada quimicamente disponível para reagir com o cimento. O procedimento de absorção, e a quantidade de água absorvida dependem, além de sua estrutura, do tipo de PSA utilizado, da pasta de cimento (quando adicionado seco à mistura), ou do tipo de solução. Uma vez que o PSA tenha atingido o seu tamanho final, eles formam partículas estáveis, contendo água em seu interior, e, a partir do qual, a água é subsequentemente sugada por poros capilares da matriz cimentícia, de menor dimensão, e consumidos pela hidratação do cimento (MECHTCHERINE, REINHARRDT, 2012).

Dependendo da sua granulometria, que pode assumir a forma de pó, grão, fibras, ou mesmo partículas maiores, pode absorver até 5000 vezes o seu próprio peso seco (JENSEN, 2014; KUMM, 2009). Quanto à forma física, o tamanho do grão é um fator relevante na taxa de absorção de água. PSA's que apresentam granulometrias menores que  $100\ \mu\text{m}$  podem gerar um bloqueio das próprias partículas frente à absorção (MECHTCHERINE, REINHARRDT, 2012). Ou seja, quando o PSA, com granulometria menor a  $100\ \mu\text{m}$  é posto em contato com a água, suas partículas ligeiramente incham, formando um hidrogel. Estas partículas de hidrogel podem se aglomerar não se desagregando, e impedir que grãos de PSA secos, presos no interior de partículas de PSA já inchadas, possam absorver água (MECHTCHERINE, REINHARRDT, 2012). Sendo assim, a granulometria apresenta influência na capacidade de absorção, onde partículas muito grandes tendem a ser deficientes na capacidade de absorção devido ao tempo necessário para apresentarem-se totalmente saturadas, e partículas muito pequenas apresentam menor absorção devido a sua superfície ser menos ativas (JENSEN e HANSEN, 2001).

Além disso, o tamanho da partícula de PSA também interfere na taxa de absorção de solução, quanto menor for o tamanho de partícula, mais rápido é o processo de absorção (ESTEVEVES, 2010). Para o autor, as partículas com tamanho de 118  $\mu\text{m}$  atingem o equilíbrio volumétrico em menos de dois minutos, já partículas com diâmetro de 125  $\mu\text{m}$  apresentam equilíbrio somente depois de 5 minutos. Este tempo pode aumentar até 20 minutos, se utilizado PSA com dimensão próxima a 300  $\mu\text{m}$ . Sendo assim, o tamanho da partícula influencia na taxa e capacidade de absorção de um PSA, o qual apresenta não ter uma relação linear com o diâmetro da partícula. A lei de difusão de Fick pode ser utilizada para descrever a cinética de absorção de um PSA (ESTEVEVES, 2010).

Ao analisarem-se as diversas fases do polímero PSA, observa-se que há uma constante modificação na sua forma física que podem influenciar nas características desejadas a uma matriz cimentícia. Para Jensen (2014) ao usar PSA como agente de cura interna têm-se dois efeitos opostos: em um, o PSA gera vazios na matriz cimentícia, reduzindo sua resistência, em outro, pode aumentar o grau de hidratação do cimento, elevando a resistência. Diversos são os fatores que têm influência para que um destes efeitos se tornarem dominantes, tal qual a maturidade do concreto, relação  $a/c$ , tamanho da partícula de PSA e, principalmente, a quantidade e propriedades do PSA utilizada. Embora haja a geração de vazios na estrutura de matrizes cimentícias, a utilização de PSA na sua mistura gera um efeito plastificante, quando inserido já pré-saturado, aumentando a trabalhabilidade de concretos e argamassas, e, tem-se também a diminuição da relação  $a/c$ , devido ao seu efeito plastificante, o que gera um aumento de resistência mecânica.

Já com relação ao tamanho da partícula e a distribuição tridimensional do PSA, Jensen e Lura (2008) utilizaram a técnica de microtomografia de raios-X em argamassas para analisar o efeito pós adicionado em matrizes de cimento. Por meio de representação 3D, os autores conseguiram, apresentar a distribuição dos vazios deixados pelo PSA após liberar a solução absorvida pelo polímero, onde concluíram que os poros apresentam formato arredondado (Figura 9), com diâmetro máximo de 150  $\mu\text{m}$ . Contudo, a dimensão máxima do poro é relativa ao tipo e tamanho e taxa de absorção e líquido do PSA utilizado em cada estudo. Ou seja, polímeros superabsorventes com dimensões maiores ou com maiores capacidades de absorção de água geral grãos de gel maiores, e, automaticamente, poros maiores.



**Figura 9 – Representação esquemática de um PSA em meio a uma matriz cimentícia, em função do tempo.**  
**a) adição de PSA seco em matriz cimentícia; b) de 5 a 10 min após a inserção o PSA apresenta sua absorção total; c) Após alguns dias – com a liberação da água tem-se a formação de um poro praticamente vazio.**

Fonte: adaptado de Mönnig (2009) e Santos (2016).

Na dessorção tem-se o efeito similar ao ocorrido na absorção. As taxas de saturação são maiores dentro do PSA, e menores no meio externo, fazendo com que haja a liberação de água para o meio (MÖNNIG, 2009). Ou seja, em uma matriz cimentícia, por exemplo, o PSA inserido à matriz encontra-se saturado, com taxas superiores de água em seu interior. O meio externo, em função da hidratação das partículas de cimento apresenta uma saturação inferior, fazendo assim com que o PSA libere água para o meio.

Com isso, uma das particularidades mais importantes para a utilização de um polímero superabsorvente, em diferentes tipos de aplicações, é não somente a capacidade de absorção de água, mas também a liberação para o meio. Quando voltado à aplicação na construção civil, este fator não é único, a porosidade deixada pelo polímero após liberar a água, as propriedades em estado fresco e endurecido também são importantes. Se o material não for aplicado de maneira adequada, este pode interferir bruscamente na reologia do concreto, estando esta capacidade diretamente dependente da cinética do polímero (ESTEVEZ, 2010).

### 2.3.1 Técnicas usuais de medição da absorção de um PSA

Para Mechtcherine e Reinhardt (2012), a cinética de absorção e a quantidade de líquido absorvido depende inevitavelmente da natureza do PSA e da matriz cimentícia, com ênfase na composição química da solução da matriz, conforme dito anteriormente. A definição da absorção de água de um PSA está relacionada ao tempo de equilíbrio necessário para o material apresentar peso constante ou uma condição volumétrica estável (ESTEVEZ, 2010). Usualmente os métodos aplicados para medir a absorção destes materiais incluem medições volumétricas e gravimétricas.

Diversas técnicas já foram testadas a fim de obter um melhor resultado de absorção de polímeros superabsorventes. Uma destas, já no ano de 1988, propõe a utilização de pigmento na solução a ser absorvida. O método foi denominado processo calorimétrico por meio de espectrofotômetro, porém não apresentou dados positivos em função da não modificação química do líquido absorvida pelo polímero, excluindo o corante no momento da absorção (BRANDT, GOLDMAN, INGLIN, 1988<sup>3</sup>, apud ESTEVES, 2010).

A técnica gravimétrica, determinada pela ISO 17190-6 (2001) conhecida como “saco de chá”, consiste em saturar os polímeros por um período de 30 minutos em uma solução e posteriormente levá-lo a um centrifugador. A taxa de absorção é determinada pela diferença de massa do saco de chá com polímero saturado e do saco de chá sem polímero após a centrifugação (sendo o saco sem PSA a tara do saco com o PSA já absorvido). Para Esteves (2010) este método não considera as forças físicas interiores das partículas, que, mesmo associada a uma centrifugação, faz com que a absorção real seja camuflada.

Recentemente os estudos de absorção partem sobre a técnica de microscopia óptica, que apresenta vantagem quanto a considerar somente a fase líquida inserida na estrutura de ligações cruzadas dos polímeros. A técnica é garantida por maior precisão no cálculo do índice de capacidade de absorção máxima e o tempo de inchamento das partículas (ESTEVES, 2010). O modelo proposto pelo autor pode ser utilizado para quantificar fases líquidas específicas para a rede de ligação cruzada de hidrogéis. Por apresentar falha e limitação nos primeiros segundos de análise, em função de imprecisão de equipamento e ajuste de foco, a lei de Fick (lei quantitativa capaz de descrever a difusão de matéria ou energia a partir de um meio do qual inicialmente não se tem equilíbrio químico ou térmico), é utilizada como complemento a técnica. O autor apresentou os estudos baseando-se em acompanhamento de inchamento de partículas de aproximadamente 300  $\mu\text{m}$ , a partir de fotografias. Constatou que as partículas estudadas tenderam a aumentar seu tamanho em 2,5 vezes em apenas 10 minutos, tempo considerado necessário para seu equilíbrio volumétrico, e concluiu que a capacidade de absorção de um PSA, com tamanhos de partículas entre 50 e 500  $\mu\text{m}$ , varia de 10 a 16 ml por grama de PSA seco.

Quanto a dessorção, os estudos baseiam-se em imagens 2D, 3D e 4D, por meio de microtomografia de Raios-X (BENTZ et al., 2006, DUDZIAK e MECHTCHERINE, 2008). Contudo, as análises de 2D são altamente criticadas em função da técnica ser utilizada

---

<sup>3</sup> BRANDT, K. A.; GOLDMAN, S. A. INGLIN, T. A. Hydrogel-forming polymer compositions for use in absorbent structures. The Procter & Gamble Company (Cincinnati, OH), 1988.

basicamente para análise de porosidade, e apresentar resultados incoerentes com diâmetros de poros em média menores que o diâmetro das esferas reais de PSA.

## 2.4 OBRAS COM UTILIZAÇÃO DE CURA INTERNA

Após comprovada a eficiência de materiais promissores a cura interna, diversas obras foram realizadas utilizando agregados leves ou polímeros superabsorventes como agentes de cura interna.

O maior volume de concreto utilizando cura interna foi à execução de 190.000 m<sup>3</sup> de concreto para a construção de pátio ferroviário em Huthins, no Texas no ano de 2005. Nesta foi utilizado agregado leve pré-saturado (VILLARREAL e CROCKER, 2007). Posteriores estudos foram realizados na estrutura e, foram comprovados o melhoramento de resistência à flexão, com 90 a 100% da resistência requerida para 28 dias, já atingida aos sete dias. Foram testados corpos de prova curados ao ar, que apresentaram resultados semelhantes aos que receberam cura úmida, comprovando a eficiência da cura interna (CUSSON e HOOGEVEEN, 2008). E, desde 2007 é realizado um monitoramento de retração e, até meados de 2010 encontraram-se somente duas fissuras (VILLARREAL e CROCKER, 2007).

A utilização de PSA na indústria da construção vem sendo estudado desde meados de 2001. A incorporação deste material se deu somente pela união de pesquisadores em desenvolvimento do “*Technical Committee 225-SAP – RILEM*”, publicado no ano de 2012. A publicação conta com aproximadamente 40 pesquisadores, na grande maioria alemã, e com a participação de um brasileiro, Romildo Dias Toledo Filho.

A utilização do material já se deu em obras como pavilhões construídos para sediar a Copa do Mundo FIFA 2006 em Kaiserslautern, na Alemanha (MECHTCHERINE e REINHARRDT, 2012; DUDZIAK e MECHTCHERINE, 2008) a fim de garantir a durabilidade de estruturas muito esbeltas. Para que se conseguisse atender os requisitos como minimização da retração autógena, maior durabilidade e ductilidade, minimização da auto dessecação e superfície de alta qualidade, para a execução foi necessária a utilização de concreto auto adensável de alto desempenho reforçado com fibras capazes de gerar cura interna (MECHTCHERINE e REINHARRDT, 2012). Foram utilizadas fibras contendo polímeros superabsorventes.

Em paredes de painéis projetados em Lyngby, na Dinamarca (MECHTCHERINE e REINHARRDT, 2012). Foi utilizado polímeros superabsorventes em concretos projetados



com a finalidade de modificar a reologia, porém foi observada uma melhora significativa quanto à minimização da retração autógena.

Atualmente a cura interna tem sido utilizada em diversas pontes na região da América do Norte, em Nova York, Ohio e Indiana (BENTZ e WEISS, 2011). Em Ohio o Departamento de Transportes solicitou a utilização de concreto com cura interna a fim de eliminar problemas recorrentes com fissuras e acelerar a possibilidade de utilização da estrutura. Foram utilizados areias leves, com capacidade de absorção de água, e já aos sete dias, o concreto apresentou 75% da resistência e flexão desejada aos 28 dias (NORTHEAST SOLITE CORPORATION, 2007).

O departamento de transportes de Nova York usou a técnica de cura interna em nove pontes, normalmente com projetos especiais, parecidas com plataformas. O Departamento, segundo Bentz e Weiss (2011), afirma que não houve pontos negativos associados ao uso de cura interna, sendo observado um aumento de 10% de resistência à compressão aos 28 dias com o uso deste material. Além disso, não foram observadas fissuras significativas, além de uma única, em análises posteriores a sua realização, quando comparados a estruturas da mesma obra, que não utilizaram cura interna (parapeitos e calçadas) (BENTZ e WEISS, 2011). A Figura 10 apresenta a execução de um dos trechos de uma ponte com a utilização de cura interna.



**Figura 10 – Execução de ponte com concreto contendo cura interna.**

Fonte: Wolfe, 2010<sup>4</sup> apud Bentz e Weiss, 2011.

Nos estudos de utilização apresentados até o momento, em grande parte os polímeros superabsorventes, utilizados com a função de cura interna, apresentaram efeito

---

<sup>4</sup> WOLFE, B. Personal Communication and Photo.

positivo quanto à minimização da retração autógena, melhorias na microestrutura, aumento de resistência à flexão. Contudo os problemas gerados estão associados à geração e poros internos, que podem ser promissores em estudos de gelo/degelo (podendo ser utilizado em salas de câmaras frigoríficas, ou em estruturas de regiões que sofrem fortemente com o inverno).

Em todas as pesquisas de utilização de PSA na construção não se encontrou a citação de utilização e PSA de origem residual e em concretos convencionais. Todos os trabalhos desenvolvidos basearam-se em matéria prima na sua forma original, com diversos fins comerciais. Somente Gomes (2014) apresentou trabalhos utilizando PSA residual, com resíduo de empresas de produção de produtos de higiene. Seu estudo abrange um diagnóstico do resíduo, a caracterização quanto a análises de TGA, TDA, MEV, DRX, e absorção em diversos pH's e a sua aplicação em argamassas de revestimento.

## **2.5 FIBRA CELULÓSICA (FC)**

A celulose, oriunda de plantas, é considerada um polímero que apresenta cadeias longas. Encontrada em plantas como o pinus, eucalipto, bambu e sisal, além de rejeitos agrícolas como o bagaço de cana, a celulose é constituinte das paredes celulares das plantas (BRACELPA, 2015). Segundo as definições desta Instituição, podem ser classificadas em dois tipos: a) as fibras longas, que são retiradas de plantas coníferas, e são utilizadas para a produção de embalagens, papel cartão ou jornais, em geral apresentam dimensões de 2 a 5 mm; b) as fibras curtas, que apresentam comprimento de 0,5 a 2 mm e são oriundas, principalmente de plantas como o eucalipto.

As fibras celulósicas (FC) estão contidas em fibras vegetais e são consideradas alternativas baratas para a substituição de fibras poliméricas (MOHAMED, WARDEN, 2010). Apresenta, na maioria dos casos, uma matriz oca, com capacidade de reter pequenas quantidades de água, o que faz com que seja um material promissor a gerar cura interna em matrizes de cimento Portland (KAWASHIMA, SHAH, 2011). Para os autores, a fibra celulósica pode apresentar bom desempenho quanto à redução de retração plástica e retração por secagem, além de, conforme estudos em desenvolvimento, uma melhora nas propriedades químicas. Contudo, a taxa de absorção de água destes materiais é relativamente baixa, o que faz necessário um grande volume de fibra para gerar o efeito de cura interna.

Para Mohamed e Warden (2010), as fibras celulósicas incorporadas a uma matriz cimentícia apresenta vantagem quanto à diminuição do peso da massa da matriz, a redução da retração plástica e retração por secagem, a não sofrerem problemas com corrosão, além de

serem resistentes a ataques alcalinos. Contudo, como desvantagem é citada a perda de resistência em função da porosidade. Bentchikou et al. (2012) atribuem também um aumento de resistência à tração em concretos utilizando este material. Entretanto, segundo os autores, alguns cuidados devem ser tomados: a) a taxa de material incorporado deve ser calculada, pois, em dosagens excessivas, tem-se perda de resistência atribuída a porosidade gerada pela incorporação do material; b) quando o material é incorporado seco à mistura, tem-se perda de trabalhabilidade e formação de aglomerados de fibra não dispersas na mistura, resultando perda de resistência.

Kawashima e Shah (2011) apresentaram estudos utilizando uma fibra com morfologia propícia a absorver água, uma redução e 13% de retração autógena em uma argamassa, com a adição de 1% de fibra celulósica. Já, quando a adição é ampliada para 2%, há uma redução de 32% da retração em apenas 7 dias. Para os autores, estes efeitos são atribuídos à diferença da quantidade de água de cura interna fornecida para a matriz, melhorando a hidratação das partículas de cimento. Porém, em função da baixa taxa de absorção da FC, os autores determinaram por meio do método de dosagem de Benz, Lura e Roberts (2005), que a taxa ideal, capaz de proporcionar cura interna em uma matriz de cimento Portland, é de 4,5% sobre a massa do cimento. Contudo sabe-se que este valor não deve ser tomado como padrão, uma vez que as características morfológicas de uma FC não são sempre iguais para todos os tipos de FC.

As fibras utilizadas por Gomes (2014) em seus estudos são oriundas de sobras de produtos de higiene pessoal (fraldas descartáveis), e apresentam forma longínea e achatada. De modo geral, as fibras destinadas a este fim são fibras longas e representam 70% a 80% do peso do produto de higiene (BNDES, 2002). Os resultados alcançados por Gomes (2014) serão apresentados no capítulo a seguir.

### **2.5.1 Fibra celulósica contendo PSA Residual**

O material residual utilizado por Gomes (2014) originou-se de resíduos de corte de uma empresa de produção de produtos de higiene, ou material que foi rejeitado pelo controle de qualidade de empresas fabricantes de fraldas descartáveis e absorventes higiênicos. Depois de considerado como rejeito, o mesmo é coletado por uma empresa do Vale do Caí, na Região Sul do Brasil e passa por um processo de desconstrução, onde é gerado o resíduo composto de polpa de celulose e PSA (GOMES, 2014). Segundo o autor, somente esta única empresa no Vale do Caí armazena de 40 a 50 toneladas/mês de resíduo descartado pelas empresas

produtoras de higiene, utilizando PSA em sua matriz base. Não se tem um dado específico quanto à quantidade deste tipo de resíduo gerado e descartado em todo o Brasil.

Sua forma física, depois de desconstruído, antes da absorção de água assemelha-se a um algodão e é composto de 70% de fibra celulósica, 10% de PSA e 20% de umidade, polietileno de baixa densidade, polipropileno e outros materiais em menor quantidade (GOMES, 2014). Sua capacidade de absorção de água é de 55 g de água por grama de resíduo. A baixa taxa de absorção de água, quando comparado a demais polímeros PSA, está relacionada ao alto volume de fibra celulósica encontrada na mistura do resíduo, que por sua vez não apresenta uma taxa de absorção tão elevada. Por outro lado, por não apresentar uma taxa de absorção de água tão elevada, os vazios gerados são em menor quantidade, não afetando de forma tão agressiva as matrizes de cimento. A utilização deste material em argamassas de revestimento apresentou bom potencial de uso.

O resíduo, embora apresentando 70% de fibra celulósica em sua composição, apresenta como material potencializador ao objetivo da pesquisa, o PSA, no percentual de 10% na composição do resíduo. Com isso, visando simplificar a nomenclatura de identificação no estudo, o material residual será identificado simplesmente como “FCPSA” – fibra celulósica contendo polímero superabsorvente residual.

O material contendo PSA residual apresenta dificuldades quanto à absorção de água, uma vez que se trata de um produto que não passou pelo controle de qualidade, tendo alterações na sua estrutura, interferindo assim na capacidade de absorção de água. Além disso, Gomes (2014) observou uma baixa capacidade de absorção de água pelo material uma vez que o incorporou de forma seca no preparo das argamassas de revestimento, considerando-se que a solução a ser absorvida pelo FCPSA apresentava pH próximo a 13,0. Com isso, a partir de análises de *squeeze-flow*, concluiu que as argamassas contendo FCPSA, independente da proporção, apresentaram piores resultados quanto à trabalhabilidade, ou seja, quanto maior o teor de FCPSA incorporado, pior a trabalhabilidade da argamassa.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste capítulo são apresentados os materiais e a metodologia utilizada para o desenvolvimento do estudo. O trabalho busca contribuir com a evolução de materiais capazes de proporcionar cura interna em matrizes de cimento Portland. Para tal, o programa experimental foi dividido em etapas, uma vez que o produto a ser estudado é um resíduo de fibra celulósica contendo PSA na sua formação. São apresentadas etapas de caracterização do FCPSA e avaliação da utilização do resíduo como agente de cura interna na fração argamassa de um concreto, com relação à caracterização física e mecânica. A Figura 11 apresenta o fluxograma com as etapas de estudo.

O programa foi subdividido em três etapas:

A etapa I é definida como a etapa de escolha dos materiais empregados no estudo, comportamento de absorção do material residual, além do desenvolvimento do programa piloto a fim de se analisar o comportamento do PSA residual (FCPSA) na matriz cimentícia. Neste programa foram elaboradas argamassas, que foram curadas em duas distintas condições de cura e posteriormente levadas ao ensaio de resistência à compressão.

Na Etapa II, após analisados os resultados obtidos no projeto piloto, foram definidos os parâmetros de análise de caracterização necessários para a avaliação de utilização do FCPSA na matriz cimentícia. Foram realizados ensaios para a análise de absorção do FCPSA e posteriormente, a partir dos resultados obtidos, o cálculo do volume de material residual necessário para gerar o efeito de cura interna na matriz cimentícia. Com os dados partiu-se para a mistura das argamassas onde se avaliou a sua consistência, fixando a dosagem e água das argamassas destinadas à resistência à compressão e análise da retração.

Na Etapa III foram desenvolvidas análises complementares, em idades iniciais, para a avaliação de retração e fissuração nas primeiras 24h, além de análise estatística dos resultados obtidos.

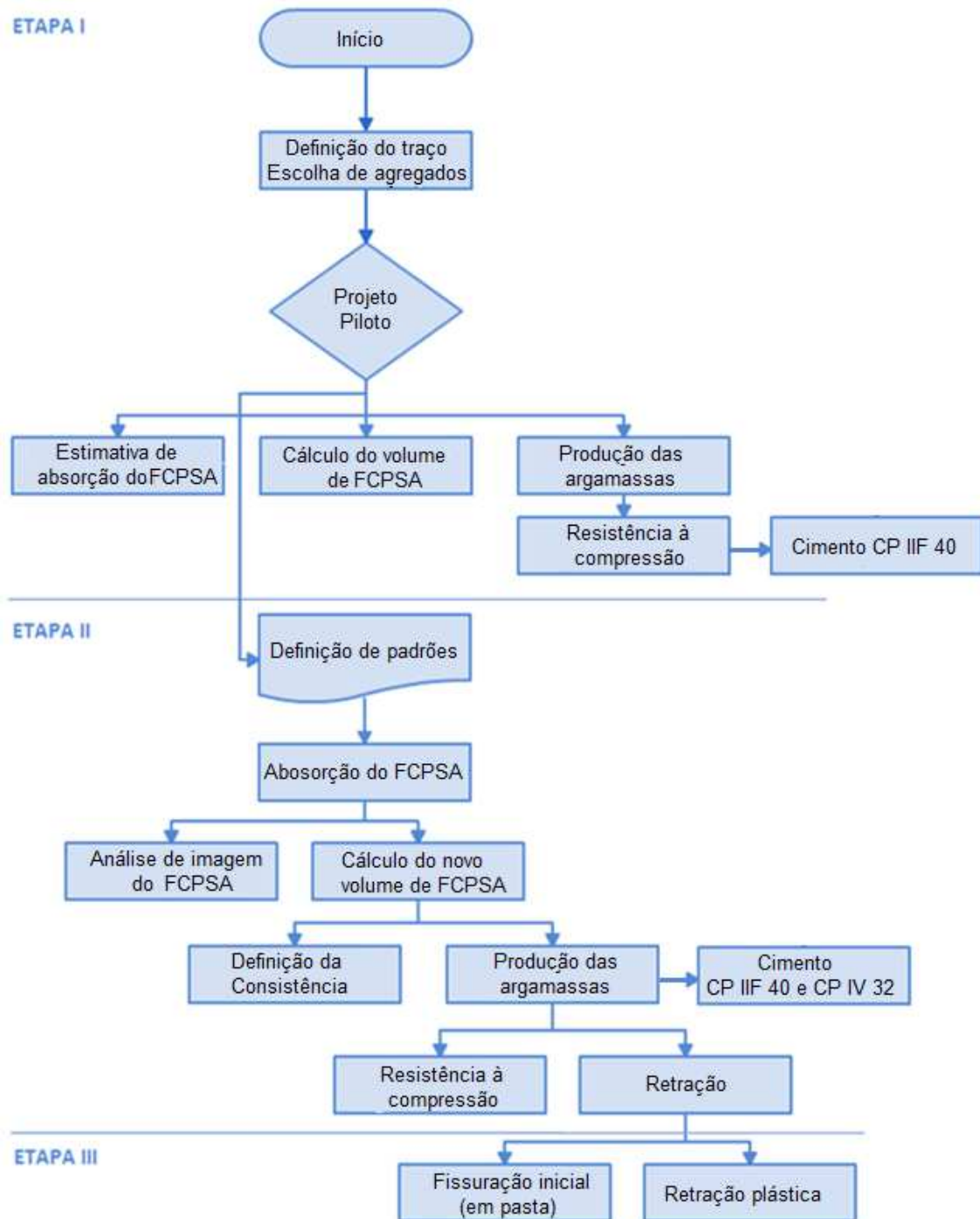


Figura 11 - Representação esquemática do programa experimental do estudo

### 3.1 MATERIAIS

Os itens a seguir descrevem os materiais empregados no estudo.

#### 3.1.1 Aglomerantes

Na fase inicial, para o desenvolvimento do programa piloto, foi utilizado como aglomerante, para produção das argamassas, um cimento Portland tipo CP II-F40, com massa específica de  $3,10 \text{ g/cm}^3$ . A justificativa da escolha de utilização deste cimento é que não possui adição de material pozolânico, permitindo a avaliação do ganho de resistência nas idades iniciais (primeiros 28 dias), além do aumento de consumo deste tipo de cimento no mercado regional. Nas Tabela 4 e Tabela 5 estão apresentados os dados de caracterização química, física e mecânica, respectivamente, do cimento CP IIF 40, fornecidos pelo fabricante.

**Tabela 4 – Caracterização química do cimento CP II-F40.**

Ensaio	Químicos			
	Teores (%)			
	PF	MgO	SO <sub>3</sub>	RI
Limites da Norma	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 2,5
Média	4,99	6,05	3,48	0,87
Desvio Pad.	0,13	0,13	0,2	0,16
Mínimo	4,7	5,82	2,75	0,53
Máximo	5,18	6,36	3,73	1,15

PF – perda ao fogo; RI – resíduo insolúvel.

Fonte: fabricante.

**Tabela 5 – Caracterização física e mecânica do cimento CP IIF-40.**

Ensaio	Físicos e mecânicos									
	Finura (%)		Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Água de consist. (%)	T. de Pega (min)		Expans. a quente (mm)	Resistência à compressão (MPa)		
	#200	#325			Início	Fim		3 dias	7 dias	28 dias
Lim. da Norma	≤ 10,0	N/A	≥ 2800	N/A	≥ 60	≤ 600	≤ 5,0	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0
Média	0,01	0,46	4715	30,24	215	278,9	0,47	35,97	40,77	46,93
Desvio Padrão	0,03	0,23	93,89	0,46	16,24	19,48	0,39	1,03	1,21	1,31
Mínimo	0	0,1	4500	29,6	190	250	0	334,3	38,9	45,1
Máximo	0,1	1,1	4800	31,1	240	310	1	38,3	44,8	50,2

Fonte: fabricante.

Com o intuito de se avaliar o comportamento do FCPSA em cimentos com adições, optou-se por empregar o cimento Portland CP IV 32, produzido na região. A escolha deste cimento deu-se não somente para a avaliação do comportamento de cura das argamassas com FCPSA em cimentos pozolânicos, analisando o comportamento do FCPSA em cimentos de hidratação mais lenta e observando seu comportamento ao longo do tempo, mas também pela facilidade de se encontrar este tipo de cimento na região, conseguindo-se, desta forma, avaliar o material para um vasto mercado de concretos e argamassas da região Sul do Brasil.

Nas Tabela 6 e Tabela 7 estão apresentados os dados de caracterização química, física e mecânica do cimento CP IV-32, fornecidos pelo fornecedor, correspondendo ao lote do qual o cimento foi coletado. O cimento apresenta massa específica de 3,08 g/cm<sup>3</sup>.

**Tabela 6 – Caracterização química do cimento CP IV-32.**

Ensaio	Químicos			
	Teores (%)			
	PF	MgO	SO <sub>3</sub>	RI
Limites da Norma	≤ 4,5	≤ 6,5	≤ 4,0	N/A
Média	3,7	5,2	1,8	33
Desvio Pad.	0,5	0,2	0,1	2,3
Mínimo	2,6	4,7	1,5	29,5
Máximo	4,4	5,5	2,1	37

PF – perda ao fogo; RI – resíduo insolúvel.

Fonte: fabricante

**Tabela 7 – Caracterização física e mecânica do cimento CP IV-32.**

Ensaio	Físicos e mecânicos									
	Finura (%)		Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Água de consist. (%)	T. de Pega (min)		Expans. A quente (mm)	Resistência à compressão (MPa)		
	#200	#325			Início	Fim		3 dias	7 dias	28 dias
Lim. da Norma	≤ 8,0	N/A	≥ 2800	N/A	≥ 60	≤ 600	≤ 5,0	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0
Média	0,5	3,8	4715	34,9	255	330	0	10,1	23	36,5
Desvio Padrão	0,1	0,4	156	0,7	30	38	0	1,2	1,7	1,7
Mínimo	0,3	3	4510	33,8	220	290	0	16,4	20,5	34,5
Máximo	0,7	4,5	5070	36,2	340	430	0	20,3	25,9	40,2

Fonte: fabricante.



Os dados de caracterização foram fornecidos pelo fabricante em função do lote de produção dos cimentos. Entretanto é observado um aspecto incoerente, a finura por meio de Blaine, em ambos os cimentos a finura é exatamente igual. Observa-se que o blaine do cimento CP IV-32 é extremamente elevado, podendo ser gerado pelo alto grau de moagem da matéria-prima, com a finalidade de aumentar-se a reatividade do material.

### 3.1.2 Agregado Miúdo

O agregado miúdo empregado neste trabalho consiste na composição de duas areias, uma de origem quartzosa de leito de rio (AN), e outra oriunda do processo de britagem, conhecida como “areia de britagem” (ABR). Optou-se pela utilização destas duas areias por corresponder à fração granular da argamassa de um concreto usinado empregado na região, observando, assim, os efeitos do FCPSA, desde o início dos estudos, em concretos usuais do mercado regional. Com isso, o proporcionamento de cada uma das areias é correspondente ao teor de 60% areia natural quartzosa e 40% de areia de britagem.

A areia natural apresenta massa específica de 2,59 g/cm<sup>3</sup> e módulo de finura de 2,12, enquanto a areia de britagem apresenta massa específica igual a 2,71 g/cm<sup>3</sup> e módulo de finura de 3,52. Na Tabela 8 estão apresentadas as composições granulométricas de cada uma das areias separadamente, obtidas a partir do ensaio da NBR 248 (ABNT, 2003). Na Figura 12 encontra-se a mistura da proporção das areais - 60% de ANR e 40% de ABR.

**Tabela 8 – Análise de composição granulométrica segundo a NBR NM 248:2003.**

Malha		ABR		ANR		Composição 40/60	
# mm	ABNT	Massa ret. (%)	Massa acum. (%)	Massa ret. (%)	Massa acum. (%)	Massa ret. (%)	Massa acum. (%)
4,76	4	1	1	0	0	0	0
2,38	8	36	37	3	4	16	17
1,19	16	27	64	6	10	14	31
0,596	30	15	79	31	40	25	56
0,297	50	3	83	20	61	13	69
0,149	100	6	89	37	98	25	93
fundo	fundo	11	100	2	100	6	100

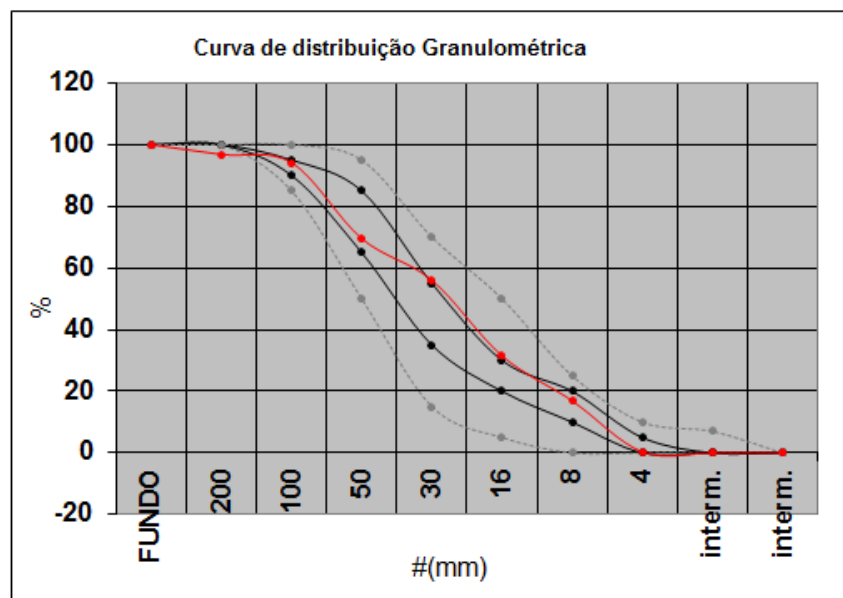


Figura 12 – Distribuição granulométrica fracionada: 60% ANR e 40% ABR.

### 3.1.3 Fibra celulósica contendo polímero superabsorvente (FCPSA)

O material residual utilizado na pesquisa foi caracterizado e analisado, em argamassas de revestimento, anteriormente por Gomes (2014). Trata-se de um resíduo de empresas de higiene, composto por sobras de cortes de fraldas descartáveis (diurna/noturna) e rejeitos do controle de qualidade da empresa. O material recebe triagem/desconstrução inicial em uma empresa de plásticos da região do Vale do Caí. A triagem é realizada para a separação do plástico, que é reciclado. Já a fibra celulósica contendo PSA (FCPSA), é prensada e armazenada em local seco, sem entrar em contato com a água.

O FCPSA assemelha-se, quando seco, a um algodão (Figura 13-A), entretanto composto de fibras de celulose de curto alcance. A partir do momento que se adiciona água/solução ao material, o FCPSA absorve a solução e forma um gel (Figura 13-B), denominado hidrogel. Com isso, o material passa a aumentar seu volume, com relação ao material seco. A liberação da água absorvida, segundo Gome (2014), só ocorre em ambiente alcalino.



**Figura 13 – FCPSA (foto A e B em proporções diferentes, não representam a mesma quantidade). a) FCPSA seco, assemelhando-se a um algodão; b) FCPSA com água incorporada, formando um gel.**

### **3.1.4 Água**

A água utilizada para a fabricação das argamassas do estudo consiste na água de rede pública de abastecimento de São Leopoldo (fornecida pelo SEMAE).

## **3.2 MÉTODO**

A metodologia é dividida em programa piloto e programa experimental. Na etapa do programa piloto foi realizada uma coleta de dados do comportamento do FCPSA misturado à matriz cimentícia. A análise destes resultados deu base ao programa experimental. Ou seja, com base nas observações visualizadas ao longo do desenvolvimento, necessidade de caracterização, e resultados alcançados foi elaborado o programa experimental.

No programa experimental foram realizados ensaios de caracterização necessários para o cálculo de dosagem das argamassas contendo FCPSA, moldagem das argamassas para análise de resistência à compressão e retração, e, análise de retração e fissuração em idades reduzidas (24h).

### **3.2.1 Programa piloto**

O método proposto para calcular a água que deve ser absorvida pelo agente de cura interna (FCPSA) consiste no método desenvolvido por Bentz, Lura e Roberts (2005), apresentado na Equação 3. Trata-se de um método específico para cálculo de materiais destinados a proporcionar cura interna em matrizes de cimento Portland, que relaciona consumo de cimento, taxa de absorção do agente de cura interna, retração química, grau de saturação e hidratação do agente de cura interna. Ou seja, o método

determina a quantidade de material absorvente necessário para que o mesmo passe a assumir a função de reservatório interno de água (cura interna) para posterior hidratação das partículas de cimento, relacionando características particulares dos materiais envolvidos. O método também foi utilizado por Kawashima e Shah (2011) em seus estudos com fibra celulósica como agente de cura interna.

$$M_{LWA} = \frac{C_f \times CS \times \alpha_{m\acute{a}x}}{S \times \Phi_{LWA}} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$M_{LWA}$  – material necessário para gerar a cura interna (kg/m<sup>3</sup>)

$C_f$  – consumo de cimento (kg/m<sup>3</sup>)

CS – retração química (g/água/g)

$\alpha_{m\acute{a}x}$  – grau de hidratação do agente de cura interna

S – grau de saturação do agente de cura interna

$\Phi_{LWA}$  – absorção do agente de cura interna (kg)

Para o cálculo do material necessário para gerar cura interna ( $M_{LW}$ ) foi utilizado um consumo de cimento ( $C_f$ ) 515 kg/m<sup>3</sup> do cimento CP II-F 40. O valor de retração química (CS) adotado é o mesmo valor utilizado por Bentz, Lura e Roberts (2005) e Kawashima e Shah (2011), 0,07 g/água/g. Já o grau de hidratação ( $\alpha_{m\acute{a}x}$ ) e saturação (S) do agente de cura interna foi adotado 1, sendo 100% de saturação e 100% do grau de hidratação dos cimentos, correspondendo as melhores condições para que os cimentos alcancem melhores propriedades estruturais. Já o valor adotado para a absorção do agente de cura interna ( $\Phi_{LWA}$ ) foi 37 g/água para cada grama de FCPSA seco. O valor foi obtido em função de ensaios preliminares de absorção de água em laboratório, adicionando-se água ao FCPSA até saturar (método empírico).

Aplicando-se os valores na Equação 3, obteve-se um volume de 0,9 kg de FCPSA para cada m<sup>3</sup> de concreto, correspondendo a 0,17% da massa total de cimento. Ou seja, por meio do método proposto, são necessários 0,9 kg/m<sup>3</sup> de FCPSA para que o material possa gerar cura em toda a matriz cimentícia. O valor assemelha-se a quantidade de fibra comercial utilizada para controle de retração plástica em concretos, normalmente 0,6 kg/m<sup>3</sup>.

Os traços utilizados no estudo, descrito na Tabela 9, correspondem à fração granulométrica de areias de um concreto comercializado por uma empresa do ramo de concretagem da região (60% ANR e 40% ABR). O consumo de cimento adotado foi padronizado segundo a NBR 7215 (ABNT, 1997), 515 kg/m<sup>3</sup>. A relação a/c adotada foi 0,50, em função de apresentar uma grande quantidade de material pulverulento (11% na ABR), correspondendo ao mesmo adotado pela empresa do ramo de concretagem. A moldagem das argamassas se deu segundo a NBR 7215 (ABNT, 1997), seguindo-se as orientações de mistura e moldagem. Foram moldadas duas misturas, uma nomeada traço referência, e outra nomeada FCPSA, com a adição de 0,9 kg/m<sup>3</sup> do FCPSA.

**Tabela 9 – Quantitativo de materiais por mistura.**

<b>Materiais</b>	<b>Argamassa Referência</b>	<b>Argamassa com FCPSA</b>
Cimento CP II-F 40	624g	624g
Areia de Britagem	749g	749g
Areia Natural	1123g	1123g
Água do traço	312g	312g
FCPSA	-----	1,08g
Água de cura interna	-----	40g

Em função de o FCPSA assemelhar-se a um algodão e ser prensado após a triagem de separação do plástico, ao adicioná-lo seco à mistura formam-se grumos de material superabsorvente, podendo gerar pontos frágeis em meio à matriz em estado endurecido. Além disso, como apresentado por Gomes (2014), melhores resultados de absorção do FCPSA são adquiridos com soluções de pH menores, sendo o pH da água menor que o da solução cimento + água. Com isso, como procedimento, o FCPSA foi adicionado pré-saturado (40 g/água para 1,08 g de FCPSA) junto à água de mistura da argamassa, no início da mistura, antes da colocação do cimento.

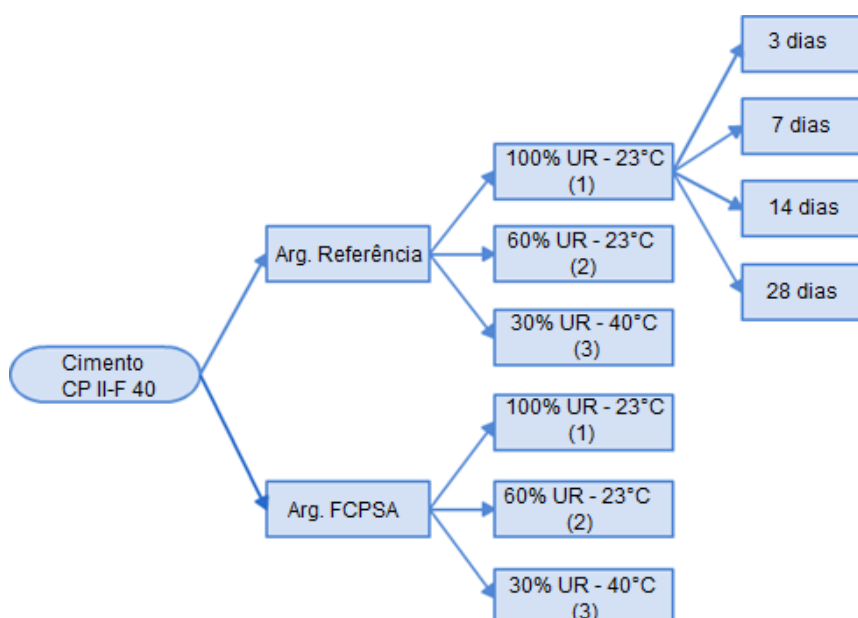
A Figura 14 apresenta, esquematicamente, o programa experimental, de resistência à compressão, adotado no programa piloto. Foram adotado três diferentes condições de exposição ambiente das argamassas para análise do desempenho do FCPSA quanto à cura interna:

(1) estocagem em ambiente que promove a cura segundo a NBR 5738 (ABNT, 2003), com corpos de prova saturados em solução de hidróxido de cálcio, com umidade de 100%, temperatura controlada de  $23\pm 2^\circ\text{C}$ ;

(2) exposição a ambiente seco em sala climatizada, com temperatura de  $23^\circ\text{C}$  e umidade relativa de aproximadamente 60%; e

(3) armazenamento em estufa, simulando casos extremos de temperaturas elevadas e baixa umidade relativa, onde os corpos de prova foram submetidos a uma temperatura de  $40^\circ\text{C}$  e umidade relativa de aproximadamente 30%.

Salienta-se que as idades de ensaio, apresentadas para a exposição de 100% UR, foram às mesmas utilizadas para 60% e 30% de umidade relativa.



**Figura 14 - Representação esquemática do programa piloto.**

Para cada condição de armazenamento foram moldados 12 corpos de prova, com rompimento nas idades de 3, 7, 14 e 28 dias, sendo três corpos de prova para cada idade de rompimento. Com isso, para esta etapa de estudo, foram moldados 72 corpos de prova.

### 3.2.1.1 Síntese dos resultados do Programa piloto

Em função de o programa experimental (a seguir) ser baseado nos resultados obtidos no programa piloto, é apresentada uma síntese das observações e resultados alcançados. Observa-se que:

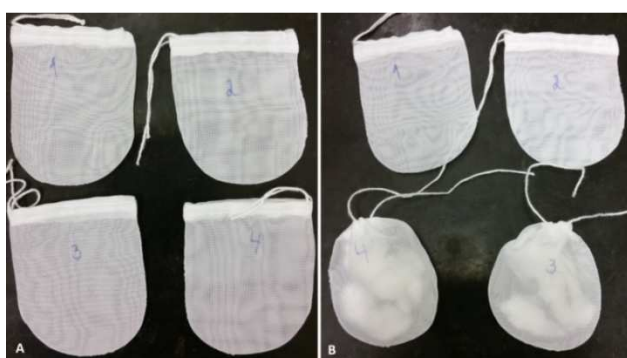
- a) O FCPSA apresenta capacidade de absorção de aproximadamente 40 vezes sua massa, isso faz com o material aumente de volume. Entretanto a taxa de absorção é empírica, necessitando de um método adequado para a determinação total da absorção;
- b) Adicionando-se FCPSA pré-saturado a mistura observa-se um aumento da trabalhabilidade das argamassas comparado às argamassas referência;
- c) O melhor ganho de resistência, entre as condições de exposição (100%, 60% e 30%), foi alcançado nas argamassas em pior condição. Ou seja, com temperatura elevada e baixa umidade relativa (30% UR, a 40°C). A inserção do material residual age fornecendo mais água para a mistura, diminuindo as perdas por evaporação da água da mistura, principalmente nas idades iniciais;
- d) Com os resultados de resistência à compressão observa-se que o FCPSA agiu de forma positiva nas idades iniciais (3 dias), fazendo com que os resultados obtidos nas argamassas com a adição do mesmo superassem os resultados das argamassas sem o material residual.
- e) A partir dos sete dias, as amostras de referência não curadas em condições ideais já apresentam uma estabilização da sua resistência, praticamente sem ganhos de resistência devido à ausência de água disponível para a cura. Entretanto, a amostra com FCPSA exposta à condição de 60% UR continua a apresentar um expressivo ganho de resistência ao longo das primeiras duas semanas, chegando a uma resistência superior à amostra de referência; e
- f) Aos 28 dias, a tendência de crescimento da resistência não se mantém devido, principalmente, à falta de água nos reservatórios internos, gerando porosidade, pelo FCPSA, na matriz cimentícia. Na ausência de água para cura interna, cessa o ganho de resistência, assim como ocorre desde cedo para as amostras expostas a condições extremas de exposição. Além disso, para o cimento CP II-F 40 tem-se uma estabilização do ganho de resistência em função das características do

tipo de cimento, não sendo possível observar o que ocorre em uma matriz com adição de pozolana, por exemplo.

### 3.2.2 Absorção do FCPSA

A análise da taxa de absorção de água do FCPSA foi realizada baseada na Norma ISO 17190-6 (2001). O ensaio consiste na saturação do FCPSA com uma solução conhecida e na posterior exclusão do excesso de solução (não absorvida) por meio da força centrífuga. Os procedimentos foram realizados a partir de uma adaptação do equipamento centrifugador da norma citada. Utilizou-se então um equipamento Centrifugador Excelsa Baby, da marca FANAM LTDA, modelo 208 N. A solução utilizada para o ensaio foi água da rede pública.

Para o ensaio foram necessários quatro filtros (Figura 15-A) com aproximadamente 5 cm de diâmetro cada, de material não absorvente e com acabamento resistente. De início realizou-se a pesagem dos filtros secos, tomando o cuidado para que se formassem pares de filtros com mesma massa (Tabela 10), uma vez que, ao final do ensaio, um filtro de cada par é considerado o valor referência. No ensaio, em dois filtros são adicionados 2g de FCPSA (cada), material utilizado para a análise da absorção, e amarrados (Figura 15-B) para que não ocorra perda de material, com isso é importante que a malha do filtro seja menor que o diâmetro do material a ser ensaiado. Na etapa seguinte os quatro filtros (dois com FCPSA, dois “tara”) são adicionados na solução (água) e ali permanecem por um período de 30 minutos.



**Figura 15 – A) Filtros utilizados para o ensaio de absorção do FCPSA; B) Filtros prontos para o ensaio (dois com FCPSA e dois vazios).**

Após os 30 minutos, os filtros são retirados da solução e amarrados no centrifugador, na forma de “x”, conforme ilustrado na Figura 16, permanecendo um filtro com FCPSA e outro “tara” do mesmo lado do equipamento. Tal forma é utilizada a fim



de evitar que os filtros com FCPSA fiquem concentrados de um mesmo lado da centrífuga, podendo desequilibrar o eixo do equipamento, interferindo nos resultados.



**Figura 16 - Interior do equipamento centrifugador. A – filtros amarrados com FCPSA; B – filtros vazios.**

No ensaio, em função de não se saber a velocidade em RPM (rotação por minuto) da centrífuga utilizada, utilizou-se como padrão a velocidade 5 do equipamento, aumentando-a gradativamente, durante o ensaio, de segundo em segundo, até atingir a velocidade estipulada. O mesmo procedimento foi adotado para desligar-se o equipamento, 5 segundos antes do término do ensaio. O ensaio foi realizado em duplicata para garantia dos resultados, entretanto na Tabela 10 estão expressas somente as médias de cada análise.

**Tabela 10– Absorção de FCPSA determinado segundo a ISO 17190-6:2001.**

Ensaio	Identif.	Massa inicial (g)	Quantidade de FCPSA (g)	Massa final (g)	Absorção (g/g)
1	1	0,4438	---	x	x
	2	0,4437	0,200	11,5253	54,27
2	3	0,4110	---	x	x
	4	0,4110	0,200	11,7839	55,84

Com a realização da duplicata observou-se que o material apresenta irregularidade na composição, podendo esta ser originada pelo processamento inicial (triagem) e pelas diferentes características do material residual. Por se tratar de um material residual, tem-se dificuldade de classificação quanto ao tipo de produção (absorventes femininos, fraldas descartáveis diurnas/noturnas), erros industriais de produção, ou até mesmo contaminações, o que dificulta a padronização da taxa de absorção. De modo geral, este pode ser um parâmetro a dificultar a utilização do resíduo,

uma vez que o material é coletado pela empresa responsável e já misturado, ou, misturado na própria fábrica onde é produzido. Entretanto este fator não implica no uso do material, quando que, para que não ocorram diferentes taxas de absorção, é necessário que o material a ser utilizado seja homogeneizado.

Como resultado, obteve-se uma absorção média de 55 gramas de água por grama de FCPSA.

### 3.2.3 Inchamento do FCPSA

A análise de inchamento do FCPSA foi realizada por meio de imagens, utilizando-se um microscópio Axio Vision, modelo IMAGER M2m (Figura 17), capaz de processar imagens e anotações. As imagens processadas são exibidas em um monitor, por onde se pode elaborar otimizações, técnicas (contraste, brilho, ajuste de cor, aumento da nitidez, etc) e até mesmo inserir anotações.

Capturaram-se imagens do material residual em estado natural e do momento em que o mesmo passa a absorver a água do FCPSA, avaliando a capacidade e estrutura de inchamento, e da forma final, após absorvido a água. Foram captadas imagens com ampliação de 2,5 e 5 vezes com luz natural.



Figura 17 - Microscópio Axio Vision, modelo IMAGER M2m utilizado para o ensaio.

### 3.2.4 Cálculo do volume de FCPSA

Com os dados alcançados no ensaio de absorção do FCPSA, recalculou-se a Equação 3 para um mesmo consumo de cimento, grau de hidratação e saturação anteriormente estipulados. Com o valor real (passando de 37 g para 55 g de água por grama de FCPSA), se observou uma redução do percentual de material residual necessário

por metro cúbico, chegando a uma taxa de  $0,65 \text{ kg/m}^3$  (inicialmente de  $0,9 \text{ kg/m}^3$ ), o que corresponde  $0,13\%$  sobre o consumo de cimento. Além disso, a nova dosagem encontrada corresponde à mesma dosagem, de fibras de polipropileno, utilizada para o combate a retração inicial (pele de crocodilo).

A redução do percentual de material residual implica positivamente na porosidade final da matriz cimentícia, uma vez que, quanto maior a taxa de absorção do FCPSA, menor a quantidade de FCPSA necessário para se gerar o efeito de cura interna, por  $\text{m}^3$ . Ou seja, quanto maior a taxa de absorção de água do FCPSA, menor o seu volume necessário para gerar cura interna e menor a porosidade deixada pelo material na microestrutura da matriz cimentícia, aumentando sua resistência final.

### **3.2.5 Ensaio de Consistência**

Durante a realização do programa piloto observou-se uma variabilidade na consistência das argamassas contendo FCPSA, quando comparado às argamassas referência. Se observou que as argamassas contendo o material residual apresentam maior fluidez, diferente do que observado por Gomes (2014), que utilizou o mesmo material em sua pesquisa. Tal fato se deve ao fato desse autor ter adicionado o material residual seco à mistura, fazendo com que o mesmo absorvesse água da própria mistura, diminuindo a relação  $a/c$  e, automaticamente, diminuindo sua plasticidade. Já no programa piloto, o material foi adicionado pré saturado.

Com a variação das trabalhabilidades observou-se a necessidade de se fixar um parâmetro, a relação  $a/c$  ou a consistência das argamassas. Optou-se por fixar a consistência, pois, comercialmente, tanto concretos quanto argamassas são fornecidos aos clientes observando-se sua consistência final, tendo a relação  $a/c$  ajustada conforme traço, ainda na central dosadora.

O ensaio foi realizado segundo a NBR 7215 (ABNT, 1997). Realizou-se o ajuste da consistência para as argamassas contendo cimento CP II-F 40, e com o cimento CP IV 32. Estabeleceu-se a relação  $a/c$   $0,48$  para argamassas contendo FCPSA e ajustou-se a consistência das argamassas referência para a mesma consistência alcançada com o FCPSA (utilizando-se somente água).

### 3.2.6 Produção das argamassas

A produção das argamassas se baseia em duas dosagens distintas de FCPSA, uma com dosagem calculada (FCPSA), conforme item 3.2.4, outra com dosagem estimada (FCPSA+), utilizando-se o dobro da dosagem calculada, e referência (REF), conforme apresentado na Tabela 11. A adição de uma dosagem estimada (FCPSA+) foi definida com o intuito de avaliar diferentes teores de adição, analisando o comportamento das argamassas com maior ou menor quantidade de FCPSA. Mesmas dosagens foram utilizadas para ambos os tipos de cimento (CP II-F 40 e CP IV).

**Tabela 11 – Identificação dos tipos de traços moldados**

Traço	Abreviatura	Dados de identificação dos traços
A	REF IIF	Traço referência, moldado com CP II-F 40.
B	FCPSA IIF	Traço com FCPSA, conforme estabelecido na Eq. 1, moldado com CP II-F 40.
C	FCPSA+ IIF	Traço com o dobro de FCPSA estabelecido no traço B, moldado com CP II-F 40.
D	REF IV	Traço referência, moldado com CP IV 32.
E	FCPSA IV	Traço com FCPSA, conforme estabelecido na Eq. 1, moldado com CP IV 32.
F	FCPSA+ IV	Traço com o dobro de FCPSA estabelecido no traço E, moldado com CP IV 32.

Para a produção das argamassas se fixou os procedimentos estabelecidos pela NBR 7215 (ABNT, 1997). As relações a/c foram estabelecidas a partir dos resultados obtidos no item 3.2.5. Ou seja, para a argamassa FCPSA adotou-se a relação a/c 0,48, para a argamassa referência utilizou-se a relação a/c alcançadas ajustando sua consistência a consistência FCPSA (0,54). A argamassa FCPSA+ foi moldada com relação a/c 0,48, Na Tabela 12 estão listados os quantitativos de materiais utilizados em cada uma das misturas.

**Tabela 12 – Quantitativo de material por mistura.**

Materiais	CP II-F 40			CP IV 32		
	Referência	FCPSA	FCPSA+	Referência	FCPSA	FCPSA+
Cimento	624 g	624 g	624g	624 g	624 g	624g
Areia de Britagem	749 g	749 g	749g	749 g	749 g	749g
Areia Natural	1123 g	1123 g	1123g	1123 g	1123 g	1123g
Água do traço	338 g	300 g	300 g	335,8 g	300 g	300 g
FCPSA	-----	0,793 g	1,586 g	-----	0,793 g	1,586 g
Água de cura interna	-----	43,62 g	87,24 g	-----	43,62 g	87,24 g

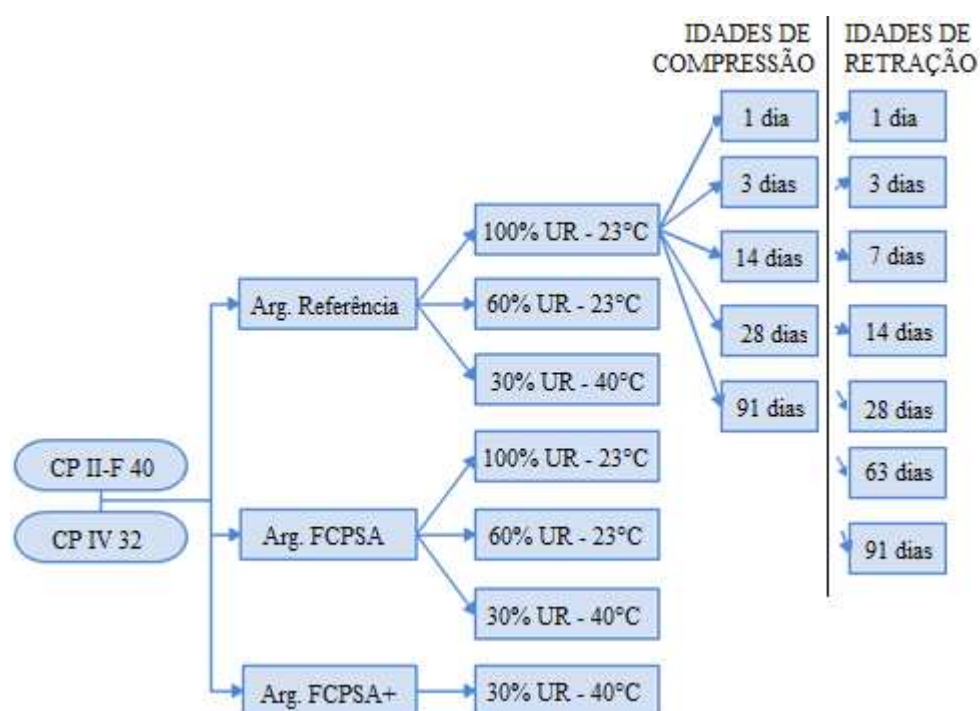
Para a produção das argamassas o FCPSA foi pré-saturado com a quantidade de água destinada a cura interna, conforme apresentado na Tabela 12. O procedimento de pré-saturação ocorreu por um período de 30 minutos antes da moldagem. Padronizou-se este tempo em função de ser o tempo de absorção estabelecida pela ISO 17190-6 (2001) para o ensaio de absorção de polímeros superabsorventes em solução. Entretanto, observou-se que o FCPSA apresenta sua maior ação de absorção nos primeiros 10 minutos, não havendo aumento significativo de absorção após este tempo.

Durante a realização desta etapa do programa experimental se constatou uma variabilidade nas taxas de absorção do FCPSA, conforme visualizado na etapa de análise de absorção, muito provavelmente ocasionado por lotes de material residual diferentes. Ou seja, no período de 30 minutos, padronizado como tempo de absorção, o FCPSA permaneceu submerso somente na água destinada à cura interna, porém, na maioria das amostras, não houve a absorção total da água. Tal variação torna-se um agravante na pesquisa uma vez que a falta de homogeneidade do FCPSA pode acarretar em uma alteração da relação a/c das matrizes de cimento Portland com a presença do material residual. Portanto, para manter-se um padrão no procedimento, fez-se o descarte destas amostras que não apresentaram absorção total da água de cura interna no período de 30 minutos.

O FCPSA, já pré-saturado, foi adicionado à mistura no mesmo instante já determinado no programa piloto, junto à água de mistura das argamassas, antes do cimento. Ou seja, adicionou-se inicialmente na argamassadeira a água do traço e o FCPSA pré-saturado, e posteriormente foi dada sequência nos procedimentos de mistura estabelecidos pela NBR 7215 (ABNT, 1997).

Na Figura 18 é apresentado o fluxograma de etapas e condições de exposição das argamassas destinadas à resistência à compressão e retração. Cada mistura de argamassa, para ambas as análises, foi submetida a três condições de umidade relativa distinta – 100%, 60% e 30%. Para a resistência à compressão optou-se por fixar cinco idades de rompimento dos corpos de prova: 1, 3, 14, 28 e 91 dias. A idade de 1 dia foi inserida por ter-se visualizado um melhor desempenho, no programa piloto, da ação do FCPSA na idade de três dias, ficando o questionamento do desempenho em idades iniciais. Além disso, em função de se utilizar duas matrizes de cimento Portland distintas

– uma com material pozolânico (CP IV 32) e outra sem (CP II-F 40) – optou-se por adicionar a idade de 91 dias, com a qual se pode observar o comportamento do FCPSA como agente de cura interna ao longo das idades em matrizes com pozolana. Já para a retração, as análises foram realizadas nas idades de 1, 3, 7, 14, 28, 63 e 91 dias (obedecendo-se as mesmas condições de exposição e tipos de cimento apresentados para a resistência à compressão). As idades apresentadas, para ambas as análises, correspondem as idades de ensaio de cada uma das condição de exposição das argamassas apresentadas (100%, 60% e 30% UR da argamassa referência e FCPSA e 30% UR da argamassa FCPSA+).



**Figura 18 – Fluxograma das análises de resistência à compressão e retração.**

Todas as argamassas moldadas (tanto para a resistência à compressão, quanto para a retração) permaneceram, durante as primeiras 24h, em sala climatizada, com temperatura de  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa do ar de 60%, cobertos por uma placa de vidro, até o momento da desforma. Após desformados foram armazenados em seus locais de cura.

### 3.2.7 Resistência à Compressão

Na resistência à compressão, para cada idade, condição de exposição e tipo de cimento foram moldados 6 corpos de prova, correspondendo a um total de 372 corpos de prova para análise da resistência à compressão. Para a moldagem dos 372 corpos de prova foram necessários 62 argamassadas, no equipamento misturador especificado pela NBR 7215 (ABNT, 1997).

Os corpos de prova foram rompidos conforme idades apresentadas na Figura 18, com base nos procedimentos da NBR 7215 (ABNT, 1997). Para nivelamento da superfície dos corpos de prova foi utilizada uma retífica da marca STUHLERT, com velocidade de retificação automatizada. A retificação foi realizada momentos antes do rompimento dos corpos de prova. O equipamento utilizado para a compressão consiste em uma máquina marca CONTROLS, modelo Sercomp 2 C80/ES, classe I, com capacidade de carga de 2000 kN. Foi utilizado a velocidade de aplicação de carga de 0,25 MPa/s até que o corpo de prova apresentasse ruptura (Figura 19).



**Figura 19 – Compressão das argamassas. A) Leituras das alturas e diâmetros do corpo de prova; B) Fim do ensaio de resistência à compressão, com ruptura do corpo de prova.**

### 3.2.8 Retração

Para as argamassas referência e FCPSA foram moldadas nove barras – três destinadas a 100% UR, três para 60% UR e três para 30% UR. E, para a argamassa FCPSA+ também foram moldadas três barras. No total, para análise da retração, foi necessária a moldagem de 42 barras (Figura 20).



**Figura 20 - Moldagem das barras destinadas ao ensaio de retração.**

As medidas do ensaio de retração foram realizadas conforme procedimentos estabelecidos na NBR 15261 (ABNT, 2005), nas idades apresentadas na Figura 18. Segundo a mesma, as barras devem ser desmoldadas com 48h, contudo, com a necessidade de se fazer leituras já nas horas iniciais (24h), desmoldou-se as barras com 24h. Para o ensaio foi utilizado um equipamento comparador de expansibilidade e retração, da marca Solotest (Figura 21), com um relógio comparador acoplado. As leituras foram realizadas com as barras sempre na mesma posição.



**Figura 21 – Corpo de prova posicionado no equipamento para análise do ensaio de retração. (A- aparelho de retração; B – relógio comparador posicionado no topo do aparelho de retração)**

### **3.2.9 Retração Plástica**

A análise de retração inicial foi realizada a partir do modelo proposto por Turcry (2004) apud Giroto, Barbosa e Maciel (2014), utilizado também por Saliba et al.



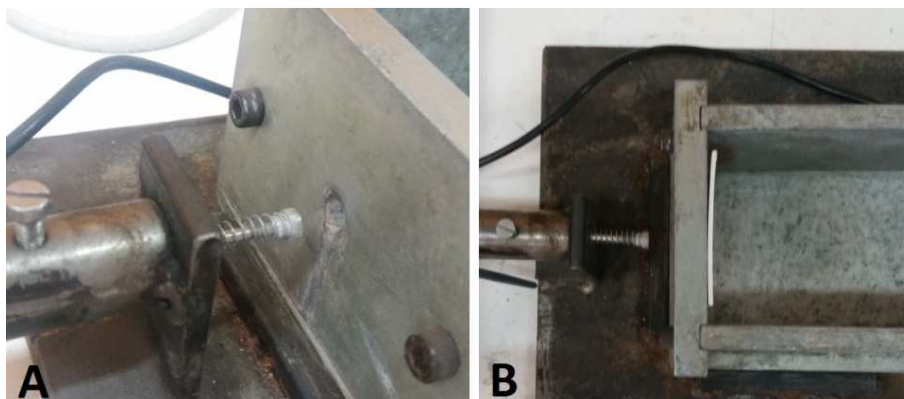
(2011) e adaptado por Giroto, Barbosa e Maciel (2014). Trata-se de um método de medição das deformações horizontais pelo efeito da retração plástica, medido durante as primeiras 24h de moldagem da matriz cimentícia, de forma constante.

O equipamento é formado por três peças (Figura 22): a) uma fôrma retangular de aço (A), com dimensões de 7,5 x 7,5 x 30,5 cm, com uma perfuração em cada laterais de 7,5 x 7,5 cm, por onde são realizadas as leituras de deformações horizontais, por meio de b) um par de sensores LVDT (B); c) uma base de aço (C), onde se pode acoplar os sensores LVDT e a caixa retangular, impedindo a movimentação de ambos.



**Figura 22 – Dispositivo de análise da retração plástica. A) Fôrma retangular com perfurações na lateral; B) Par de sensores LVDT; C) Base metálica.**

Internamente a caixa é forrada por uma película de plástico autocolante, deixando-se aberta apenas às perfurações laterais. Internamente às laterais perfuradas são colocadas placas de PVC (Figura 23-A). Essas são utilizadas como base de apoio aos sensores LVDT (Figura 23-B), uma vez que as mesmas encontram-se em contato com a argamassa, e possuem dimensões de 7x7 cm e 0,2 cm de espessura. Os sensores LVDT utilizados para realizar as leituras consistem em sensores com precisão de deformação inferior a 2 mm e resolução inferior a 5  $\mu$ m. Junto a estes sensores é inserido um sensor que monitora a temperatura da matriz cimentícia durante a realização do ensaio. As leituras dos sensores (LVDT e temperatura) são realizadas através de um módulo universal, armazenadas de minuto em minuto em um sistema de dados de computador, em um período de 24h.



**Figura 23 – Detalhes do dispositivo de análise da retração plástica; A) Perfuração na lateral da fôrma por onde é inserido o LVDT; b) placa de PVC inserida na fôrma.**

O resultado da análise é obtido somando-se os deslocamentos horizontais, realizados pelos leitores em contato com as placas de PVC fixas ao corpo de prova nas laterais, e dividindo-se pelo comprimento da amostra (Equação 4).

$$\varepsilon = \frac{\Delta l_t}{l_i} \times 10^6 \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

$\varepsilon$  = deslocamento linear (adimensional)

$\Delta l_t$  = soma dos deslocamentos horizontais

$l_i$  = comprimento inicial da amostra

As análises foram realizadas com argamassas curadas a 60% de umidade relativa, em sala climatizada, e a 30% de umidade relativa, em estufa a 40°C. O ensaio não foi realizado com a argamassa curada a 100% de umidade relativa por considerar-se que esta argamassa não sofre deformações nas idades iniciais devido ao selamento de sua superfície com água, impedindo a sua evaporação.

### 3.2.10 Fissuração em estado fresco

O método de avaliação da fissuração em estado fresco foi adaptado do método utilizado por Giroto, Barbosa e Maciel (2014). Para a realização do ensaio foi utilizado pasta, com mesma relação a/c das argamassas, uma vez que as argamassas não apresentaram fissuras em ensaios preliminares. O ensaio consiste na moldagem da pasta de cimento sobre uma fôrma de seção quadrada, de 200 mm de lado, totalizando uma área de 40000 mm<sup>2</sup>, e altura de 10 mm (Figura 24). A base interna da forma é corrugada, com

“dentes” simétricos de 0,5 cm de altura, com ângulo de 60° entre eles, que tem o intuito de estimular a fissuração.



**Figura 24 – Fôrma para análise da fissuração em estado fresco.**

A pasta foi misturada manualmente (até que não houvesse mais grumos na mistura) e adensada em mesa vibratória por um tempo de 5 segundos, a fim de se eliminar todas as bolhas de ar internas. As análises foram realizadas com ambos os tipos de cimento, nas pastas da argamassa referência e com as adições anteriormente estabelecidas de FCPSA e FCPSA+, na condição de exposição de maior probabilidade de fissuração (ou seja, a 30% UR a uma temperatura de 40°C).

O ensaio foi realizado por um período de 24h, contados a partir do momento da mistura da pasta. A análise de fissuração é dada por meio de imagem fotográfica realizadas ao término das 24h. As imagens são avaliadas considerando-se as áreas totais de fissuração, com fissuras com espessura superior a 0,01 mm, sendo estas calculadas por meio do programa “AutoCAD 2010”.



## 4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos do estudo em questão. Os resultados compreendem as etapas I, II e III estabelecidas conforme Figura 11. Considerações preliminares da etapa já foram expostas no capítulo anterior uma vez que foram necessários para o desenvolvimento do programa experimental da etapa II e III.

### 4.1 PROGRAMA PILOTO

Durante a etapa de moldagem das argamassas destinadas a resistência mecânica, se observou que, ao adicionar o FCPSA pré-saturado à mistura, o mesmo gerou um aumento na trabalhabilidade das argamassas. Com isso, as argamassas referência e contendo FCPSA foram moldadas com diferentes consistências, porém com mesma relação a/c de mistura. Desta forma, abre-se a possibilidade de se fixar a consistência das argamassas no momento da mistura, consequentemente reduzindo a relação a/c nas misturas com FCPSA e aumentando assim sua resistência à compressão.

Na Figura 25 estão apresentados os resultados de resistência média à compressão, expressos em MPa. No Apêndice A podem ser observados os resultados individuais de todos os ensaios realizados, assim como os cálculos da média, desvio padrão e coeficiente de variação dos ensaios.

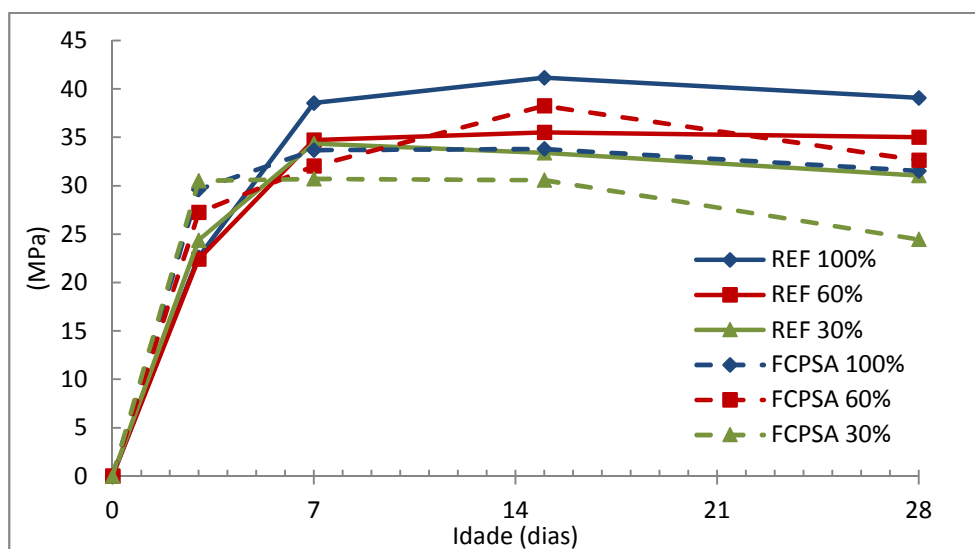


Figura 25 - Evolução da resistência à compressão média ao longo de 28 dias.

Na Figura 25 observa-se que na idade de três dias as amostras contendo FCPSA apresentam resistências mecânicas superiores às suas respectivas argamassas referência. Esta melhor resistência mecânica está associada ao efeito de cura interna

gerada pela incorporação do FCPSA. Por se tratar de um cimento com alta reatividade, enquanto as argamassas referência estão submetidas a condições de exposição sem o procedimento de cura (com exceção da argamassa referência a 100% UR), as argamassas contendo o FCPSA passam a liberar água, de dentro para fora, para a matriz, aumentando assim a capacidade de hidratação das partículas de cimento. Para a argamassa FCPSA submetida à condição de exposição de 100% UR tem-se a soma da cura interna e externa, fazendo com que sua resistência mecânica na idade inicial (29,64 MPa) seja superior a própria argamassa referência (22,62 MPa).

A partir da idade de sete dias é observada uma estabilização do ganho de resistência das argamassas. Este fato se deve ao tipo de cimento utilizado, por ser um cimento com uma finura elevada, suas reações de hidratação acontecem em idades iniciais, cessando o ganho de resistência ao longo do tempo. Já a argamassa curada a 30% UR apresenta uma estabilização da resistência já na idade de três dias, isso ocorreu pois a água de cura interna, destinada a hidratação das partículas de cimento, ser totalmente consumida de modo acelerado, provocado pela elevada temperatura do meio e elevada finura do cimento.

Entretanto é observado um ganho de resistência para a argamassa contendo FCPSA na condição de exposição de 60% UR até a idade de 15 dias, ficando esta superior a sua argamassa referência. Este ganho de resistência é gerado pelo efeito de cura interna, fornecida pelo FCPSA. No entanto na idade de 28 dias tem-se uma perda de resistência. A perda de resistência também é observada nas demais argamassas com o agente de cura interna. O material residual, de um lado gera o efeito de cura interna, agindo como reservatório interno de água. Entretanto o PSA contido na matriz do FCPSA incha ao absorver a solução e, após liberar a água para o meio volta a assumir seu tamanho seco, gerando porosidade na matriz, conforme apresentado por Mönnig (2009), na Figura 9.

Além disso, cabe ressaltar também que a perda de resistência na idade de 28 dias pode estar associada a uma variabilidade decorrida de moldagem ou má dispersão do FCPSA na mistura. Como pode ser observado no Apêndice, chegou-se a coeficientes de variação das argamassas superior a 10%. É possível que, para as argamassas com FCPSA, porções de fibra celulósica não tenham sido completamente dispersas durante a mistura, gerando grumos, resultando na queda de resistência. Fisicamente, não faz sentido uma

redução de resistência neste tipo de ensaio, a não ser que se desenvolva alguma reação deletéria no interior da matriz, o que não é provável neste caso. Como pode ser observado, com exceção da argamassa REF 60%, as demais apresentaram queda de resistência na idade de 28 dias.

#### **4.2 ABSORÇÃO DO FCPSA**

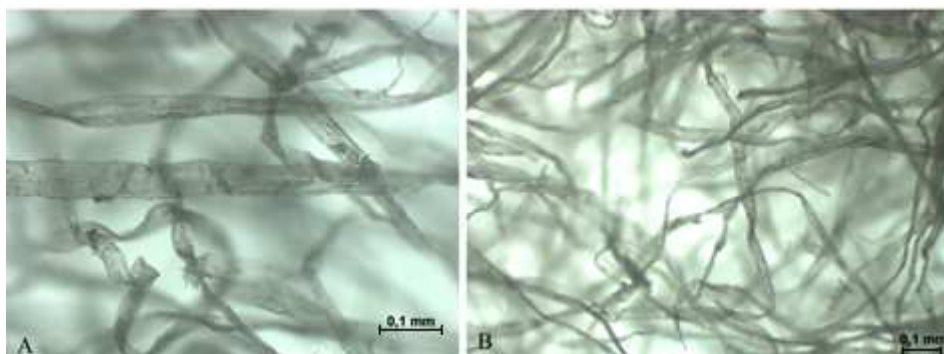
A absorção do FCPSA é um dos parâmetros a serem considerados na dosagem de reutilização deste material. Se adicionado seco à mistura, baixa a trabalhabilidade, e altera a relação a/c da mistura, e, se saturado de forma inconveniente pode aumentar a relação a/c, gerando uma série de problemas como perda de resistência e maior porosidade. Os resultados de absorção de polímeros superabsorventes comerciais apresentam taxas variadas de absorção em função de suas diferentes características físico e químicas da estrutura particular de cada um dos PSA. Sendo assim, não é possível comparar-se e ou padronizar-se valores de absorção encontrados no estudo com os diferentes PSA's encontrados no mercado.

Entretanto, com a análise de absorção do FCPSA pelo método apresentado, obteve-se um teor de absorção de 55 gramas de água por grama de FCPSA (55 g de água por g de material seco). Já, ao realizar-se a duplicata do ensaio observou-se que o material não apresenta regularidade na absorção, muito provavelmente ocasionado pela variabilidade encontrada no lote de FCPSA. Então, por ser um parâmetro de regularidade na produção das argamassas, para o desenvolvimento do estudo adotou-se o teor de absorção adquirida no ensaio, descartando-se as amostras que não absorvam a água de cura interna calculada (55 g/g).

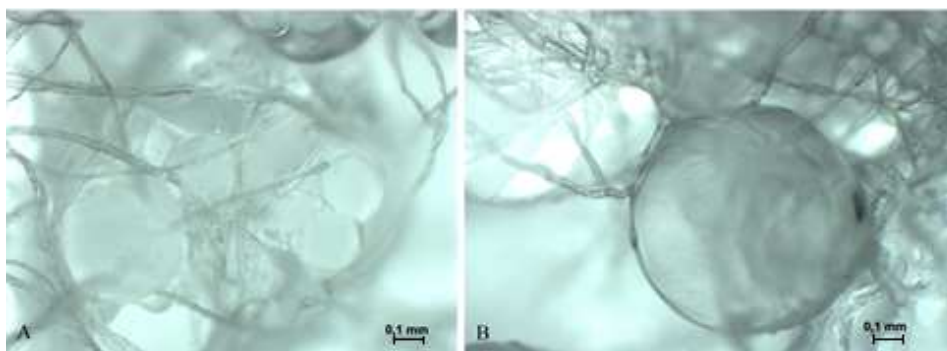
#### **4.3 INCHAMENTO FCPSA**

A partir das imagens adquiridas do FCPSA seco (Figura 26), com ampliação de 2,5 e 5 vezes, observa-se que o material residual seco é formado por fibras alongadas, chatas, com superfície não lisa e de curto alcance. Diferentemente das fibras estudadas por Kawashima, Shah (2011), as fibras do estudo em questão não apresentam matriz oca, com capacidade de reter água a auxiliar na cura interna, o que faz acreditar que o efeito de cura gerado pelo FCPSA é responsabilidade do PSA incorporado ao material residual. Além disso, mesmo com a ampliação de 2,5 e 5 vezes não é possível distinguir-se o PSA

da fibra celulósica. Na Figura 27 são apresentadas imagens, com ampliação de 2,5 e 5 vezes, do FCPSA saturado.



**Figura 26 – Imagem ampliada, por meio de micrografia ótica, do FCPSA em estado natural; a) ampliação de 5 vezes; b) ampliação de 2,5 vezes.**



**Figura 27 – Imagem ampliada, por meio de micrografia ótica, do FCPSA saturado; a) ampliação de 5 vezes; b) ampliação de 2,5 vezes.**

Na Figura 27 é observada a forma de gel, misturado a matriz da fibra celulósica, após a saturação do PSA. Este gel dá-se na forma de esferas bem definidas, com variação dos diâmetros entre esferas, sendo algumas maiores, outras menores (Figura 27-A), chegando a 1 mm de raio.

A forma adquirida após a formação do hidrogel do PSA é relevante no estudo, uma vez que, ao ser adicionado à matriz cimentícia, libera a água para o meio em que se encontra, gerando efeito de cura interna. Por outro lado, após liberar a água, o material passa a diminuir de tamanho, gerando porosidade à matriz. Esta porosidade, por sua vez, pode ser responsável por uma perda significativa de resistência mecânica.



#### 4.4 ANÁLISE DA CONSISTÊNCIA

As Figura 28 e Figura 29 apresentam os ensaios de consistência realizados com o cimento CP II-F 40 e CP IV 32 respectivamente. Observou-se que, em ambos os tipos de cimento tem-se variação da consistência nas argamassas utilizando-se o material residual, quando comparado às argamassas referência (sem FCPSA). As argamassas que não continham FCPSA na mistura apresentaram menor consistência, ou seja, menor trabalhabilidade.

A Figura 28 apresenta o ensaio das argamassas produzidas com o cimento CP II-F 40. Na Figura 28-A é apresentada a consistência da argamassa contendo FCPSA, com relação  $a/c$  0,48, já na Figura 28-B tem-se a argamassa referência, com mesma relação  $a/c$ . Observa-se que a argamassa contendo o FCPSA apresenta maior trabalhabilidade e homogeneidade, quando comparado à referência, que se apresenta mais seca e sem homogeneidade. Para este traço (CP II-F 40, FCPSA e  $a/c$  0,48) se obteve uma trabalhabilidade inicial de 226 mm, tornando-se esta a consistência padrão para este cimento.

Já na Figura 28-C é apresentada a correção da argamassa referência, ajustando-a para a mesma trabalhabilidade alcançada com a adição do FCPSA. Observa-se que, após a correção, a argamassa apresentou melhor homogeneidade. Na Tabela 13 são apresentados os resultados de consistência alcançados em cada uma das misturas, a água necessária para correção e as relações  $a/c$  final alcançadas.



**Figura 28 - Ensaio de consistência inicial com CP II-F 40 com e sem FCPSA. a) Argamassa com FCPSA incorporada à mistura; b) Argamassa referência, sem a adição de FCPSA; c) Ajuste de consistência da argamassa referência com relação à consistência encontrada com a incorporação do FCPSA.**

A mesma relação é encontrada para o cimento CP IV 32 (Figura 29), a argamassa contendo FCPSA (Figura 29-A) apresenta maior trabalhabilidade do que a

argamassa referência (Figura 29-B), fazendo-se necessária a correção da mesma para se atingir a consistência da argamassa contendo FCPSA (Figura 29-C). Contudo, com o cimento CP IV 32 a consistência inicial (com FCPSA) se deu menor do que a alcançada com o cimento CP II-F 40, chegando apenas a 204 mm. Na Tabela 13 estão apresentados os dados obtidos no ensaio.



**Figura 29 - Ensaio de consistência inicial com CP IV 32 com e sem FCPSA. a) Argamassa com FCPSA incorporada à mistura; b) Argamassa referência, sem a adição de FCPSA; c) Ajuste de consistência da argamassa referência com relação à consistência encontrada com a incorporação do FCPSA.**

**Tabela 13 – Dados obtidos no ensaio de Consistência segundo a NBR 7215:1997.**

<b>Cimento</b>	<b>Tipo</b>	<b>Consistência Inicial</b>	<b>Consistência Final</b>	<b>Adição de água</b>	<b>a/c</b>
CP II-F 40	FCPSA	226 mm		38,00 g	0,48
	Referência	154 mm	227 mm		0,54
CP IV 32	FCPSA	204 mm		35,89 g	0,48
	Referência	197 mm	208 mm		0,54

Observa-se que as consistências das argamassas encontradas para o cimento CP II-F 40 e CP IV 32 são diferentes, tanto para a argamassa referência, quanto para a contendo FCPSA. Enquanto a argamassa de referência com CP II-F 40, apresenta valor inicial 154 mm, a argamassa referência do CP IV 32 apresenta valor inicial de 197 mm, ligeiramente superior. Tal fato deve-se às características e composições de cada um dos cimentos, apresentados nas Tabela 4 a Tabela 7, com as características químicas e físicas, onde se observa finura, valor de Blaine, consumo de água para consistência. Além disso, o CP IV 32 apresenta adição de cinza volante, material pozolânico, com partículas mais arredondadas, o que facilita o escoamento, melhorando seu espalhamento.

Contudo, as argamassas contendo FCPSA apresentam relação de espalhamento contrária às argamassas referência, ou seja, com a adição do FCPSA tem-se uma consistência melhorada na argamassa com CP II-F 40, quando comparado ao CP

IV 32. Segundo Gomes (2014), em soluções com pH elevado a liberação da solução absorvida pelo FCPSA é superior, e, conforme Mehta e Monteiro (2014) os concretos e argamassas com adições de cinza volante apresentam um menor pH em função do menor teor de clínquer (substituído pela adição da cinza volante) e álcalis presentes. Ou seja, a redução de consistência do CP IV 32 se deve pela redução de pH da mistura, o que significa que a liberação de água do FCPSA inicia já no momento da mistura.

Além disso, Gomes (2014) destacou, em seu estudo, que o uso de FCPSA em argamassas baixa a trabalhabilidade da mistura, diferente do alcançado neste estudo. A diferença se dá na forma em que o FCPSA é adicionado a mistura, Gomes (2014) adicionou o FCPSA seco, fazendo com que o mesmo absorvesse água da mistura, baixando assim sua trabalhabilidade.

Em função dessa relação de menor consistência alcançada na argamassa de cimento CP IV 32, contendo FCPSA, e maior consistência na argamassa referência com o mesmo cimento, tem-se a necessidade de uma menor quantidade de água para ajuste final das consistências neste cimento, sendo necessários aproximadamente 36 g de água para sua correção (na quantidade de material utilizada para a análise). Com isso, tem-se uma relação a/c, para a argamassa contendo FCPSA, de 0,48 e relação a/c final da argamassa referência de 0,54. Esta mesma relação é encontrada para o CP II-F 40, por apresentar uma menor consistência na argamassa referência e maior consistência com o material residual.

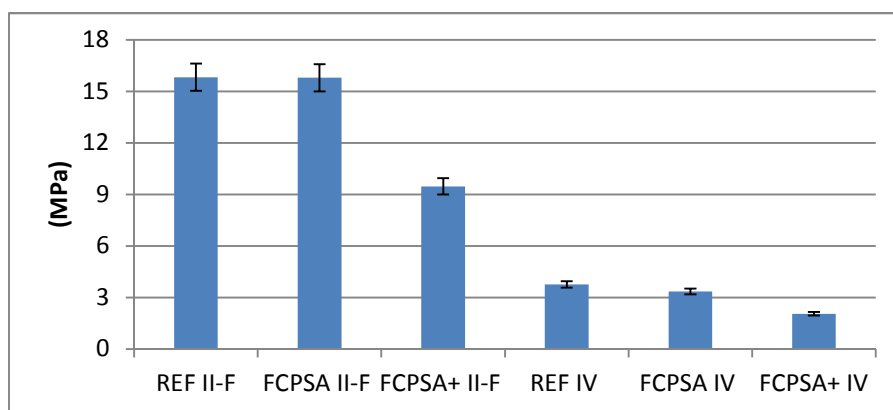
De modo geral, o efeito plastificante do FCPSA identificado em ambos os tipos de cimento é o mesmo identificado por Bentz e Stutzmann (2008), Cusson e Hoogeveen (2008), Jensen (2014) e Mechtcherine e Reinhardt (2012), incorporado em matrizes de cimento Portland. Com isso, conclui-se que, mesmo sendo um PSA de origem residual, seu efeito plastificante é o mesmo observado pelos autores em estudos realizados com PSA's comerciais. Sendo assim, não há a necessidade de se utilizar um PSA comercial, com necessidade de produção para a finalidade de efeito plastificante. A indústria de higiene descarta aproximadamente 50 toneladas/mês de resíduo (considerando somente o material coletado por uma empresa da região do Vale do Caí, RS) capaz de gerar este efeito.

#### 4.5 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados de resistência à compressão podem ser visualizados nas Figura 30 a Figura 32, separada conforme tipo de cimento, idades e condições de cura expressas na Figura 18. No Apêndice B podem ser observados os resultados individuais de cada ensaio realizado, assim como os cálculos de médias, desvio padrão e coeficiente de variação dos ensaios. Nas Tabela 16 e

Tabela 18 estão apresentados os resultados médios de resistência à compressão para cada idade.

A Figura 30 corresponde aos resultados de resistência média à compressão das argamassas com 24 horas. Salienta-se que estes corpos de prova permaneceram nas formas de moldagem até o momento de seu rompimento, em sala climatizada, cobertas por uma placa de vidro, com temperatura de 23°C e umidade relativa de 60%.



**Figura 30 – Influência da adição do FCPSA na resistência média à compressão das argamassas com diferentes cimentos na idade de 24 horas.**

Os resultados de resistência à compressão foram submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando-se o efeito significativo (S), ou não (NS), do uso de FCPSA em dosagem calculada, na idade inicial. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 14 para o cimento CP II-F 40 e Tabela 15 para o cimento CP IV 32.

**Tabela 14: Síntese da análise de variância (ANOVA) do efeito do uso de FCPSA na resistência à compressão obtida para o CP II-F 40 em 24h.**

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	Teste F	valor-P	F crítico	Sign.?
REF - FCPSA	0,001633	1	0,001633	0,001584	0,96904053	4,964603	NS
REF - FCPSA+	120,8405	1	120,8405	540,6171	0,00000000	4,964603	S
FCPSA - FCPSA+	119,9536	1	119,9536	140,2316	0,00000033	4,964603	S
REF - FCPSA-FCPSA+	160,5305	2	80,26527	114,1027	0,00000000	3,68232	S

Onde SQ = soma quadrada; gl = grau de liberdade; MQ = média quadrada

**Tabela 15 Síntese da análise de variância (ANOVA) do efeito do uso de FCPSA na resistência à compressão obtida para o CP IV 32 em 24h.**

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	Teste F	valor-P	F crítico	Sign.?
REF - FCPSA	0,5043	1	0,504	9,260574	0,012396412	4,964603	S
REF - FCPSA+	8,82368	1	8,824	77,75419	0,000004971	4,964603	S
FCPSA - FCPSA+	5,10908	1	5,109	42,58923	0,000066717	4,964603	S
REF - FCPSA - FCPSA+	9,6247	2	4,812	50,14606	0,000000228	3,68232	S

Onde SQ = soma quadrada; gl = grau de liberdade; MQ = média quadrada

Com a análise de variância (ANOVA) para o cimento CP II-F 40, com um nível de confiança de 95% (valor-P<0,05), o uso de FCPSA (dosagem calculada X referência), não apresenta variação significativa. Já nas demais comparações do CP II-F 40 e para todas as comparações do cimento CP IV 32 a variância é significativa.

Ao analisarem-se os tipos de cimento, constata-se que há uma diferença significativa entre o ganho de resistência das argamassas produzidas com CP II-F 40 e CP IV 32. O cimento CP IV 32, por apresentar adição de cinza volante, que retarda o desenvolvimento das reações, também apresenta menos clínquer em sua composição, o que faz com que o ganho de resistência inicial seja inferior ao cimento CP II-F 40. Além disso, pode-se destacar o ganho de resistência inicial do cimento CP II-F 40 a sua classe de resistência, que é superior ao cimento com adição – CP II-F 40, classe 40 MPa aos 28 dias e cimento CP IV 32, classe 32 MPa aos 28 dias.

Para as amostras contendo o dobro de FCPSA (FCPSA+), observa-se que suas resistências apresentam-se inferiores às resistências das argamassas contendo a dosagem de FCPSA calculado conforme método de Bentz, Lura e Roberts (2005), dentro da mesma classe de cimento. Com isso tem-se, para o cimento CP II-F 40, uma queda de resistência de aproximadamente 41% das argamassas contendo o dobro de FCPSA, e para o CP IV 32, a queda é de 45%. Tal fato deve-se a uma superdosagem de FCPSA, gerando um maior volume de água na matriz na idade inicial.

Na condição REF – FCPSA do CP II-F 40, onde, por variância tem-se um efeito não significativo, tem-se um cimento com adição de 6% a 10% de filer calcário, com uma finura elevada, com mais partículas reativas de C<sub>3</sub>S e C<sub>3</sub>A, gerando uma maior reatividade, exposta a uma condição ambiente que não propicie cura. Sendo assim, a água liberada pelo FCPSA passa a ser logo consumida pela matriz cimentícia, mantendo a estrutura hidratada conforme necessidade. Com isso, é logo observado um equilíbrio das

vantagens e desvantagens da adição do FCPSA, por um lado tem-se uma melhor hidratação do clínquer, e por outro a porosidade deixada à matriz. Nas demais condições, em que a ANOVA apresentou-se como significativa tem-se a presença de FCPSA+, ou seja, uma dosagem exagerada de FCPSA, gerando um aumento de água na estrutura (que passa a ser liberada desde a inserção do FCPSA na mistura).

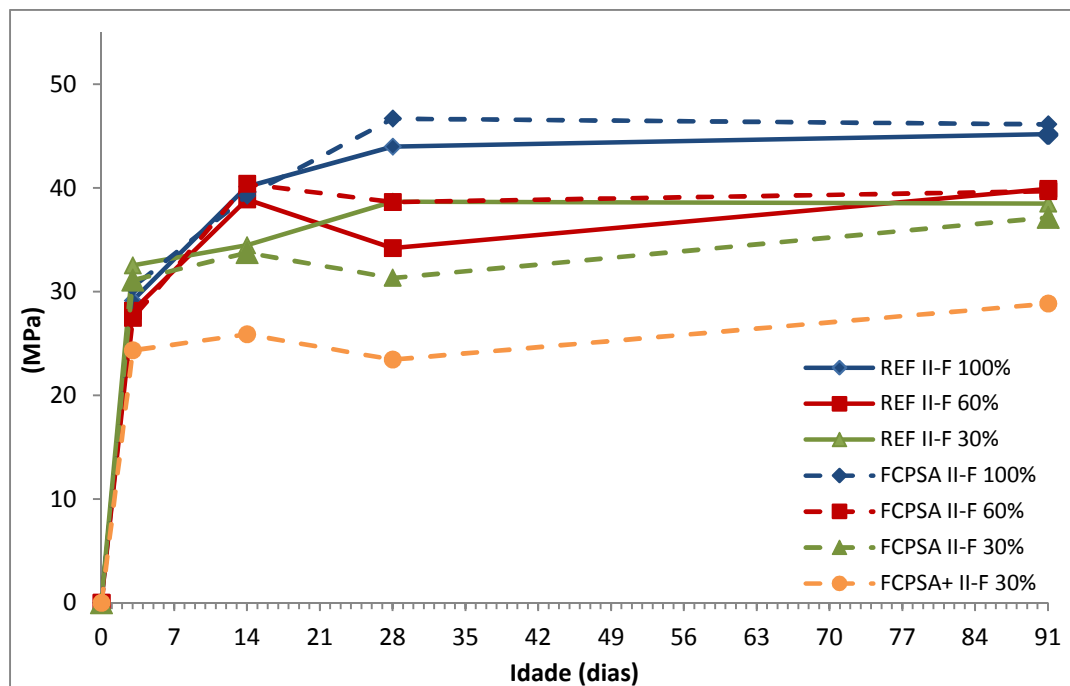
Para o CP IV 32 a análise é similar. O CP IV 32, por apresentar um alto teor de adição pozolânica, com percentual de resíduo insolúvel de 33% (Tabela 7) com uma menor reatividade (fator clínquer menor). apresenta uma taxa de hidratação mais lenta. Com isso, em todas as situações tem-se uma elevada taxa de água distribuída pela matriz cimentícia, sem a necessidade da água do FCPSA para a hidratação nessa situação.

#### 4.5.1 CP II-F 40

Na Tabela 16 e Figura 31 são apresentados os resultados de resistência à compressão das amostras moldadas com cimento CP II-F 40 em todas as condições de exposição abordadas (100%, 60% e 30% de UR), até a idade de 91 dias. Os resultados, na íntegra, com valores médios, potenciais, análise de desvio padrão, coeficiente de variação podem ser encontrados no Apêndice B.

**Tabela 16: Síntese dos resultados médios de compressão obtidos para o CP II-F 40.**

Traço	Resistência Média (MPa)			
	3 Dias	14 Dias	28 Dias	91 Dias
REF II-F 100%	29,13	40,13	43,98	45,18
REF II-F 60%	28,15	38,89	34,18	39,90
REF II-F 30%	32,53	34,46	38,68	38,48
FCPSA II-F 100%	30,43	39,26	46,69	46,14
FCPSA II-F 60%	27,48	40,40	38,65	39,70
FCPSA II-F 30%	31,10	33,76	31,34	37,17
FCPSA+ II-F 30%	24,36	25,90	23,47	28,85



**Figura 31- Resistência à compressão média das argamassas moldadas com CP II-F 40**

A análise estatística, com síntese apresentada na Tabela 17, foi realizada por meio da ANOVA. Sua análise completa pode ser encontrada na íntegra no Apêndice D. Foi analisada entre idades, condição de exposição e com a adição de FCPSA, com um nível de confiança de 95% (valor- $P < 0,05$ ).

**Tabela 17: Síntese dos resultados da análise de variância (ANOVA) do efeito do uso de FCPSA, da condição de cura e da análise entre idades na resistência à compressão para o CP II-F 40.**

Efeito	Idades				Com ou sem adição	Condição de cura	Idade
	3 dias	14 dias	28 dias	91 dias			
Ref x FCPSA 100%	NS	NS	S	NS	-	-	-
Ref x FCPSA 60%	NS	NS	S	NS	-	-	-
Ref x FCPSA 30%	NS	NS	S	NS	-	-	-
FCPSA x FCPSA+	S	S	S	S	-	-	-
100%	-	-	-	-	NS	-	S
60%	-	-	-	-	S	-	S
30%	-	-	-	-	S	-	S
Referência	-	-	-	-	-	S	S
FCPSA	-	-	-	-	-	S	S

Onde NS = não significativo e S = significativo

Ao se comparar as argamassas ao longo das idades, baseado em todos os resultados obtidos (Apêndice B) dentro de uma mesma condição de exposição (100%, 60% ou 30%), tem-se que as resistências à compressão não apresentam diferença

significativa entre as argamassas referência e com FCPSA, independente da condição de cura (com exceção da idade de 28 dias para ambas). Ou seja, a adição de FCPSA com dosagem calculada não gera interferência nas resistências conforme idades. A exceção observada na idade de 28 dias está relacionada à mesma situação apresentada no programa piloto, e, até o presente momento, não se têm uma resposta consistente para explicar tal fato, contudo observa-se que a resistência volta a crescer na idade posterior. Já, ao se comparar as argamassas submetidas a 30% UR, com dosagem estimada de FCPSA, observa-se que o efeito é significativo para todas as idades.

Para as argamassas submetidas a 100% UR é observado um efeito não significativo da adição de FCPSA à matriz cimentícia. Tal fato deve-se a argamassa referência já apresentar um meio de recebimento de água (cura externa), evitando a evaporação da água da matriz. E, para a argamassa com FCPSA não se tem uma melhora na resistência à compressão devido à porosidade deixada pelo FCPSA à matriz. Com isso, tem-se um equilíbrio entre as propriedades do FCPSA, uma desvantagem quanto à porosidade gerada e a vantagem pela melhor hidratação das partículas de cimento (efeito de cura interna), equivalendo, assim, a resistência mecânica final.

Já nas argamassas submetidas a 60% e 30% UR o efeito é contrário, a análise de variância (ANOVA) apresentou efeito significativo para o uso da adição do FCPSA. Isso se deve ao fato das condições de exposição não fornecerem água para a prática da cura, fazendo com que as argamassas referência estejam expostas a evaporação da água da matriz. E, as argamassas contendo FCPSA apresentam reservatórios internos de água, melhorando as propriedades microestruturais, porém, após alguns dias, com a cessão da água do reservatório interno, geram porosidade, fazendo com que suas resistências médias, aos 91 dias, sejam equivalente para a argamassa submetida a 60% UR e inferior para a argamassa submetida a 30% UR. .

De modo geral, observa-se que as argamassas submetidas a melhores condições de exposição apresentam melhores resistências à compressão. Ou seja, a analogia apresentada por Mehta e Monteiro (2014), expressa na Figura 5, é a mesma encontrada no estudo em questão. Mesmo o FCPSA apresentando a capacidade de reservatório interno de água, a propriedade da matriz não é melhorada a ponto de alcançar



melhores resistências mecânicas ao longo das idades. Isso se deve unicamente a porosidade deixada à matriz.

Entretanto, na condição de cura mais extrema para matrizes cimentícias, com temperatura elevada e baixa umidade relativa, o maior ganho de resistência, na idade de três dias, é alcançado para a argamassa sem a adição de FCPSA, chegando a 32,53 MPa. A partir da análise das demais idades é possível observar que esta argamassa apresenta um menor crescimento potencial de resistência nas idades posteriores. O elevado ganho de resistência inicial e sua estabilização é consequência da condição de exposição a umidade relativa. Inicialmente, por estar inserido em um ambiente de temperatura elevada tem-se um crescimento acelerado da resistência e, como consequência, o consumo total de água interna da mistura, cessando assim a potencialidade do seu aumento para as demais idades, paralisando a hidratação do cimento.

Com relação às argamassas FCPSA+, pode-se observar que esta apresenta resistência potencial inferior às demais argamassas em todas as idades. Tal fato deve-se a porosidade gerada pela quantidade excessiva de material residual. Com isso observa-se que a adição de agentes de cura interna deve ser realizada com dosagem calculada, pois, com adição estimada, representando apenas 0,26% de FCPSA sobre o consumo de cimento, já se observa uma queda de resistência de 22% aos 91 dias (comparado à argamassa contendo FCPSA calculado).

Conforme esperado para este tipo de cimento, observa-se uma estabilização das resistências na idade de 28 dias. O CP II-F 40, por ser um cimento sem adições alcança seu potencial máximo de ganho de resistência já aos 28 dias, diferente e cimentos que possuem adições pozolânicas.

#### 4.5.2 CP IV 32

Na Tabela 18 e Figura 32 estão apresentados os resultados de resistências à compressão médios das argamassas moldadas com o cimento CP IV 32 em todas as condições de exposição (100%, 60% e 30% de UR) até a idade de 91 dias. Os resultados, na íntegra, com valores médios, potenciais, análise de desvio padrão, coeficiente de variação podem ser encontrados no Apêndice B.

**Tabela 18: Síntese dos resultados médios de compressão obtidos para o CP IV 32.**

Traço	Resistência Média (MPa)			
	3 dias	14 dias	28 dias	91 dias
REF IV 100%	11,29	25,76	32,67	40,60
REF IV 60%	11,35	22,08	19,92	23,35
REF IV 30%	13,71	19,71	15,34	16,74
FCPSA IV 100%	10,04	24,46	33,71	38,25
FCPSA IV 60%	10,04	20,64	22,13	20,54
FCPSA IV 30%	12,08	14,07	15,49	18,92
FCPSA+ IV 30%	8,60	10,71	13,71	14,34

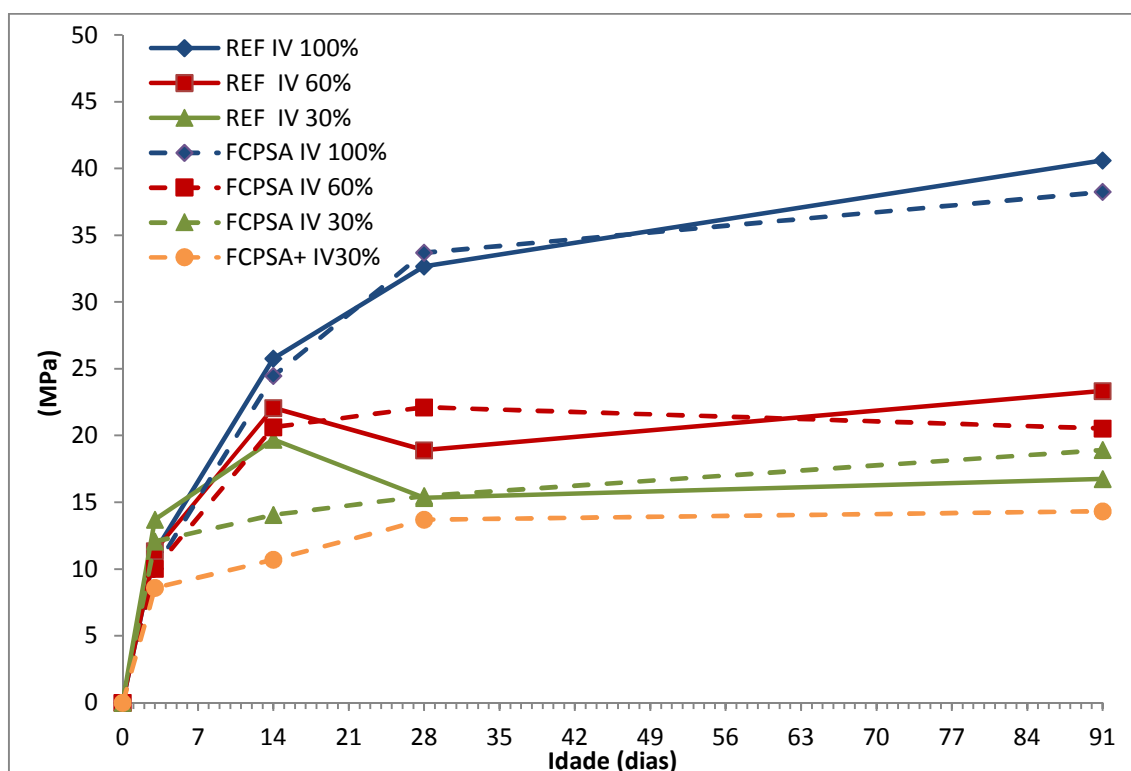


Figura 32- Resistência à compressão média das argamassas moldadas com CP IV 32.

A análise estatística foi realizada por meio da ANOVA, podendo ser encontrada uma síntese dos resultados na Tabela 19. Sua análise, na íntegra, pode ser encontrada no Apêndice D. A análise foi realizada analisado idades, condição de cura e com ou sem o uso de FCPSA, com um nível de confiança de 95% (valor- $P < 0,05$ ).

Tabela 19: Síntese da análise de variância (ANOVA) do efeito do uso de FCPSA, da condição de cura e da análise entre idades na resistência à compressão para o CP IV.

Efeitos	Idade				Com ou sem adição	Condição de cura	Idade
	3 dias	14 dias	28 dias	91 dias			
Ref X FCPSA 100%	NS	S	NS	S	-	-	-
Ref X FCPSA 60%	S	S	S	S	-	-	-
Ref X FCPSA 30%	S	S	NS	NS	-	-	-
FCPSA X FCPSA+	S	S	NS	S	-	-	-
100%	-	-	-	-	NS	-	S
60%	-	-	-	-	NS	-	S
30%	-	-	-	-	S	-	S
Referência	-	-	-	-	-	S	S
FCPSA	-	-	-	-	-	S	S

Onde NS = não significativo e S = significativo

Ao analisarem-se as argamassas ao longo das idades, observando-se todos os resultados obtidos, dentro de uma mesma condição de exposição (100%, 60% ou 30%), tem-se que as resistências médias não apresentam tendência de comportamento similar ao obtido com o CP II-F 40. Neste caso observa-se que até a idade de 14 dias o uso de FCPSA apresenta efeito significativo à mistura (com exceção de 100% UR). Em todos os casos as argamassas referência apresentam resistência média superior às contendo FCPSA, demonstrando que o material incorporado apresenta um efeito inicialmente negativo à mistura. Tal fato deve-se ao CP IV 32 ser um cimento de hidratação lenta, pela grande quantidade de material pozolânico. E, com isso, não apresenta necessidade da água de cura interna até tal idade, o que faz com que se tenha uma grande quantidade de água na mistura, desacelerando o ganho de resistência. A não significância das diferenças de média de resistência apresentadas para a idade de 3 dias a 100% UR somente estabelece a validade da informação, ou seja, o ganho de resistência é o mesmo com ou sem FCPSA onde as duas argamassas receberem cura, interna ou externa.

Contudo, na idade posterior, 28 dias, observa-se uma predominância do efeito não significativo para o uso do FCPSA. Decorrente da hidratação lenta do CP IV 32, para este cimento tem-se o atraso do efeito encontrado no CP II-F 40, onde a melhor hidratação de partículas de cimento equivale à perda resistência gerada pela porosidade deixada pelo FCPSA. E, com 91 dias o uso de FCPSA torna-se novamente significativo, com resultados de resistências médios à compressão superiores para as argamassas referência. A menor resistência média encontrada para as argamassas contendo FCPSA é atribuída à porosidade deixada na matriz pelo FCPSA.

Para as argamassas submetidas a 100% UR é observado um crescimento significativo da resistência até a idade de 91 dias, não se estabilizando até tal idade. Este crescimento não é observado nas demais condições de exposição das argamassas, que apresentaram estabilização das resistências já na idade de 28 dias, sendo esta uma característica não esperada para este tipo de cimento. Entretanto, como essas argamassas apresentavam-se em condições de exposição em que não receberam cura, o ganho de resistência é estabilizado. E, mesmo as argamassas com a dição de FCPSA, que na idade de 28 dias apresentam resistências médias superiores as argamassas referência potencializadas pela cura interna do FCPSA, apresentam estabilização da resistência. Estas resistências passam a estabilizar em função do termino da água dos reservatórios internos. Ou seja, mesmo que as argamassas recebendo cura interna, esta não é suficiente para alcançar o patamar de desempenho de condição ideal aos 28 dias, apresentando por Mehta e Monteiro na Figura 5, fazendo-se necessário o uso da cura externa, conforme mencionado por Cusson e Hoogeveen (2008).

Porém, como mencionado, o cimento CP IV 32 as argamassas submetidas a 100% UR apresentaram um retardo no ganho das resistências (em função das características de composição do cimento) e mantiveram-se crescendo até a idade de 91 dias, sem apresentar estabilização. Com isso, pode-se ainda obter crescimento de resistência para idades posteriores aos 91 dias (não testadas no estudo), fazendo com que haja uma predominância de efeito não significativo para o uso do FCPSA ao longo das idades.

Tal como observado no CP II-F 40, na idade de três dias as argamassas que estavam em condições de temperaturas mais elevadas, propiciando o crescimento acelerado de resistência, apresentaram de fato melhores resistências, sendo observada na argamassa referência curada a 30% UR. Já com o decorrer da idade, aos 14 dias esta argamassa apresentou um crescimento inferior a 50%, diferente da curada a 100%, que entre as idades cresceram mais de 120%.

Na argamassa com o dobro de FCPSA (FCPSA+) obteve-se o mesmo desempenho observado no CP II-F 40, resistências inferiores às demais argamassas, comprovando a necessidade do cálculo do volume adequado de FCPSA para incorporação em matrizes cimentícias. Nas idades iniciais obteve-se uma resistência

próxima as demais devido ao efeito de cura interna, porém, no decorrer das idades, a água destinada a cura interna passou a dar lugar a uma alta porosidade.

#### **4.5.3 Síntese dos resultados de compressão**

De modo geral, em ambos os tipos de cimento, observa-se que:

- a) O comportamento do uso de FCPSA é similar entre os cimentos, porém as reações ocorrem de forma mais lenta no cimento PC IV 32;
- b) A prática de cura interna não substitui a da cura externa, sendo esta ainda necessária, principalmente pela cura externa evitar a evaporação excessiva de água da superfície da estrutura;
- c) As argamassas que não recebem cura, tanto interna quanto externa, apresentam mais rapidamente uma paralização da hidratação das partículas de cimento, acarretando em uma menor resistência final;
- d) Como observado em estudos anteriores utilizando-se PSA's, o uso de PSA acarreta em uma porosidade na estrutura, que passa a prejudicar a resistência. Mesmo efeito foi observado utilizando-se o FCPSA. Entretanto, as perdas não se apresentaram tão significativas em função da melhor consistência alcançada com o FCPSA inserido pré-saturado à mistura, diminuindo a relação a/c;
- e) O uso estimado de FCPSA, em quantidades não calculadas, afeta de forma negativa as resistências à compressão, o que faz necessário se conhecer o material previamente (taxas de absorção) antes de incorporá-lo a uma matriz cimentícia.

#### **4.6 RETRAÇÃO POR SECAGEM**

A Figura 33, Figura 34, Figura 35 e Figura 36 apresentam os resultados de retração encontrados para os cimentos CP IIF e CP IV nas idades de 24h até 91 dias. As leituras realizadas em cada uma das idades estão apresentadas no Apêndice C, em anexo.

#### 4.6.1 CP II-F 40

A Figura 33 apresenta os resultados de retração obtidos com o CP IIF, medidos nas idades de 24h até a idade de 91 dias. Na Tabela 20 é apresentada a análise de variância (ANOVA) simplificada, do uso do material residual e da condição de exposição, com um nível de confiança de 95% (valor- $P < 0,05$ ). A ANOVA pode ser encontrada na íntegra no Apêndice D.

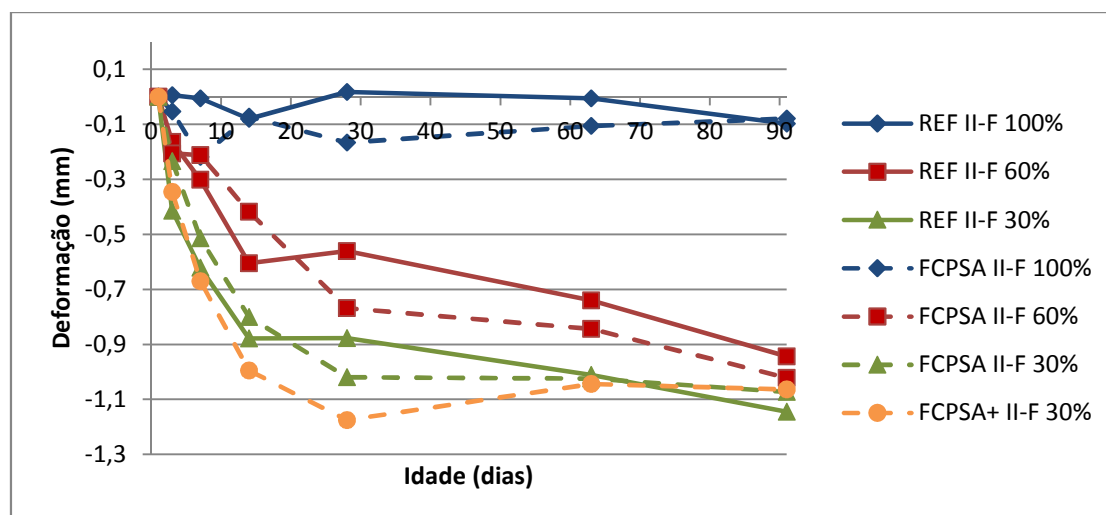


Figura 33- Retração média das argamassas moldadas com CP II-F 40.

Tabela 20: Síntese da análise de variância (ANOVA) do efeito do uso de FCPSA e condição de cura na retração para o CP II-F 40.

Efeitos	Uso de FCPSA	Condição de exposição	Idade
100%	NS	-	NS
60%	NS	-	S
30%	NS	-	S
Referência	-	S	S
FCPSA	-	S	S

Onde NS = não significativo e S = significativo

A partir da Figura 33 é possível observar que, no decorrer das idades, a deformação está diretamente relacionada à condição de exposição das argamassas e da porosidade deixada à matriz. Para as argamassas em melhores condições exposição (100% UR) tem-se uma retração mais próxima a zero ( $\approx 0,1$  mm) e, já, para as argamassas em condição de exposição de 30% de umidade relativa (pior condição de exposição), tem-se resultados de retrações maiores ( $\approx 1,1$  mm). Resultados similares são encontrados por

Diniz, Fernandes, Kuperman (2011), Hermite<sup>5</sup> (1960) apud Mehta e Monteiro (2014), Petrucci (1973), que afirmam que melhores condições de cura apresentam valores de retração próximos à zero.

De modo geral, a condição de exposição é um fator relevante no estudo de combate a retração. Contudo, o uso do FCPSA não apresenta melhoras significativas. Algumas variações podem ser observadas.

Na condição de 100% UR, no decorrer dos 91 dias, observa-se que as argamassas apresentam valores médios de retração sempre próximos à zero, porém a argamassa contendo FCPSA apresenta um valor de retração de  $\approx 0,1$  mm superior a argamassa referência, com efeito não significativo por análise de variância (ANOVA). A retração superior encontrada para a argamassa FCPSA é gerada pela porosidade deixada pelo FCPSA à matriz. Para as argamassas na condição de exposição de 60% UR observa-se que a retração é aproximadamente 91% superior a condição de 100% na idade de 91 dias. Nesta idade, para FCPSA, a retração é 8% superior a argamassa referência, também provocado pela porosidade deixada à matriz. Já na condição de 30% UR, na idade de 91 dias, as argamassas contendo FCPSA (FCPSA e FCPSA+) apresentam desempenho superior a argamassa referência, mantida sob mesma condição de exposição. Entretanto, nas idades inferiores há uma variação da retração, horas inferiores, hora superiores para o FCPSA.

Analisando a argamassa contendo uma dosagem estimada de FCPSA (FCPSA+) observa-se que, como na resistência à compressão, seu desempenho é inferior às demais argamassas, apresentando uma elevada retração. Contudo, na idade de 91 dias a retração alcançada é similar a alcançada com as argamassas com dosagem calculada de FCPSA.

De modo geral, é observado que, mesmo com a porosidade interna, tem-se uma diminuição da retração em idades iniciais para condições de exposição não ideais, observando um efeito significativo no combate a retração utilizando-se FCPSA. Ou seja, conforme observado mais claramente na Figura 34, o material residual atua no combate a retração até a idade de aproximadamente 20 dias. Em idade inicial de três dias, para a

---

<sup>5</sup> HERMITE, R. L. Proceedings of the Fourth International Symposium on Chemistry of Cements, Washington, D. C., 1960.

condição de 60% UR, o uso de FCPSA, apresenta uma redução de 20% na retração encontrada. Já para a condição de 30% UR, o combate a retração é ainda mais efetivo, tem-se uma redução de 43% na retração. Ou seja, quando a argamassa é submetida a menores umidades relativas, o agente de cura interna passa a liberar a água com maior velocidade nas idades iniciais, suprimindo a necessidade de hidratação da argamassa. Nesse sentido tem-se uma melhora de resistência à compressão inicial e uma menor propagação da retração. Entretanto esses valores não são mantidos até as idades posteriores em função da porosidade deixada à matriz.

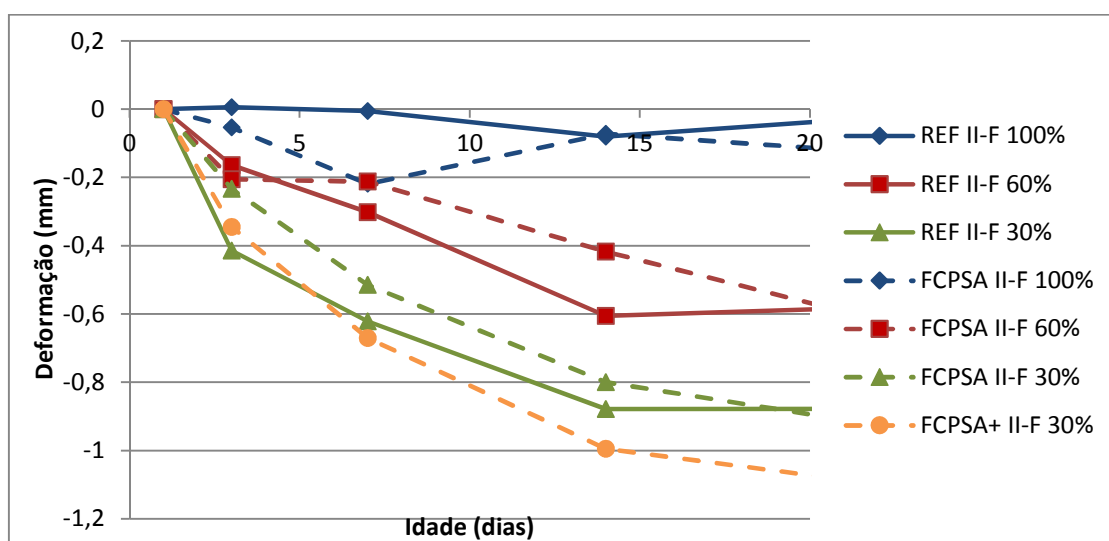


Figura 34- Retração média das argamassas moldadas com CP II-F 40 até a idade de 20 dias.

#### 4.6.2 CP IV 32

A Figura 35 apresenta os resultados de retração encontrados para o CP IV 32, até a idade de 91 dias. Na Tabela 21 é apresentada a análise de variância (ANOVA) simplificada, do uso do material residual e da condição exposição, com um nível de confiança de 95% (valor- $P < 0,05$ ). A ANOVA pode ser encontrada na íntegra no Apêndice D.



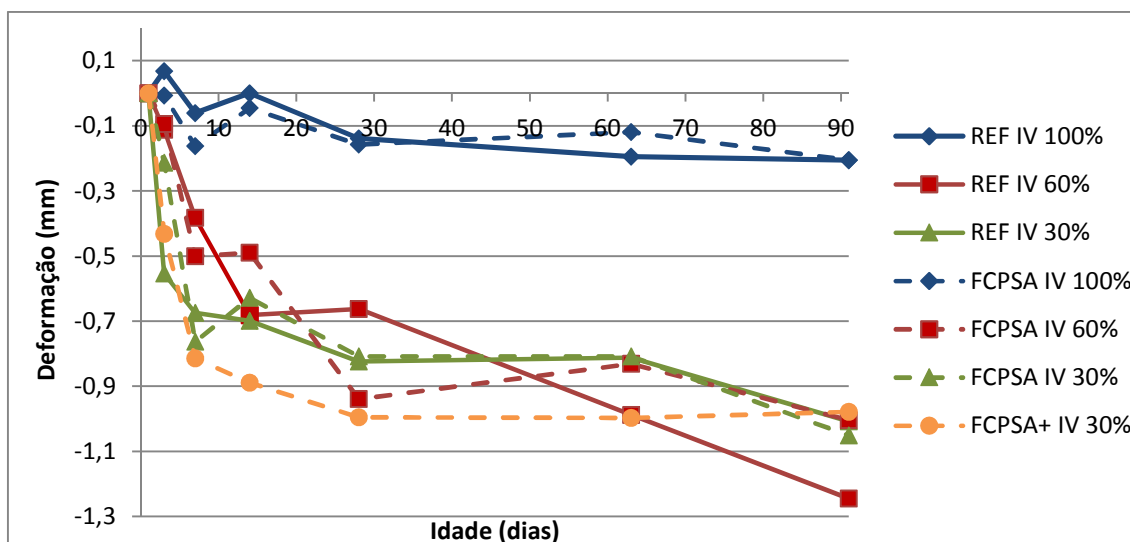


Figura 35- Retração média das argamassas moldadas com CP IV 32.

Tabela 21: Síntese da análise de variância (ANOVA) do efeito do uso de FCPSA e condição de cura na retração para o CP IV 32.

Efeitos	Uso de FCPSA	Condição de exposição	Idade
100%	NS	-	S
60%	NS	-	S
30%	NS	-	S
Referência	-	S	S
FCPSA	-	S	S

Onde NS = não significativo e S = significativo

Tal como observado no CP II-F 40, para este tipo de cimento a condição de exposição apresenta-se significativa na propagação da retração. Ou seja, em melhores condições de exposição (100% UR) a retração é menor do que as encontradas em ambientes mais propícios a ocorrer retração, como 60% e principalmente, 30% UR. Já usar FCPSA não apresenta significância no combate a retração, independente da condição de exposição. Algumas variações podem ser observadas.

Para as argamassas expostas a 100% UR os valores de retração são mais próximos a zero, chegando a 0,205 mm para ambas as argamassas na idade de 91 dias. Já para as argamassas submetidas a 60% UR, observa-se uma melhora nos valores de retração com o uso do FCPSA, onde se tem uma redução de aproximadamente 20% da retração, também aos 91 dias. A argamassa referência, após 28 dias, tende dobrar, de 0,663 mm aos 28 dias e chegando a 1,245 mm de retração aos 91 dias. Entretanto, por meio de análise de variância, o uso de FCPSA não se apresenta significativo no combate a retração.

O uso de FCPSA, na condição de 30% UR também não apresenta diferença significativa quanto à minimização da retração. Contudo, é importante destacar que a retração encontrada para esta condição de cura é similar à retração da argamassa contendo FCPSA mantidas a 60% de UR, aos 91 dias.

Já para a argamassa contendo a dosagem estimada material residual para a cura interna (FCPSA+) tem-se, similar ao ocorrido com o CP II-F 40, o pior desempenho, apresentando os maiores valores de retração. Porém, a partir dos 28 dias tem-se uma estabilização de sua retração, fazendo com que ela, na idade de 91 dias, seja inferior às argamassas mantidas a 60% UR e 30% UR..

Ao se analisar os resultados obtidos nas idades iniciais (Figura 36) observa-se, para a condição de 30% UR, tem-se a mesma tendência de comportamento das argamassas obtidas com o CP II-F 40. Observa-se que quanto pior a condição de exposição das argamassas, melhor foi a ação do FCPSA quanto ao combate da retração nas idades iniciais. Para esta condição de exposição observou-se uma redução de 61% na retração com o uso de FCPSA, na idade de três dias, reduzindo a retração de 0,55 mm para 0,21 mm.

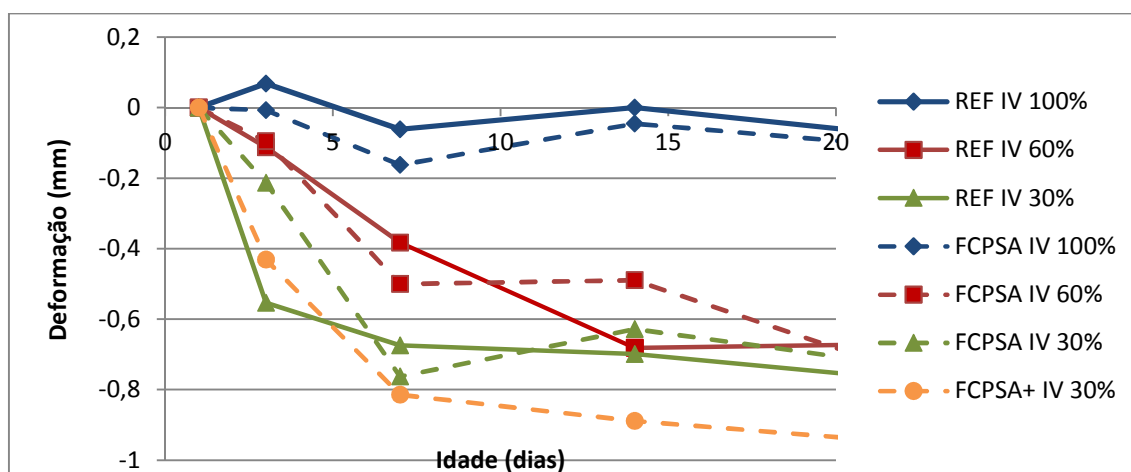


Figura 36- Retração média das argamassas moldadas com CP IV 32 até a idade de 20 dias.

#### 4.6.3 Síntese dos resultados de retração

De modo geral, independente do tipo de cimento, observa-se que:

- tal qual observado nas resistências à compressão, a condição de exposição é um fator determinante para a propagação da retração. Quanto pior a condição de cura, maior a retração encontrada;

- b) a adição de FCPSA à mistura não apresenta efeito significativo no combate à retração em todas as condições de exposição. Com a liberação da água para a mistura, surgem poros que tendem a gerar maiores movimentos de retração, equivalendo-se às argamassas de referência, que apresentam maior relação a/c;
- c) os efeitos significativos do uso de FCPSA são encontrados em idades iniciais, principalmente até três dias, nas argamassas submetidas a temperaturas elevadas e baixa umidade relativa. No caso, observou-se uma redução de 43% da retração para o cimento CP II-F 40 e 61% para o cimento CP IV 32 a uma condição de exposição de 30% UR. E, para o cimento CP II-F 40, na condição de exposição de 60%, tem-se uma redução de retração de 20%.

#### 4.7 RETRAÇÃO PLÁSTICA

Nas Figura 37 a Figura 40 são apresentados os resultados de retração plástica obtido no período de 24h, curadas a 30% e 60% de umidade relativa, com as argamassas Referência e com o uso de FCPSA, em ambos os cimentos do estudo. Os dados apresentados foram calculados conforme Equação 4.

##### 4.7.1 CP II- F 40

A Figura 37 apresenta os deslocamentos lineares obtidos com o cimento CP II-F 40 a uma condição de exposição de 60% UR.

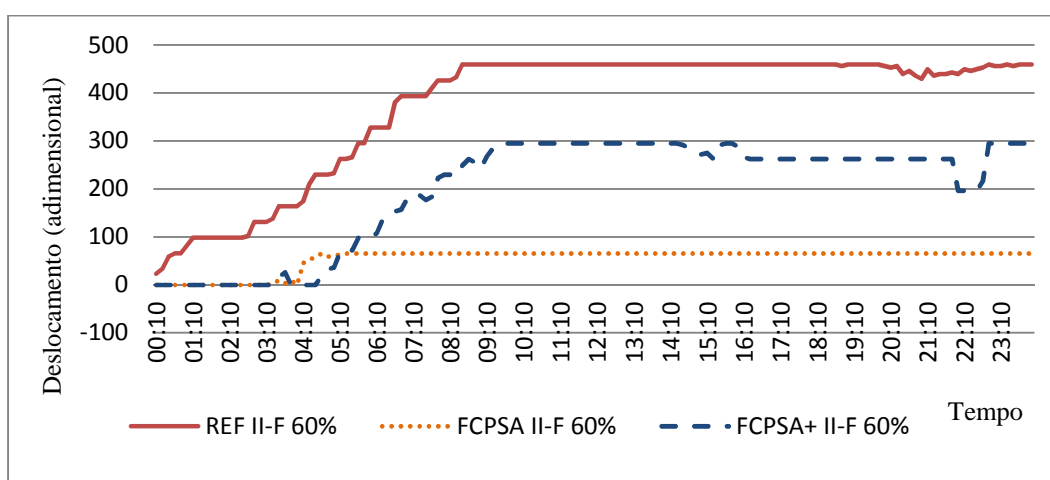


Figura 37 - Deslocamento inicial das argamassas mantidas a 60% UR, moldadas com CP II-F 40.

Na análise é observado que a argamassa referência apresenta resultados de retração plástica 35% superior a argamassa FCPSA e 85% superior a FCPSA+, com deslocamento visualizado já no tempo inicial. O deslocamento (adimensional) apresenta comportamento linear ascendente até o tempo de 8h30min, onde apresenta estabilização, permanecendo estável até 19h30min, com um leve deslocamento até fechar 24h.

Salienta-se que com a técnica utilizada não é possível identificar dados como tempo de pega, relacionados ao calor de hidratação. Análises quanto à temperatura da argamassa e temperatura da condição de exposição foram medidas, entretanto, não se obtiveram nenhum resultado. De modo geral, a temperatura da argamassa medida durante o ensaio corresponde à temperatura da condição de cura, com isso, não sendo possível localizar picos de início e fim de pega.

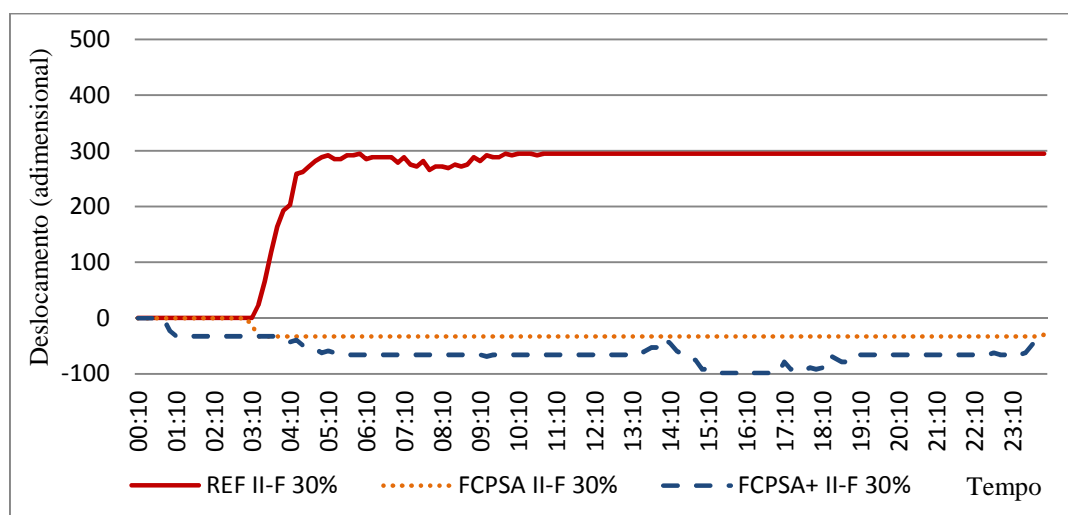
Quando analisado o comportamento das argamassas contendo FCPSA, tanto em dosagem calculada, quanto com dosagem estimada, se observam que o tempo de início de deslocamento inicial é retardado em 3h10min para ambas as argamassas. Este comportamento é favorável do ponto de vista de estabilidade de estruturas, uma vez que, quanto menor a movimentação por retração, menor a incidência de fissuras apresentadas.

A argamassa contendo FCPSA em dosagem calculada (FCPSA) também apresenta um comportamento linear ascendente de retração, conforme observado na argamassa referência, estabilizando-se com tempo de 5h10min de ensaio. Além disso, é importante destacar que o tempo de estabilização da argamassa referência ocorre somente com 8h, enquanto a argamassa contendo FCPSA é observada com apenas 4h30min. De modo geral, o uso de FCPSA, para esta condição, comparado à argamassa referência, gerou uma redução de 85% de retração plástica.

A argamassa com a dosagem estimada de FCPSA (FCPSA+) demonstra comportamento similar, no que se refere ao período de tempo, à argamassa FCPSA, com deslocamento inicial em 3h10min, porém já se estabilizando com 9h10min. Com 14h a argamassa apresenta uma movimentação de dilatação, possivelmente ocorrido por movimentação na mesa de ensaio. Com o uso dessa dosagem tem-se uma redução de 45% da retração comparada à referência, contudo, relacionando-se às demais análises (resistência à compressão e retração ao longo de 91 dias), observa-se que esta não é uma dosagem favorável a ser utilizada.

O comportamento de menor deslocamento observado para a argamassa FCPSA+ , quando comparado à argamassa referência, é explicado pela água de cura interna. Por apresentar uma dosagem maior de FCPSA, tem-se mais água de cura interna, mantendo mais estável a estrutura do CP II-F 40, que apresenta maior reatividade, por um período maior do que a que contém a dosagem calculada.

Na Figura 38 são observados os deslocamentos das argamassas submetidas a 30% de umidade relativa. Conforme já observado na condição de 60% UR, a argamassa referência apresenta o maior deslocamento linear. Entretanto, diferente do ocorrido a 60% UR, o deslocamento linear ascendente ocorre apenas com 3h, de forma acelerada, apresentando uma estabilização parcial com 5h de ensaio. Sua estabilização total ocorre com 10h40min.

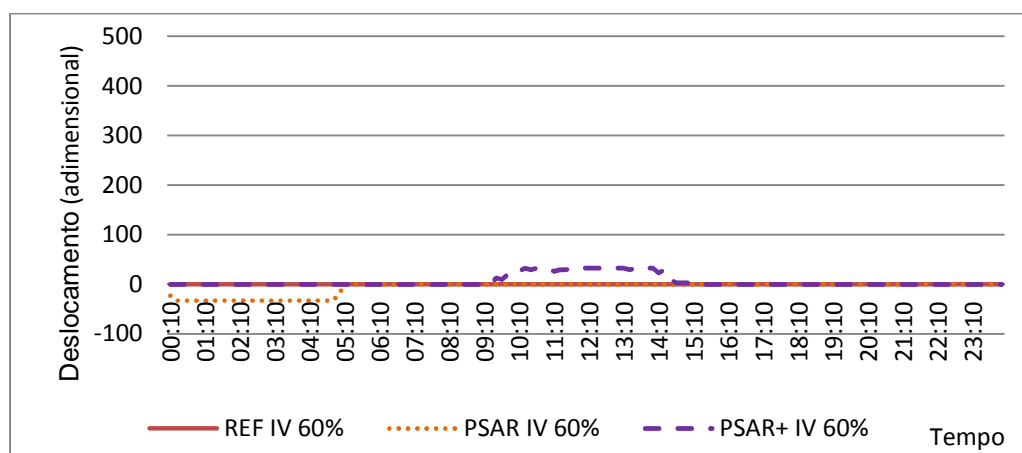


**Figura 38 - Deslocamento inicial das argamassas mantidas a 30% UR, moldadas com CP II-F 40.**

Para as argamassas contendo FCPSR observa-se uma expansão, e não uma retração conforme esperado. A expansão observada nas argamassas contendo FCPSA é resultando de uma pressão na saída da água da argamassa em função da alta temperatura ambiente, e elevado teor de reatividade do cimento CP II-F 40, tal qual observado por Shen et al (2016). O autor afirma que quanto mais água liberada pelo agente de cura interna em idades iniciais, maior será a expansão. Observa-se que, quanto maior a dosagem de FCPSA, maior a quantidade de água aprisionada na mistura, e maior a expansão. Além disso, durante a realização do ensaio, foi visualizada a expulsão de pasta pelas perfurações nas laterais da fôrma (local onde são inseridos os leitores LVDT). Esta expulsão da pasta não é visualizada nas demais condições do ensaio.

#### 4.7.2 CP IV 32

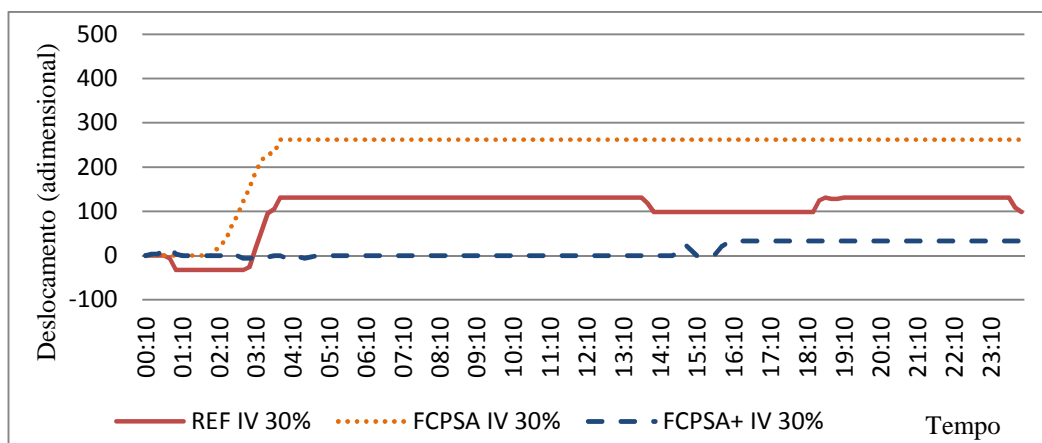
Para as argamassas moldadas com o cimento CP IV 32, mantidas a 60% UR (Figura 39), o comportamento de deslocamento de retração é diferente do observado no CP II-F 40. Observa-se não há retração propriamente dita, mas sim pequenos deslocamentos ocorridos ao longo do período de ensaio, voltando a estabilizar-se na retração zero em poucas horas. Estes pequenos deslocamentos, observados também no CP II-F 40, não apresentam relação direta com o deslocamento linear, mas sim com pequenas oscilações de bancada de ensaio ou, associadas à sensibilidade do equipamento, apresentando-se apenas como ruídos de ensaio.



**Figura 39 - Deslocamento inicial das argamassas mantidas a 60% UR, moldadas com CP IV 32.**

O não deslocamento observado nas argamassas moldadas com CP IV 32 é resultante da hidratação retardada pelas partículas em hidratação estarem mais separadas pelas pozolanas (CINCOTTO, 2011), tal qual observado nas resistências à compressão na idade inicial. Ou seja, tem-se um grande percentual de adição pozolânica, baixando o percentual de clínquer da mistura.

A Figura 40 apresenta o deslocamento de retração obtido com as argamassas mantidas a 30% UR. Nesta observa-se um comportamento diferente dos resultados obtidos anteriormente às argamassas mantidas a 60% UR.



**Figura 40 - Deslocamento inicial das argamassas mantidas a 30% UR, moldadas com CP IV 32.**

Enquanto que as argamassas curadas a 60% não apresentam retração em nenhuma das situações, as curadas a 30% apresentam retração para argamassas referência e FCPSA. Com dosagem estimada de FCPSA tem-se um deslocamento de retração zerado até 14h10min (apresentando algumas pequenas movimentações) e então, alcançando seu deslocamento final. Esta movimentação de retração observada nesta condição de cura está relacionada à temperatura ambiente, por ser mais elevada, acelera o ganho de resistência das argamassas e, conseqüentemente, gera movimentações de retração.

O maior deslocamento de retração é encontrado para a argamassa com a dosagem calculada de FCPSA, sendo este 100 vezes superior ao obtido com a argamassa referência. A expulsão de pasta pelas perfurações laterais da forma observada com o cimento CP II-F 40 não foram observada para este tipo de cimento em ambas as dosagens.

#### 4.7.3 Síntese dos resultados de retração plástica

Para os deslocamentos de retração plástica tem-se que:

- a) em ambos os tipos de cimento são observados deslocamentos de retração na idade de 24h para as argamassas mantidas em ambientes de exposição com umidades relativas mais elevadas. Já para ambientes com umidades relativas mais amenas, os deslocamentos de retração são observados somente no cimento sem adição, que apresenta maior reatividade inicial;
- b) para o cimento CP II-F 40 os melhores resultados são encontrados nas argamassas contendo FCPSA na dosagem calculada. Em ambas as

condições de cura, nesta dosagem os deslocamentos de retração/expansão são mais próximos à zero;

- c) para o cimento CP IV 32, na condição de exposição de 60% de umidade relativa não se observa retração plástica em nenhuma das argamassas em função e ser um cimento de hidratação lenta. Já para a condição de 30% UR o melhor resultado foi alcançado com as argamassas FCPSA+. Contudo, como observado nas demais análises, esta não tende a propiciar características desejáveis a uma estrutura de matriz cimentícia ao longo do tempo.
- d) para o cimento CP II-F 40 os primeiros deslocamentos são observados, em ambas as condições de cura, com aproximadamente 3h. Para o CP IV 32, a 30% UR os deslocamentos de retração não apresentam regularidade do momento de início;

#### 4.8 FISSURAÇÃO EM ESTADO FRESCO

A Figura 41 a Figura 47 apresentam as análises de fissuração realizadas com o cimento CP II-F 40 e cimento CP IV 32 na idade de 24h. A análise foi realizada somente na pior condição de exposição de 30% UR, e em pasta, em função de não se visualizar fissuras nas demais condições. As fissuras analisadas por imagem no programa AutoCAD são aquelas que apresentam espessura superior a 0,01 mm Na Figura 41 é apresentada uma síntese dos resultados alcançados, explicados separadamente, conforme tipo de cimento utilizado no estudo.

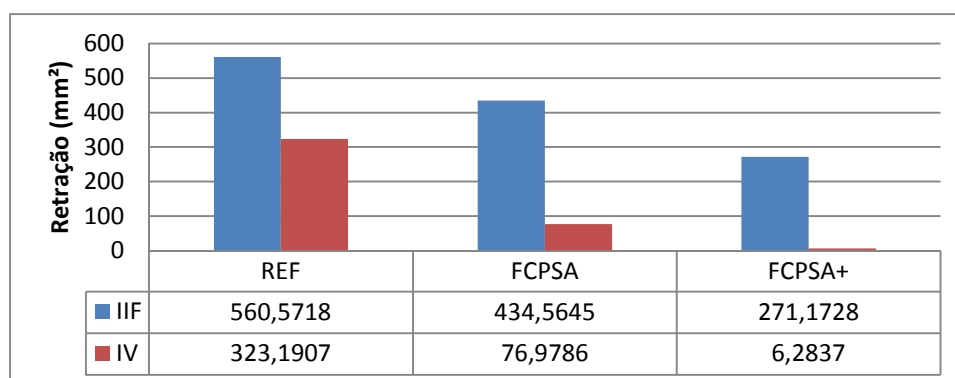


Figura 41 – Fissuração em estado fresco das argamassas curadas a 30% de umidade relativa.



#### 4.8.1 CP II-F 40

Nas Figura 42 a Figura 44 estão apresentadas as análises de fissuração realizadas em pastas de cimento moldadas com o cimento CP II-F 40. De modo geral, ao analisarem-se as imagens observa-se que quanto menor a cura realizada, maior a quantidade de fissuras das pastas.

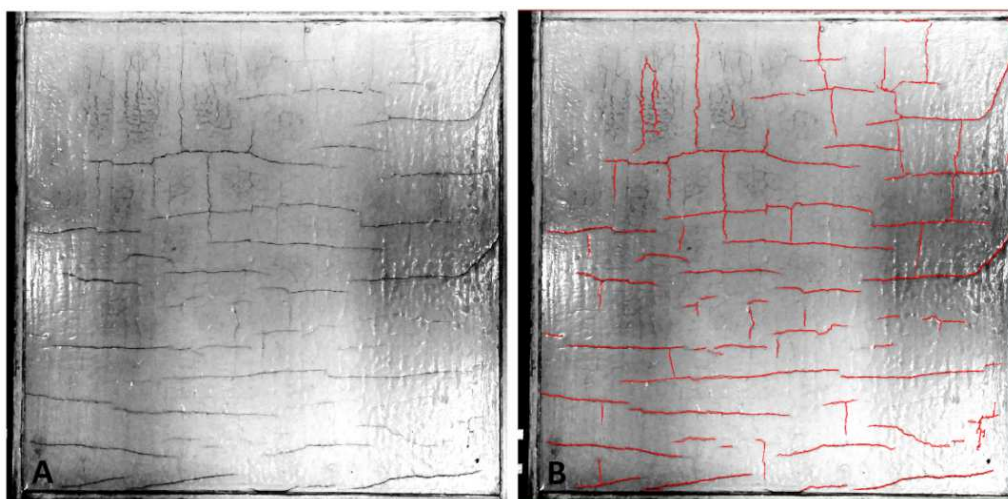


Figura 42 – Fissuração em estado fresco do CP II-F 40 observada para a aragamassa referência; A) imagem coletada 24h após o início do ensaio; B) imagem com área de fissura analisada por meio de AutoCAD.

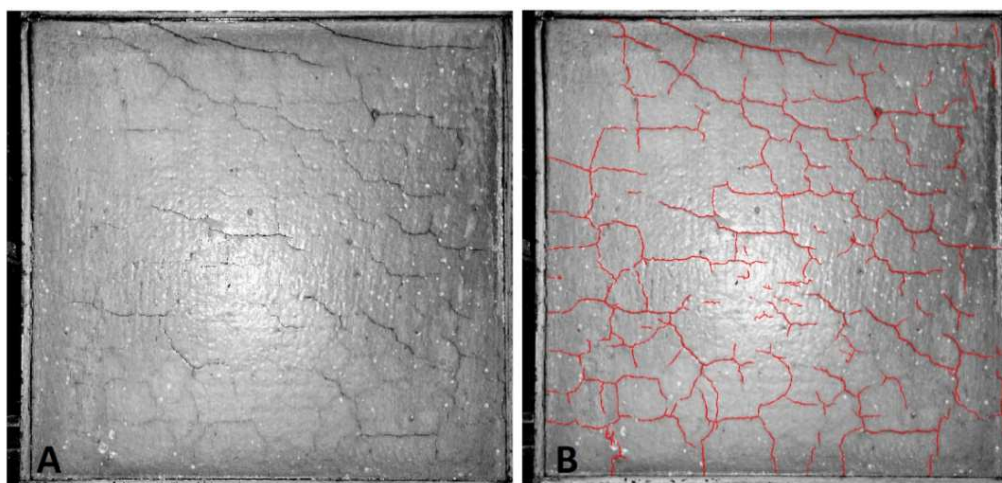
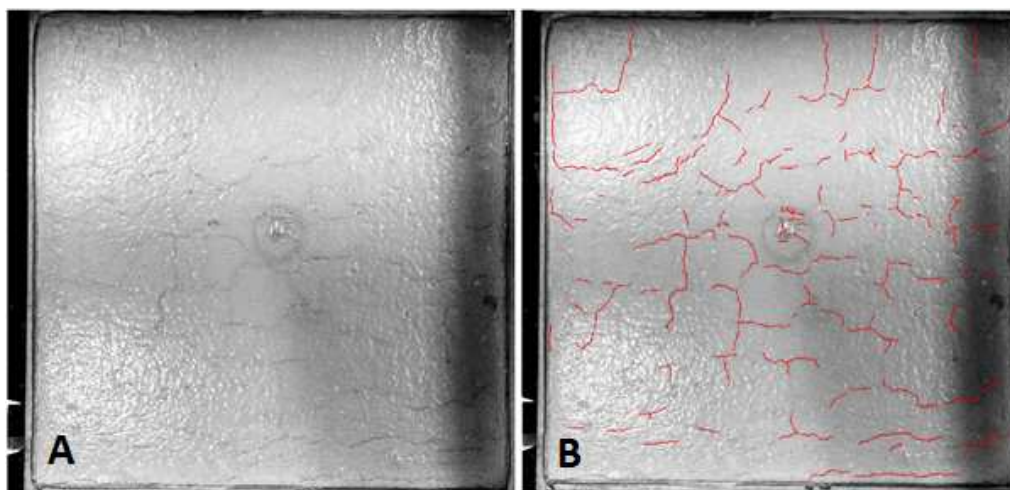


Figura 43 – Fissuração em estado fresco do CP II-F 40 observada para a aragamassa FCPSA; A) imagem coletada 24h após o início do ensaio; B) imagem com área de fissura analisada por meio de AutoCAD.



**Figura 44 – Fissuração em estado fresco do CP II-F 40 observada para a argamassa FCPSA+; A) imagem coletada 24h após o início do ensaio; B) imagem com área de fissura analisada por meio de AutoCAD.**

A argamassa referência, Figura 42, corresponde à argamassa que apresentou fissuras mais expressivas, de maior área, porém em menor quantidade. Na Figura 42-B são apresentadas as fissuras analisadas, apresentadas em vermelho. São fissuras no sentido horizontal e vertical, e apresentam-se mais concentradas no sentido de ranhura da forma. Esta argamassa apresenta 560,5718 mm<sup>2</sup> de área fissurada, correspondendo a 1,4% da área total da forma.

As fissuras analisadas na pasta moldada com FCPSA, com dosagem calculada, são apresentadas na Figura 43 e em vermelho na Figura 43-B. Nessa, diferente da referência, as fissuras não apresentam um sentido predominante, mas sim um formato craquelado. Contudo apresentam-se em maior quantidade, distribuídas por toda a placa analisada. A área fissurada corresponde a 1,09% da área total da forma, totalizando 434,5645 mm<sup>2</sup>. De modo geral, ao comprar-se esta pasta a pasta referência, o uso de FCPSA alcançou uma redução de 22,48% de área de fissuração.

Já para a pasta contendo a dosagem estimada (FCPSA+), Figura 44, o comportamento das fissuras é similar às que ocorrem com a dosagem calculada de FCPSA, porém em menor proporção. Por possuir mais água na mistura, esta pasta tende a diminuir a área de fissuração. Possui 271,1728 mm de área fissurada, correspondendo a 0,68% da área total da forma e uma redução de 51,63% da área comparada à referência.

De modo geral, observando a Figura 41, tem-se que o uso de FCPSA apresenta vantagem na análise de fissuração, tanto com dosagem calculada, quanto

estimada, correspondendo a valores inferiores de área fissurada comparada a argamassa referência. A redução apresentada é bastante significativa para a pasta FCPSA+ e visualizada de forma expressiva na Figura 44-B, entretanto, o desempenho não é favorável para resultados de resistência à compressão e de retração.

#### 4.8.2 CP IV 32

Nas Figura 45 a Figura 47 estão apresentadas as análises realizadas em pastas moldadas com o cimento CP IV 32, mantidas a 30% UR.

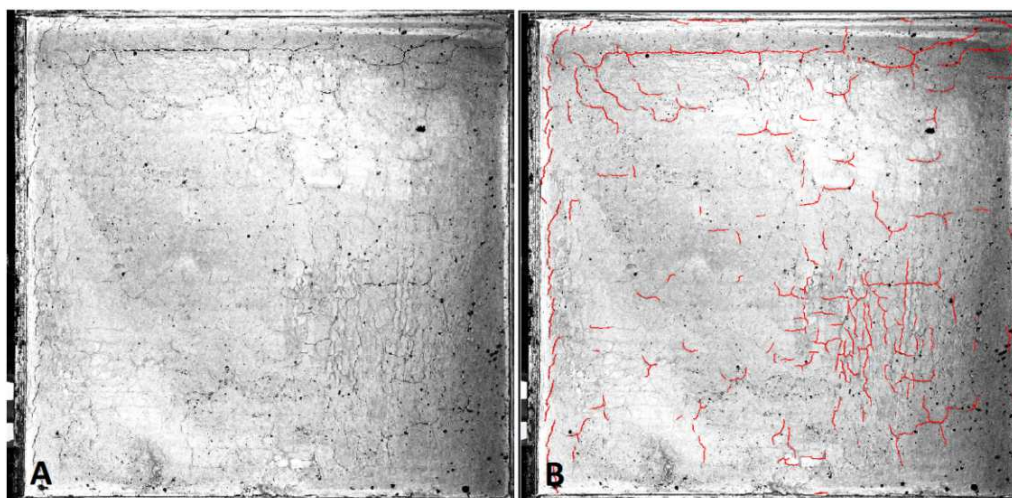


Figura 45 – Fissuração em estado fresco do CP IV 32 observada para a argamassa referência; A) imagem coletada 24h após o início do ensaio; B) imagem analisada por meio de AutoCAD.

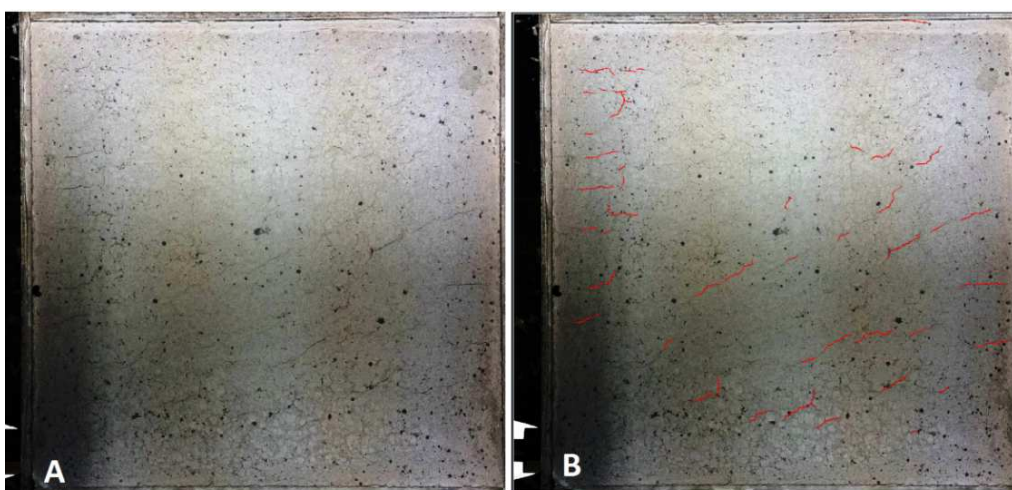


Figura 46 – Fissuração em estado fresco do CP IV 32 observada para a argamassa FCPSA; A) imagem coletada 24h após o início do ensaio; B) imagem analisada por meio de AutoCAD.



**Figura 47 – Fissuração em estado fresco do CP IV 32 observada para a aragamassa FCPSA+; A) imagem coletada 24h após o início do ensaio; B) imagem analisada por meio de AutoCAD.**

De modo geral, diferente do CP II-F 40, estas pastas apresentam áreas muito inferiores de fissuração, porém com comportamento similar. Não apresentam sentido horizontal ou vertical e em menor quantidade devido ao baixo calor de hidratação gerado por este tipo de cimento. As fissuras apresentam-se em maior quantidade para pastas sem cura interna, chegando a quase inexistirem para pastas com dosagem estimada de FCPSA.

A pasta referência (Figura 45) apresenta a maior área fissurada, com 323,1907 mm<sup>2</sup> de área da forma, correspondendo a apenas 0,81% da área total. Na pasta contendo FCPSA calculado (Figura 46) tem-se apenas 76,9786 mm<sup>2</sup> de área fissurada, correspondendo a 0,19% da área da forma, com redução significativa de 76,18% de área fissurada comparada à pasta referência. Já na pasta contendo a dosagem estimada de FCPSA (Figura 47) a fissuração apresentou um índice extremamente baixo, apresentando somente 6,2837 mm<sup>2</sup> de área fissurada, correspondendo a 0,02% da área da placa, com apenas quatro fissuras.

Igualmente ao cimento CP II-F 40, a dosagem estimada de FCPSA apresenta resultados satisfatórios para este tipo de análise. Contudo, de modo geral, os resultados obtidos com esta dosagem tornam-se inadequados quanto à resistência à compressão e retração.

A redução da retração alcançada com o uso do material residual, independente do percentual adicionado e do tipo de cimento, pode, também, estar associado à fibra celulósica presente no material residual. Ou seja, por se tratar de um resíduo com 70% de

fibra celulósica, com fibras de curto alcance e chatas, estas podem auxiliar na mitigação da proliferação das fissuras, tal quais as fibras destinadas a controle de fissuração inicial. Além disso, a dosagem com FCPSA calculado pelo método proposto por Bentz, Lura e Roberts (2005) corresponde à mesma dosagem de fibra de controle de fissuração, normalmente adicionada a concretos.

#### 4.8.3 Síntese dos resultados de retração plástica

De modo geral, analisando-se os dois tipos de cimento tem-se que:

- a) o uso de FCPSA auxilia significativamente na redução de fissuras em pastas de cimento, conforme pode ser facilmente observado na Figura 41. Para o cimento CP II-F 40, em dosagem calculada tem-se uma redução de 22,48% da área de fissuras e para o cimento CP IV 32 a diminuição é ainda mais significativa, correspondendo a 76,18%;
- b) o uso de FCPSA em dosagem estimada apresenta, em ambos os tipos de cimento, os menores valores de fissuração, correspondendo a uma redução de 51,63% para o cimento CP II-F 40 e 98,06% para o CP IV 32. Contudo, mesmo apresentando resultados promissores para esta análise, ao associar-se aos demais ensaios realizados observa-se que, embora reduzindo a fissuração, seu uso não é aconselhado devido à baixa de redução e resistência à compressão e aumento da retração;
- c) o tipo de cimento empregado influencia na maior ou menor taxa de área fissurada. Comparando-se os tipos de cimento, observa-se que o maior volume de fissuras é encontrado em cimentos com maior calor de hidratação.
- d) os resultados obtidos na minimização da fissuração inicial podem ser, também, associadas a quantidade de fibra celulósica presente no material residual, que apresenta características (fibras curas e chatas) similares as fibras destinadas a controle de fissuração em concreto.

#### 4.9 SÍNTESE DOS RESULTADOS ALCANÇADOS

Na Tabela 22 estão apresentados os resultados mais significativos das análises alcançadas neste estudo quanto ao efeito plastificante, resistência à compressão, retração, retração plástica e fissuração inicial.

**Tabela 22: Síntese dos resultados alcançados com o estudo.**

Análise		CP II-F 40	CP IV 32
Taxa de absorção de água do FCPSA		55g/H <sub>2</sub> O/g FCPSA	
Efeito plastificante		Redução de relação a/c de 0,54 para 0,48 em ambos os tipos de cimento	
Inchamento		De forma esférica, distribuído em meio a fibras de celulose.	
Resistência à compressão comparada à argamassa referência.	FCPSA	Não há diferença significativa nas resistências. Resistências equivalentes.	Há diferença significativas nas resistências, porém há a necessidade de análise em idades superiores há 91 dias para comprovação do uso.
	FCPSA+	Há diferença significativa nas resistências. Muito inferiores para FCPSA+.	Há diferença significativa nas resistências. Muito inferiores para FCPSA+.
Retração por secagem	FCPSA	Redução de 43% e 20% da retração em argamassas submetidas a 30% UR e 60%, respectivamente, em 3 dias.	Redução de 61% da retração em argamassas submetidas a 30% UR em 3 dias.
	FCPSA+	Elevada retração	Elevada retração
Retração plástica	FCPSA	Pequena	Média
	FCPSA+	Média	Pequena
Fissuração	FCPSA	Redução de 22,48%	Redução de 76,18%
	FCPSA+	Redução de 51,63%	Redução de 98,06%

## 5 CONCLUSÕES

A seguir serão apresentadas as considerações finais que respondem aos objetivos propostos. Posteriormente uma síntese da conclusão e sugestões de trabalhos futuros.

Quanto à **forma do FCPSA saturado**, o material seco apresenta-se inserido a uma matriz de fibra celulósica de fibras alongadas, chatas e curtas, onde não é possível identificar a presença do PSA. Contudo, a partir do momento que o material é saturado observa-se a formação de esferas de hidrogel, com dimensões variadas.

Quanto à **consistência**, se observou que há diferenças significativas nas argamassas contendo FCPSA, onde é observado um efeito plastificante do material inserido na matriz cimentícia já pré-saturado. Melhores consistências foram obtidas utilizando-se FCPSA, levando a uma excelente redução da relação a/c, de 0,54 para 0,48, em ambos os tipos de cimento. Este resultado torna-se positivo uma vez que, na construção civil se busca uma redução da relação a/c com o intuito de se alcançar melhores resistência à compressão e, automaticamente, uma melhor durabilidade das estruturas de concreto.

Quanto à **resistência à compressão**, não foram alcançados melhores resultados com o uso de FCPSA. O que se observou foi uma melhora nas resistências em idades iniciais, em função do FCPSA atuar como reservatório interno de água. Entretanto, estes reservatórios, ao longo das idades passaram a dar espaço a poros internos, o que fez com que a resistência mecânica ficassem prejudicada. O melhor efeito de utilização do FCPSA foi obtido, em ambos os cimentos, com as argamassas submetidas a umidades relativas mais elevadas.

Quanto à **retração por secagem**, observaram-se menores retrações para argamassas submetidas a 100% UR e maiores para as argamassas submetidas a 60% e 30% UR respectivamente. De modo geral o uso do FCPSA não apresenta efeito significativo no combate à retração ao longo dos 91 dias, apresentando retração superior às argamassas referência em função da porosidade deixada à matriz. Entretanto, resultados significativos foram observados em idades de três dias em ambientes com baixa umidade relativa, gerando uma diminuição da retração de 43% para o cimento CP

II-F 40 e 61% para o cimento CP IV 32. Com dosagem não calculada de FCPSA ganhos no combate a retração também são alcançados com idades de 3 dias, porém, ao longo do tempo, a retração é superior as demais argamassas, e, equivalente a argamassa FCPSA submetida a 30% UR na idade de 91 dias.

Quanto à **retração plástica**, não se observou uma similares entre os resultados obtidos, entretanto, é observada com maior retração plástica em ambientes de condição de exposição com umidades relativas menores. A reatividade do cimento também influencia no surgimento de maior ou menor quantidade de deslocamentos de retração, isso se deve ao fato de cimentos com maior reatividade gerarem mais calor, conseqüentemente, gerando maiores deslocamentos na matriz cimentícia O uso de FCPSA gerou efeito positivo no combate aos deslocamentos de retração plástica, e os melhores resultados foram alcançados nas argamassas com dosagem calculada.

Quanto à **fissuração em estado fresco**, analisada com pasta, é observada a eficiência satisfatória utilizando-se FCPSA. Com dosagem calculada de FCPSA, obteve-se uma redução de 22,48% para o cimento CP II-F 40 e 76,18% para o cimento CP IV 32. Já para a dosagem estimada de FCPSA os resultados foram ainda mais satisfatórios, alcançando uma redução de 51,63% na fissuração das pastas com cimento CP II-F 40 e 98,06% para as pastas moldadas com CP IV 32. A redução da fissuração não está relacionada somente ao polímero PSA do FCPSA, que gera efeito de cura interna, mas também ao percentual de fibra celulósica contida na matriz (70%). Esta, por sua vez é similar às fibras de combate a fissuração utilizadas em concretos.

De modo geral, conclui-se que o método utilizado para calcular a dosagem de FCPSA como agente de cura interna foi eficiente. Os resultados alcançados com o estudo, considerando-se estrutura da matriz cimentícia empregada, tipos de cimento estudados e condições de exposição ambiente, demonstram que incorporar FCPSA na matriz cimentícia não contribui para o ganho de resistência ao longo das idades, mas contribui significativamente para a minimização da retração plástica e da fissuração inicial.

## **5.1 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS**

Com o intuito de aprofundar e complementar o estudo descrito ficam algumas sugestões de trabalhos futuros. As sugestões são baseadas em estudos já existentes de PSA comerciais, podendo ser aprofundados para FCPSA e em lacunas da pesquisa.



- Estudo de porosidade gerada à matriz cimentícia após a liberação da água do hidrogel, com análise da dimensão dos poros e a interconectividade dos mesmos;
- Estudo em cimentos com teores de adição pozolânica após 91 dias, observando se o comportamento mecânico alcançado com cimentos mais puros é os mesmo obtidos em cimentos com adições;
- Análise de tempo de liberação de água do FCPSA na matriz cimentícia, observando-se o tempo de início da liberação da água e o tempo final;
- Avaliar influência da temperatura da solução na absorção e, principalmente, adsorção da água do FCPSA;
- Aplicação do material em concretos e posterior análise em escala real dos resultados obtidos;
- Análise do comportamento de durabilidade, quanto à carbonatação, visando o uso em concretos estruturais;
- Avaliar o comportamento do FCPSA em misturas de baixa relação a/c.



## REFERÊNCIAS

- American Concrete Institute. **ACI Concrete Terminology**, 2013, disponível em: [www.concrete.org/Technical/CCT/ACI-Terminology.aspx](http://www.concrete.org/Technical/CCT/ACI-Terminology.aspx). Acessado em 26/07/2015.
- ANDRADE, T & HELENE, P. **Concreto de Cimento Portland**. Capítulo 29. In: ISAIA, Geraldo (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2 ed. IBRACON, 2010. v.1 & v.2. p. 945-984.
- ANGULO, S. C. **Caracterização de Agregados de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados e a Influência de Suas Características no Comportamento Mecânico de Concretos**. São Paulo, 2005. 167 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Resistência à compressão do Cimento Portland. Rio de Janeiro, 1997.
- \_\_\_\_\_. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2003.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15261**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Rio de Janeiro, 2005.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- BATTAGIN, A. F.; CURTI, R.; SILVA, C. O.; MUNHOZ, F. A. C. Influência das condições de cura em algumas propriedades dos concretos convencionais e de alto desempenho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44º, 2002, Belo Horizonte. **Anais**: IBRACON, 2002.
- BATTAGIN, A. F. Cimento Portland. In: ISAIA, G. C. (ed.) **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto, v. 1, p.185-232, 2011.
- BENTUR, A., IGARISHI, S., KOVLER, K. **Control of Autogenous Stresses and Cracking in High Strength Concretos**. Proceedings of the 5th International Symposium on High Strength/High Performance Concrete, pages: 1017-1026, 1999.

BENTCHIKOU, M. GUIDOUM, A.; SCRIVENER, K.; SILHADI, K.; HANINI, S.

**Effect of recycled cellulose fibres on the properties of lightweight cement**

**composite matrix.** Construction and Building Materials 34, p. 451–456, 2012.

BENTZ, B. D. P.; LURA, P.; ROBERTS, J. W. **Mixture Proportioning for Internal**

**Curing.** Concrete International, 2005.

BENTZ, D.P., HALLECK, P.M., GRADER, A.S., ROBERTS, J.W., **Four-**

**Dimensional X-ray Microtomography Study of Water Movement during Internal**

**Curing, in Proceedings of the International RILEM Conference – Volume Changes**

of Hardening Concrete: Testing and Mitigation, Eds. O.M. Jensen, P. Lura, and K.

Kovler, RILEM Publications S.A.R.L., Bagneux, France, 11-20, 2006.

BENTZ, D. P., STUTZMANN, P. E. **Internal Curing and microstructure of high-**

**performance mortars.** Building and Fire Research Laboratory, National Institute of

Standards and Technology. Gaithersburg, 2008.

BENTZ, D. P.; WEISS, W. J. **Internal Curing: A 2010 State-of-the-Art Review.**

NISTIR 7765, U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and

Technology. 2011.

BNDES. **Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.** Produtos

Florestais. Fraldas descartáveis, Caracterização. Disponível em:

[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/setorial/is\\_g1\\_26.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/setorial/is_g1_26.pdf). Acessado em: 04/09/2015.

BRACELPA. **Associação Brasileira de Celulose e Papel.** Celulose. Disponível em:

<http://bracelpa.org.br/bra2/?q=node/180>. Acessado em: 04/09/2015.

BRASIL. **Lei n. 12.305**, de 2 de ago. de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos

Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

Palácio do Planalto. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112587.htm)

[2014/2012/lei/112587.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112587.htm)>. Acesso em: 09 dezembro. 2016.

CALLISTER JR, W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.** 5<sup>a</sup>

edição, Rio de Janeiro: LTC, 2002, 534 p.

CARMONA FILHO, A.; CARMONA, T. **Boletín Técnico - Grietas en estructuras de hormigón**. Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción - ALCONPAT Int. México, 2013.

CINCOTTO, M. A. Reações de Hidratação e pozolânicas In: ISAIA, G. C. (ed.) **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto, v. 1, p.381-413, 2011.

CUSSON, D.; HOOGEVEEN, T. **Internal curing of high-performance concrete with pre-soaked fine lightweight aggregate for prevention of autogenous shrinkage cracking**. Cement and Concrete Research, National Research Council Canada, Ottawa, Ontario, Canada K1A 0R6, 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA ESTRUTURA DE TRANSPORTES – **DNIT 061/2004 – TER – Pavimento rígido – Defeitos - Terminologia**. Rio de Janeiro: DNIT, 2004.]

DINIZ, J. Z. F.; FERNANDES, J. F.; KUPPERMAN, S. C. Retração e Fluência. In: ISAIA, G. C. (ed.) **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto, v. 1, p.185-232, 2011.

DUDZIAK L, MECHTCHERINE V. **Mitigation of volume changes of Ultra-High Performance Concrete (UHPC) by using Super Absorbent Polymers, and Int Symp on Ultra High Performance Concrete**, E Fehling et al (eds) Kassel University Press GmbH, p. 425-432, 2008.

ESTEVEZ, P. **On the absorption kinetics of superabsorbent polymers**. International RILEM Conference on Use of Superabsorbent Polymers and Other New Additives in Concrete 15-18, p. 77 – 84, 2010.

FIGUEIREDO, Enio; HOLLAND, Terence; MALHOTRA, V. M. & HELENE, Paulo. **Fifth ACI/CANMET International Conference on High-Performance Concrete Structures and Materials**. ACI SP-253. Farmington Hills, Michigan: American Concrete Institute, p. 413 p. 2008.

GIROTTI, L. S.. **Investigação da retração plástica e da fissuração da argamassa do concreto auto-adensável**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) –

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da Universidade Estadual Paulista (UNESP), São Paulo. p. 223, 2012.

GIROTTI, L. S.; BARBOSA, M. P.; MACIEL, G. F. **Avaliação do comportamento reológico na retração plástica e na fissuração de argamassas de concreto auto adensável**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 7, n. 1, p. 24-52, 2014.

GOMES, L.M. **Avaliação da potencialidade de resíduo sólido de base celulósica advindo do setor de higiene pessoal testando sua adição em argamassa de revestimento**. São Leopoldo, 2014. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2014.

HELENE, P. LEVY, S. **Boletín Técnico - Curado del hormigón**. Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción - ALCONPAT Int. México, 2013.

ISO **17190-6**: Urine-absorbing for incontinence – Test methods for characterizing polymer-based absorbent materials – Part 6: Gravimetric determination of fluid retention capacity in saline solution after centrifugation. Genebra, Suíça, 2001.

JENSEN, O. M., HANSEN P. F. **Water entrained cement-based materials – I. Principles and theoretical background**. Cement and Concrete Res 31(4): p. 647-654, 2001.

JENSEN, O. M, LURA, P. Techniques and materials for internal water curing of concrete; **Materials and Structures** (20016) 39:817-825. 2006

JENSEN, O. M. **Use of Superabsorbent Polymers in Concrete**. Concrete International. Disponível em: <http://pervious.com/wp-content/uploads/2014/01/SAPs-In-Concrete.pdf>. Acessado em: 18/12/2014.

KAWASHIMA, S.; SHAH, S. P. **Early-age autogenous and drying shrinkage behavior of cellulose fiber-reinforced cementitious materials**. Cement & Concrete Composites. 33, p. 201–208. 2011.

KIATKAMJORNWONG, S. **Superabsorbent Polymers and Superabsorbent Polymer Composites**. ScienceAsia, Bangkok, 33, december 2006. 39-43.

KUENZEL, C, VANDEPERRE, L. J.; DONATELLO, S.; BOCCACCINI A. R.; CHEESEMAN, C. et al. **Ambient Temperature Drying Shrinkage and Cracking in Metakaolin-Based Geopolymers**. Journal of the American Ceramic Society, v. 95, n. 10, p. 3270-3277, 2012.

KUMM, T. C. **Influência do emprego de polímeros superabsorventes nas propriedades de materiais à base de cimento Portland**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, p. 160, 2009.

LEITE, F. de C. **Comportamento mecânico de agregados reciclados de resíduo sólido da construção civil em camadas de resíduos de construção e demolição**. 266p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MECHTCHERINE, V.; REINHARDT, H. **Application of super absorbent polymers (SAP) in concrete construction**, State-of-the-Art Report, Springer, 2012.

MEHTA P. K. **Reducing the environmental impact of concrete. Concrete can be durable and environmental friendly**. Concrete international – 2001.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto. Microestrutura, propriedades e Materiais**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 2014.

MOHR, B. J., et al. **"Examination of wood-derived powders and fibers for internal curing of cement-based materials."** Proceedings of the 4th International Seminar: Self-Desiccation and Its Importance in Concrete Technology. 2005.

MÖNNIG, S. **Superabsorbing additions in concrete - applications, modelling and comparison of different internal water sources**. Stuttgart: Doktor thesis, Fakultät Bauund Umweltingenieurwissenschaften der Universität, 2009. 168 p.

NARIN, F.; WIKLUND, O. **Design of slabs-on-ground regarding shrinkage cracking**. Department of Civil and Environmental Engineering, Division of Structural Engineering. Concrete Structures. Chalmers University of Technology, Göteborg, 199 pages, 2012.

NEVILLE, A. M. **Properties of Concrete**. Fourth Edition. Pearson Education Asia. 844 pages. 2009.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. Editora Bookman, grupo Educação SA. 441 páginas, 2013.

NORTHEAST SOLITE CORPORATION, **Internal Curing**. Disponível em: <http://www.nesolite.com/appofmonth.htm>. Acessado em: 26/07/2015.

PAULON, V.; KIRCHHEIM, A. P. Nanoestrutura e microestrutura do concreto endurecido. In: G. C. Isaia. (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1ed.São Paulo: IBRACON, 2011, v. 1, p. 585-614.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de Construção**. Porto Alegre: Globo, 1973.

REPETTE, W.L. **Concreto Autoadensável**. In: Geraldo Cechella Isaia. (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1 ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2011.

RILEM TC-196, **Internal curing of concrete, state-of-the-art report** of RILEM technical committee 196-ICC, in: K. Kovler, O.M. Jensen (Eds.), RILEM Publications S.A.R.L. France, Bagnaux, 139 pp, 2007.

SALIBA, J., ROZIÈRE, E., GRONDIN, F., LOUKILI, A. **Influence of shrinkage-reducing admixture on plastic and long-term shrinkage**. *Cement & Concrete Composites* 33, 209-217, 2011.

SANTOS, R. V. A. **Polímeros Superabsorventes: processos de produção, aplicações e mercado**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2015.

SANTOS, T. A. C. **Estudo de adição de polímero superabsorvente e de nano partículas de sílica para melhorar as propriedades de concretos de alta resistência**. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Tecnologia – Universidade de Brasília, 2016 .

SHEN, D., WANG, X., CHENG, D. ZHANG, J., JIANG, G. Effect of internal curing with super absorbent polymers on autogenous shrinkage of concrete at early age. **Construction and Building Materials** 106 (2016), 512-522.

TAYLOR, H. F. W. **Cement Chemistry**. Thomas Telford, 459 pages. 1997.



TOKUDOME, N. **Cura Interna**. Massa Cinzenta, Portal Itambé. Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/cura-interna/>. Acessado em 19/07/2015.

Van BREUGEÇL, K., H. de Vries, and K. Takada. "**Mixture Optimization of Low Water/Cement Ratio, High-Strength Concretes in View of Reduction of Autogenous Shrinkage.**" Int. Conf. on High Performance Concretes, Sherbrooke, Canada. 1998.

WEBER, S., REINHARDT, H. **A Blend of Aggregates to Support Curing of Concrete.** In I. Holand, T. Hammer, & F. Fluge (Ed.), Proceedings of the International Symposium on Structural Lightweight Aggregate Concrete, pages. 662-671, 1995.

WERLE, A. P. **Determinação de Propriedades de Concretos com Agregados Reciclados de Concreto, com Ênfase na Carbonatação.** 159 f. 2010 São Leopoldo. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2010.

VILLARREAL, V. H., CROCKER, D. A., **Better Pavements through Internal Hydration,** Concrete International, 29 (2), 32-36, 2007.



## APÊNDICE



## APÊNDICE A

Base de dados dos resultados obtidos no Projeto Piloto

As tabelas abaixo apresentam os resultados individuais de todos os ensaios realizados no Projeto Piloto, assim como a indicação da resistência potencial e o cálculo da média, do desvio padrão e do coeficiente de variação dos ensaios.

Identificação	Local	Umidade Relativa	Temperatura
11/12/13	Sala de Cura	100%	23°C
21/22/23	Sala Climatizada	60%	23°C
31/32/33	Estufa	30%	40°C

3 dias - REFERÊNCIA											
Identif	Altura		Diâmetro			Carga (kN)	MPa	Pot.	Média	DP	CV (%)
11	100	99,95	50,07	49,75		41,8	21,37	23,65	22,62	1,16	5,1%
12	100,49	100,4	50,45	50,47		47,3	23,65				
13	100,9	100,41	50,62	50,2		45,6	22,85				
21	100,14	99,69	50,42	50,06		39,8	20,08	24,08	22,42	2,09	9,3%
22	100,52	99,77	50,09	50,07		45,5	23,10				
23	100,28	100,05	49,67	50,03		47	24,08				
31	100,12	100,4	49,78	49,71		48,9	25,16	25,68	24,37	1,84	7,5%
32	99,17	99,14	49,5	50,36		43,6	22,27				
33	100,59	100,01	50,04	50,03		50,5	25,68				

7 dias - REFERÊNCIA											
Identif	Altura		Diâmetro			Carga (kN)	MPa	Pot.	Média	DP	CV (%)
11	99,79	99,93	50,18	50,64		82,7	41,44	41,44	38,57	2,69	7,0%
12	100,02	99,57	50,26	50,3		75,8	38,18				
13	99,94	99,93	50,16	50,35		71,6	36,10				

21	99,3	99,41	49,9 9	50,3		69,9	35,3 9	35,3 9	34,71	0,8 3	2,4%
22	99,11	99,18	50,2 2	50,4 7		69,6	34,9 6				
23	99,48	99,41	50,3 6	50,2 9		67,2	33,7 8				
31	99,83	99,95	49,6	49,7 2		68,5	35,3 7	35,3 7	34,35	1,3 6	4,0%
32	99,58	99,51	50,7 5	50,4 8		70,2	34,8 9				
33	98,58	98,84	50,3 6	50,1		65	32,8 0				

15 dias - REFERÊNCIA											
Identif	Altura		Diâmetro			Carga (kN)	MPa	Pot.	Média	DP	CV (%)
11	100,0 3	100,0 2	50,2 5	50,1 2	50,1 5	87,9	44,4 6	44,4 6	41,17	2,8 7	7,0%
12	101,5 1	101,6 8	50,4 1	49,7	49,9 3	77	39,1 9				
13	99,72	99,42	49,9	50,4 4	50,1 7	78,8	39,8 6				
21	99,72	99,42	49,4 9	49,0 1	49,4 6	64,3	33,6 6	37,9 3	35,51	2,1 9	6,2%
22	98,68	98,86	49,9 5	49,9 5	49,9 7	68,5	34,9 5				
23	98,18	98,74	50,0 7	50,2 8	50,4 8	75,3	37,9 3				
31	98,58	98,43	49,9 3	49,7 7	49,8 5	71,2	36,4 8	36,4 8	33,39	3,3 1	9,9%
32	97,04	97,13	49,5 2	49,5 4	49,5 3	65,1	33,7 9				
33	98,45	98,45	50,4 7	49,9 4	50,1 2	59,1	29,8 9				

28 dias - REFERÊNCIA											
Identif	Altura		Diâmetro			Carga (kN)	MPa	Pot.	Média	DP	CV (%)
11	101,3 1	101,7 1	50,1 2	49,5 3	49,6 1	61,1	31,4 3	44,5 9	39,07	6,8 3	17,5%
12	101,0 3	100,8 3	49,3	49,9 3	49,4 8	79,5	41,1 9				
13	99,83	99,41	49,9 3	49,9 9	49,9 5	87,4	44,5 9				
21	99,48	99,12	49,6 4	49,7 3	49,6 3	67,7	34,9 4	35,5 8	35,03	0,5 2	1,5%
22	98,59	98,91	50,0 4	49,8 5	49,9 5	67,7	34,5 5				

23	100,23	99,96	49,88	50,07	49,87	69,7	35,58				
31	100,91	100,57	49,54	49,56	49,65	61,5	31,85	35,54	31,04	4,96	16,0%
32	99,55	99,68	49,43	50,03	49,47	68,8	35,54				
33	98,55	98,47	50,01	49,98	49,41	50,1	25,72				

3 DIAS - FCPSA											
Identif	Altura		Diâmetro			Carga (kN)	MPa	Pot.	Média	DP	CV (%)
	11	98,55	98,47	49,52	49,73	49,7	55,8				
12	98,53	98,37	49,85	50,65	49,53	58,5	29,78				
13	100,03	99,74	50,08	49,27	49,89	58,9	30,30				
21	98,47	98,5	49,24	49,92	49,72	53	27,40	28,82	27,25	1,64	6,0%
22	98,51	98,54	49,43	49,67	49,47	49,2	25,54				
23	97,27	97,26	50,08	49,69	49,59	56,1	28,82				
31	98,56	98,47	49,39	49,63	49,84	60,8	31,44	31,44	30,53	0,79	2,6%
32	98,06	98,04	49,62	49,64	49,84	58,3	30,05				
33	98,41	98,35	49,51	49,52	49,34	57,8	30,09				

7 DIAS - FCPSA											
Identif	Altura		Diâmetro			Carga (kN)	MPa	Pot.	Média	DP	CV (%)
	11	97,77	97,81	50,11	50,08	50,07	66,1				
12	98,59	98,71	49,4	50	49,78	67,1	34,55				
13	99,07	99,36	50,44	50,32	49,96	65,3	32,94				
21	96,69	96,62	49,45	49,52	49,58	61,9	32,14	32,28	32,04	0,31	1,0%
22	97,72	97,8	49,77	49,78	49,75	62,8	32,28				
23	97,45	98,49	50,04	49,75	49,93	62	31,69				
31	96,97	97,05	49,62	49,5	49,55	58,7	30,43	32,13	30,72	1,30	4,2%

32	99,04	99,02	49,5 3	49,8 5	50,5	58	29,5 9				
33	97,17	98,09	49,8 8	49,4 9	49,4 5	62,1	32,1 3				

15 DIAS - FCPSA											
Identif	Altura		Diâmetro			Carga (kN)	MPa	Pot.	Média	DP	CV (%)
11	101,2 6	100,1 9	49,7 9	49,4 2	50,3 3	64	32,8 0	36,5 1	33,81	2,3 6	7,0%
12	100,9 4	101,7	49,6 1	49,5 2	49,8 1	62,2	32,1 3				
13	97,93	97,99	50,0 6	50,1 1	50,1 6	72	36,5 1				
21	98,31	98,15	49,5 6	49,5 5	49,3 6	73,2	38,0 5	39,7 1	38,26	1,3 6	3,5%
22	98,73	98,56	50,0 1	49,8 2	49,8 7	72,4	37,0 2				
23	98,61	98,57	49,6 6	49,2 8	49,4 4	76,3	39,7 1				
31	97,57	97,56	49,4 1	49,6 2	49,7 1	63,6	32,9 4	32,9 4	30,58	2,1 0	6,9%
32	97,53	97,86	50,2 9	49,5 4	50,1 6	56,8	28,9 3				
33	97,54	97,98	50,1 1	49,6 2	49,4 3	58	29,8 7				

28 DIAS - FCPSA											
Identif	Altura		Diâmetro			Carga (kN)	MPa	Pot.	Média	DP	CV (%)
11	99,13	99,58	49,7 9	49,5 4	49,9 4	60	30,8 6	36,8 2	31,53	4,9 8	15,8%
12	98,79	99,22	49,8 4	49,5 2	49,8 4	52,3	26,9 2				
13	99,37	99,35	49,5 5	49,4 1	50	71,3	36,8 2				
21	98,18	98,12	49,7 5	49,8	49,8 5	65,3	33,5 2	35,3 5	32,62	3,2 9	10,1%
22	98,15	97,95	49,6 1	49,2 5	49,4 9	67,9	35,3 5				
23	98,76	98,44	49,8 2	50,1 4	49,9 3	56,8	28,9 7				
31	99,51	99,82	50,2 7	50,4 8	50,4 4	53,8	26,9 7	26,9 7	24,48	2,2 3	9,1%
32	98,52	98	49,4 9	49,3 7	49,5 1	45,7	23,7 9				
33	97,97	97,73	49,8	49,6 7	49,3 3	43,8	22,6 7				





## APÊNDICE B

As tabelas abaixo apresentam os resultados individuais de todos os ensaios realizados para a compressão, assim como a indicação da resistência potencial e o cálculo da média, do desvio padrão e do coeficiente de variação dos ensaios. A identificação das misturas corresponde à Tabela 9.

1 DIA											
Identif	Diâmetro			Altura		Carga (kN)	MPa	Pot.	Méd	DP	CV (%)
REF IIF	50,38	50,03	50,12	99,80	99,76	30,4	<b>15,37</b>	<b>17,06</b>	<b>15,82</b>	0,63	4,0%
	49,72	49,60	49,72	99,92	100,13	30,4	<b>15,68</b>				
	50,19	50,27	50,25	99,22	99,02	30,9	<b>15,59</b>				
	50,17	50,16	50,10	99,08	99,18	30,4	<b>15,39</b>				
	49,94	50,14	50,10	100,31	100,35	31,1	<b>15,80</b>				
	49,88	50,11	50,45	99,72	99,94	33,7	<b>17,06</b>				
FCPSA IIF	49,89	50,00	50,18	100,72	100,33	35,4	<b>18,01</b>	<b>18,01</b>	<b>15,79</b>	1,29	8,2%
	50,06	50,45	50,40	100,20	100,19	30,5	<b>15,35</b>				
	50,11	50,17	50,15	99,18	99,32	29,9	<b>15,14</b>				
	50,42	50,11	50,09	100,04	100,16	28,1	<b>14,19</b>				
	49,99	49,74	49,77	100,02	99,72	31,7	<b>16,25</b>				
	50,37	50,11	50,38	99,43	99,61	31,4	<b>15,81</b>				
FCPSA+ IIF	49,74	49,77	50,03	99,06	99,13	18,8	<b>9,63</b>	<b>9,65</b>	<b>9,47</b>	0,22	2,3%
	50,15	50,15	50,21	99,20	99,30	18,9	<b>9,56</b>				
	50,21	49,90	50,04	98,12	98,55	18,1	<b>9,20</b>				
	50,06	50,14	50,00	99,04	99,26	19,0	<b>9,65</b>				
	50,00	50,19	50,05	98,79	99,25	18,9	<b>9,59</b>				
	50,07	50,24	50,38	99,42	99,49	18,2	<b>9,18</b>				
REF IV	50,72	50,68	50,61	100,03	100,10	8,4	<b>4,17</b>	<b>4,17</b>	<b>3,76</b>	0,22	5,8%
	49,63	49,74	49,81	99,99	100,00	7,4	<b>3,81</b>				
	50,48	50,16	49,91	99,89	99,99	7,2	<b>3,64</b>				
	50,33	50,12	50,10	99,80	99,78	7,0	<b>3,54</b>				
	50,02	50,23	50,24	100,21	100,36	7,3	<b>3,69</b>				
	50,16	50,38	50,37	99,99	100,15	7,4	<b>3,72</b>				
FCPSA IV	50,13	50,22	50,31	100,47	100,52	7,0	<b>3,53</b>	<b>3,60</b>	<b>3,35</b>	0,25	7,4%
	50,44	49,60	49,52	99,92	99,94	6,8	<b>3,48</b>				
	49,71	49,48	50,00	99,87	99,76	7,0	<b>3,60</b>				
	49,95	49,56	49,95	99,85	99,88	5,7	<b>2,92</b>				
	49,54	49,37	49,57	98,79	99,19	6,3	<b>3,27</b>				

	49,89	50,12	50,11	99,43	99,44	6,5	<b>3,31</b>				
FCPSA+ IV	49,45	49,67	49,64	98,73	98,67	5,5	<b>2,85</b>	<b>2,85</b>	<b>2,05</b>	0,42	20,6%
	50,98	50,58	50,38	99,70	99,06	4,3	<b>2,13</b>				
	50,34	50,17	50,12	98,70	99,01	3,9	<b>1,97</b>				
	50,33	49,86	50,31	98,30	99,12	3,7	<b>1,87</b>				
	50,08	50,13	50,00	98,75	99,07	3,5	<b>1,78</b>				
	49,81	50,03	50,03	98,78	98,69	3,3	<b>1,68</b>				
3 DIAS											
Identif	Diâmetro			Altura		Carga (kN)	MPa	Pot.	Méd	DP	CV (%)
REF IIF 100%	49,5	50,19	49,5	98,19	98,56	62,2	<b>32,02</b>	32,02	<b>29,13</b>	2,41	8,3 %
	50,14	50,25	50,35	99,13	99,69	57,7	<b>29,10</b>				
	50,12	50,11	50,27	99,15	99,17	56,6	<b>28,63</b>				
	49,76	49,72	49,38	98,62	98,63	57,30	<b>29,63</b>				
	49,53	49,8	50,15	98,86	99,13	48,5	<b>24,87</b>				
	50,18	49,73	49,67	97,87	97,53	59,6	<b>30,52</b>				
REF IIF 60%	50,22	49,77	50,17	99,04	98,8	55,1	<b>28,00</b>	29,65	<b>28,15</b>	1,34	4,8 %
	50,07	49,86	49,84	99,07	99,26	55,8	<b>28,51</b>				
	50,36	49,94	50,45	97,81	97,67	53,7	<b>27,08</b>				
	50,31	50,56	50,38	98,08	98,2	59,2	<b>29,65</b>				
	49,55	49,36	50,24	98,49	98,52	50,9	<b>26,22</b>				
	49,7	49,49	49,97	98,46	98,54	57,2	<b>29,46</b>				
REF IIF 30%	50,04	49,75	50,19	99,81	99,67	64,2	<b>32,71</b>	35,02	<b>32,53</b>	1,65	5,1 %
	49,99	50,3	50,15	99,04	98,85	59,7	<b>30,23</b>				
	50,51	50,37	50,35	98,95	99,16	66,9	<b>33,52</b>				
	50,16	50,2	50,21	98,83	98,88	63,5	<b>32,10</b>				
	50,09	50,22	50,05	98,66	98,47	69,1	<b>35,02</b>				
	50,01	50,22	50,41	97,41	97,73	62,6	<b>31,61</b>				
FCPSA IIF 100%	49,77	50,01	49,93	98,83	98,68	63,7	<b>32,57</b>	32,57	<b>30,43</b>	2,15	7,1 %
	50,49	50,22	50,2	98,79	98,31	56,6	<b>28,48</b>				
	50,18	50,18	49,94	99,34	98,94	59,9	<b>30,39</b>				
	49,48	49,65	49,81	99,49	99,58	52,8	<b>27,27</b>				
	49,78	49,74	49,7	98,66	98,91	62,8	<b>32,32</b>				
	49,59	49,85	49,73	97,46	97,49	61,3	<b>31,57</b>				
FCPSA IIF 60%	50,09	49,84	50,11	99,77	98,99	55,1	<b>28,05</b>	29,94	<b>27,48</b>	1,36	4,9 %
	49,75	49,93	49,35	99,4	99,35	52,1	<b>26,88</b>				
	49,85	49,87	49,91	99,77	99,45	51	<b>26,10</b>				
	50,11	50,21	50,26	98,67	98,86	53,3	<b>26,94</b>				
	49,97	50,08	50,35	99,22	99,12	59,1	<b>29,94</b>				
	50,01	49,87	49,96	98,9	98,92	52,8	<b>26,95</b>				
FCPSA IIF 30%	49,97	50,11	50,42	99,64	99,34	62,6	<b>31,67</b>	32,66	<b>31,10</b>	1,25	4,0 %
	49,54	49,79	49,67	98,76	98,88	58,6	<b>30,25</b>				
	49,86	50,23	50,13	99,65	99,53	61,1	<b>31,03</b>				

	50,03	50,09	50,07	98,68	98,99	64,3	<b>32,66</b>				
	50,44	49,73	49,91	99,64	99,53	57,3	<b>29,15</b>				
	49,87	49,98	50,03	99,12	99,27	62,4	<b>31,83</b>				
FCPSA+ IIF 30%	49,76	49,46	50,22	99,36	99,35	47,4	<b>24,32</b>	26,13	<b>24,36</b>	1,53	6,3 %
	49,69	49,34	49,87	36,34	96,3	48,5	<b>25,07</b>				
	50,09	50,09	50,17	98,64	98,6	50,4	<b>25,55</b>				
	59,09	50,03	49,99	98,62	98,5	49,5	<b>22,41</b>				
	50,18	49,6	49,47	98,2	98,12	50,8	<b>26,13</b>				
	50,27	50,27	50,13	99,31	99,38	44,9	<b>22,66</b>				
REF IV 100%	50,05	50,1	50,09	99,68	98,68	21,1	<b>10,71</b>	11,77	<b>11,29</b>	0,38	3,3 %
	50,22	50,29	50,4	99,22	99,52	23,4	<b>11,77</b>				
	49,74	49,57	49,93	98,45	98,4	21,4	<b>11,01</b>				
	49,7	49,93	49,74	98,74	98,71	22,2	<b>11,40</b>				
	50,22	50,17	50,22	98,71	98,54	22,8	<b>11,52</b>				
	50,07	49,9	49,97	99,36	99,41	22,2	<b>11,32</b>				
REF IV 60%	50,02	49,61	49,54	97,95	97,76	20,5	<b>10,56</b>	11,89	<b>11,35</b>	0,44	3,9 %
	50,46	49,8	49,82	98,69	98,59	22,5	<b>11,45</b>				
	50,13	49,67	50,06	98,86	98,66	23,3	<b>11,89</b>				
	49,84	49,4	50,22	98,6	98,39	22,2	<b>11,39</b>				
	50,13	50,18	50,14	98,16	98,24	22,8	<b>11,54</b>				
	50,14	50,04	50,18	99,71	99,74	22,2	<b>11,25</b>				
REF IV 30%	50	49,41	49,87	99,32	99,34	26,6	<b>13,68</b>	14,29	<b>13,71</b>	0,62	4,6 %
	50,25	50,15	50,22	98,68	98,64	24,9	<b>12,58</b>				
	49,41	49,59	50,13	98,09	98	27,7	<b>14,27</b>				
	50,2	50,45	50,53	98,83	98,88	28,5	<b>14,29</b>				
	49,46	49,61	50,11	98,48	98,52	26,5	<b>13,65</b>				
	49,51	49,74	49,6	98,59	98,58	26,7	<b>13,81</b>				
FCPSA IV 100%	50,09	50,49	50,34	98,75	98,87	19,5	<b>9,81</b>	10,14	<b>10,04</b>	0,12	1,2 %
	50,6	50,38	50,19	98,75	98,69	20,2	<b>10,13</b>				
	50,03	49,85	49,5	99,48	99,56	19,6	<b>10,07</b>				
	49,9	49,52	50,01	98,75	98,67	19,6	<b>10,06</b>				
	49,97	49,63	50,34	99,32	98,35	19,7	<b>10,04</b>				
	50,15	50,12	50,07	98,97	99,04	20	<b>10,14</b>				
FCPSA IV 60%	49,64	49,63	50,03	99,15	99,12	19,8	<b>10,18</b>	10,42	<b>10,04</b>	0,28	2,8 %
	50,06	50	49,96	100,8 8	101,0 1	19,6	<b>9,98</b>				
	50,11	50,13	50,26	99,27	99,23	19,9	<b>10,07</b>				
	49,84	49,86	50,58	99,33	99,58	19,7	<b>10,00</b>				
	49,93	50,04	50,04	98,48	99,23	18,8	<b>9,57</b>				
	49,68	49,42	49,96	98,45	98,47	20,2	<b>10,42</b>				
FCPSA IV 30%	49,82	49,33	50,21	99,58	99,52	23,5	<b>12,07</b>	12,79	<b>12,08</b>	0,75	6,2 %
	50,58	50,37	49,91	98,17	98,43	25,4	<b>12,79</b>				
	50,03	50,44	49,67	98,34	98,17	21,1	<b>10,73</b>				

	50,17	50,11	50,28	99,75	99,69	25,3	<b>12,79</b>				
	50,3	49,37	50,32	98,7	98,86	23,6	<b>12,02</b>				
	50,11	49,93	50,25	99,74	99,82	23,8	<b>12,07</b>				
FCPSA+ IV 30%	49,59	49,41	49,69	97,59	97,81	17,9	<b>9,28</b>	9,92	<b>8,60</b>	1,08	12,5 %
	50,13	50,68	50,41	98,67	98,72	19,8	<b>9,92</b>				
	49,54	49,5	50,24	99,53	99,82	15,6	<b>8,02</b>				
	50,35	50,19	50,07	99,17	99,17	18,2	<b>9,19</b>				
	50,24	50,19	49,94	97,45	97,34	16,3	<b>8,26</b>				
	50,02	50,18	50,28	98,83	98,91	13,7	<b>6,93</b>				

14 DIAS											
Identif	Diâmetro			Altura		Carga (kN)	MPa	Pot.	Média	DP	CV (%)
REF IIF 100%	50,42	50,23	50,44	99,2	99,2	80,9	<b>40,61</b>	42,77	<b>40,13</b>	2,56	6,4%
	50,37	50,43	50,18	99,77	99,68	70,2	<b>35,29</b>				
	50,13	49,97	50,01	99,88	100,49	81,7	<b>41,55</b>				
	50,18	50,19	50,11	99,56	99,42	79,7	<b>40,33</b>				
	49,98	50,13	50,18	99,39	99,48	84,3	<b>42,77</b>				
	49,81	49,59	49,94	98,62	99,64	78,3	<b>40,23</b>				
REF IIF 60%	49,97	49,55	49,55	99,16	98,55	75,3	<b>38,83</b>	40,49	<b>38,89</b>	1,28	3,3%
	49,56	49,62	49,86	98,93	98,74	72,5	<b>37,40</b>				
	49,54	49,91	49,73	99,68	99,63	75,3	<b>38,77</b>				
	49,69	49,71	49,65	98,62	98,48	78	<b>40,23</b>				
	50,4	50,26	49,71	98,83	98,89	74,2	<b>37,60</b>				
	49,75	49,72	49,59	98,04	98,73	78,5	<b>40,49</b>				
REF IIF 30%	50,16	50,13	50,11	98,67	98,98	69,8	<b>35,36</b>	36,14	<b>34,46</b>	1,14	3,3%
	49,76	49,44	49,56	96,78	96,52	69,8	<b>36,14</b>				
	49,32	49,92	49,61	98,23	97,96	63,7	<b>32,95</b>				
	49,45	49,34	49,46	97,74	97,72	64,8	<b>33,79</b>				
	49,66	50,03	49,73	98,94	98,6	66,7	<b>34,23</b>				
	50	49,91	49,89	99,01	98,6	67,2	<b>34,32</b>				
FCPSA IIF 100%	49,47	50,01	49,43	98,74	98,57	64,7	<b>33,44</b>	42,87	<b>39,26</b>	3,31	8,4%
	49,66	49,85	49,58	98,72	98,67	79,2	<b>40,83</b>				
	49,89	49,9	49,81	97,84	97,81	79,2	<b>40,55</b>				
	49,94	49,44	50,19	100,0 5	99,94	83,7	<b>42,87</b>				
	49,78	49,74	49,93	98,1	98,02	78,4	<b>40,22</b>				
	49,96	49,63	49,71	98,47	98,33	73,2	<b>37,63</b>				
FCPSA IIF 60%	49,9	49,86	49,38	100,0 9	100,02	77,4	<b>39,88</b>	42,37	<b>40,40</b>	1,41	3,5%
	50,12	49,61	49,64	98,65	98,53	78	<b>40,06</b>				
	49,69	49,52	49,44	98,77	98,67	80,8	<b>41,90</b>				
	49,83	50,16	49,8	99,6	99,36	76,7	<b>39,17</b>				
	49,9	46,69	49,76	98,88	98,95	79,2	<b>42,37</b>				

	49,73	50,09	49,87	99,5	99,04	76,3	<b>39,02</b>				
FCPSA IIF 30%	49,68	49,99	49,82	99,34	99,2	63,6	<b>32,61</b>	37,05	<b>33,76</b>	1,78	5,3%
	50,28	50,05	50,09	100,2 9	100,43	68,2	<b>34,54</b>				
	49,89	50,02	50,2	99,14	98,94	64,1	<b>32,60</b>				
	50,25	50,26	50,27	100,2 8	100,3	65,6	<b>33,07</b>				
	49,72	49,92	49,11	99,4	99,36	63,1	<b>32,68</b>				
	49,63	50,15	49,86	98,73	98,77	72,4	<b>37,05</b>				
	50,13	50,07	50,28	98,23	98,23	49,5	<b>25,05</b>				
50,29	50,21	50,22	98,52	98,56	43,8	<b>22,09</b>					
49,99	50,33	50,27	98,71	98,69	54,3	<b>27,44</b>					
49,99	49,82	49,52	99,21	99,15	47,8	<b>24,56</b>					
50,24	50,05	50,16	97,94	98,14	54,2	<b>27,44</b>					
50,19	49,92	50,23	98,16	98,29	56,8	<b>28,80</b>					
REF IV 100%	50,39	50,31	50,15	99,45	99,52	51,2	<b>25,78</b>	26,33	<b>25,76</b>	0,29	1,1%
	49,71	50,09	49,41	99,07	98,83	49,8	<b>25,63</b>				
	50,5	50,28	50,15	99,88	100,05	50,7	<b>25,50</b>				
	50,59	49,81	49,73	99,48	99,53	50,6	<b>25,73</b>				
	49,89	49,67	50,03	99,05	99,03	50	<b>25,60</b>				
	50,18	50,04	50,21	99,32	99,12	52	<b>26,33</b>				
REF IV 60%	49,99	50,1	50,05	99,56	99,42	44,9	<b>22,82</b>	23,01	<b>22,08</b>	0,81	3,7%
	50,05	49,83	49,77	99,06	98,93	44	<b>22,51</b>				
	50,14	50,11	50,25	99,59	99,67	42,9	<b>21,70</b>				
	50,1	49,95	49,97	100,2 6	100,64	45,2	<b>23,01</b>				
	50,23	49,62	49,62	99,12	99,37	41,4	<b>21,23</b>				
	49,55	50,15	49,37	99,28	99,21	41,1	<b>21,19</b>				
	49,68	49,55	49,56	99,47	99,3	38,3	<b>19,82</b>				
50,43	50,17	50,09	98,48	98,47	46,5	<b>23,47</b>					
50,02	49,97	50,16	98,89	98,99	34,8	<b>17,69</b>					
49,82	49,55	49,74	99,37	99,73	33,4	<b>17,21</b>					
51,05	50,17	50,57	100,1	99,77	42,8	<b>21,29</b>					
50,2	50,18	50,37	99,42	99,46	37,2	<b>18,76</b>					
FCPSA IV 100%	49,95	50,13	50,07	99,11	99,43	46,8	<b>23,79</b>	25,13	<b>24,46</b>	0,56	2,3%
	50,39	50,21	50,43	99,26	99,51	49	<b>24,62</b>				
	50,2	50,16	50,17	99,02	98,86	49,7	<b>25,13</b>				
	50	50,3	50,23	99,18	99,14	49,2	<b>24,88</b>				
	49,97	50,14	50,56	100,4 8	100,41	47,1	<b>23,77</b>				
	50,89	50,64	50,82	99,75	99,71	49,8	<b>24,59</b>				
	50,39	50,29	50,3	99,49	99,45	44,1	<b>22,17</b>				
49,84	49,61	49,44	98,91	98,93	39,3	<b>20,31</b>					
49,93	49,61	49,9	98,8	98,66	36,3	<b>18,63</b>					
50,15	50,1	50,11	99,06	98,96	42,2	<b>21,39</b>					

	50,27	50,17	50,03	99,07	99,11	40,7	<b>20,60</b>				
	50,52	49,9	50,23	98,69	98,8	41,1	<b>20,75</b>				
FCPSA IV 30%	49,75	49,32	49,85	98,68	98,62	26,7	<b>13,80</b>	15,01	<b>14,07</b>	0,70	5,0%
	49,56	49,83	50,16	98,27	98,09	29,3	<b>15,01</b>				
	50	49,73	50,14	99,12	98,6	25,6	<b>13,06</b>				
	49,96	50,22	49,64	98,28	98,38	28,4	<b>14,50</b>				
	49,55	49,78	50,2	99,03	99,2	28,1	<b>14,40</b>				
	50,02	49,98	50,04	98,66	98,74	26,8	<b>13,64</b>				
FCPSA+ IV 30%	49,68	49,6	49,91	97,98	98,23	21,2	<b>10,91</b>	10,94	<b>10,71</b>	0,27	2,5%
	49,68	49,48	50,06	98,4	98,28	21,2	<b>10,91</b>				
	49,66	49,66	49,66	98,07	98,23	20,7	<b>10,69</b>				
	49,82	49,73	49,31	97,87	97,84	20,3	<b>10,50</b>				
	50	49,69	49,35	99,48	99	21,2	<b>10,94</b>				
	50,34	50,24	49,44	97,31	96,98	20,2	<b>10,29</b>				
<b>28 DIAS</b>											
Identif	Diâmetro			Altura		Carga (kN)	MPa	Pot.	Méd	DP	CV (%)
REF IIF 100%	49,58	49,48	49,85	98,2	98,3	88,2	<b>45,58</b>	<b>45,58</b>	<b>43,98</b>	1,89	4,3%
	50,28	50,18	50,17	99,24	99,25	81,3	<b>41,06</b>				
	49,69	49,63	50,09	99,16	99,21	82,2	<b>42,20</b>				
	49,38	49,7	49,48	100	100,2	86,6	<b>44,96</b>				
	49,65	49,75	49,44	98,37	98,3	86,3	<b>44,64</b>				
	49,55	49,85	49,66	98,36	98,45	88,1	<b>45,44</b>				
REF IIF 60%	50,09	50,08	50,26	99,19	99,22	71,6	<b>36,26</b>	<b>36,26</b>	<b>34,18</b>	1,56	4,6%
	50,42	50,1	50,05	98,75	99,08	67,5	<b>34,12</b>				
	49,44	49,83	50,14	99,06	99,03	65,3	<b>33,52</b>				
	50,14	49,96	49,97	99,25	99,18	64,8	<b>32,97</b>				
	50,05	50,25	50,05	99,54	99,61	63,9	<b>32,39</b>				
	50,11	50,01	50,22	99,51	100,1 2	70,7	<b>35,84</b>				
REF IIF 30%	49,64	49,95	49,73	99,36	99,57	75,1	<b>38,60</b>	39,62	<b>38,68</b>	0,83	2,1%
	50,33	49,48	50,01	98,22	98	77	<b>39,31</b>				
	49,85	50,15	49,62	98,75	98,72	73,9	<b>37,83</b>				
	49,5	49,81	49,96	99,14	99,06	76,1	<b>39,14</b>				
	49,68	49,84	49,61	98,81	98,73	76,9	<b>39,62</b>				
	49,91	49,43	49,56	99,05	98,87	72,7	<b>37,57</b>				
FCPSA IIF 100%	49,63	49,52	49,4	97,95	97,64	89,9	<b>46,68</b>	48,81	<b>46,69</b>	1,44	3,1%
	49,98	49,94	49,67	99,32	99,7	93,7	<b>47,98</b>				
	50,03	49,5	49,5	98,99	99,1	94,6	<b>48,81</b>				
	49,83	49,89	49,63	99,64	99,67	87,8	<b>45,11</b>				
	49,8	49,41	49,7	98,12	98,11	88,5	<b>45,73</b>				
	49,64	49,29	49,68	97,64	97,56	88,3	<b>45,82</b>				
FCPSA IIF 60%	49,48	49,57	49,74	98,92	98,78	71,2	<b>36,85</b>	40,19	<b>38,65</b>	1,31	3,4%
	49,56	49,72	49,17	98,62	98,46	76	<b>39,52</b>				

	49,57	49,52	49,5	98,85	98,69	75,5	<b>39,19</b>				
	49,82	49,9	49,79	99,12	99,04	75,8	<b>38,86</b>				
	49,72	49,86	49,89	98,87	98,92	72,7	<b>37,29</b>				
	50,7	49,86	49,72	99,3	99,61	79,2	<b>40,19</b>				
FCPSA IIF 30%	49,76	49,78	49,25	98,68	99,04	58	<b>30,02</b>	33,61	<b>31,34</b>	1,52	4,9%
	49,48	49,79	49,72	98,65	98,65	59	<b>30,46</b>				
	49,94	49,66	50,04	98,93	98,74	64,2	<b>32,85</b>				
	49,99	50,22	49,73	98,9	98,75	60,7	<b>30,94</b>				
	49,73	49,37	49,42	97,48	97,5	58	<b>30,13</b>				
	49,95	49,26	49,43	98,9	99,31	64,8	<b>33,61</b>				
FCPSA+ IIF 30%	50,19	50,21	50,08	98,73	98,6	47,7	<b>24,14</b>	25,98	<b>23,47</b>	2,76	11,7 %
	50,13	49,99	50,22	97,79	97,84	50,5	<b>25,60</b>				
	50,02	49,85	49,83	98,28	98,5	50,8	<b>25,98</b>				
	50,25	50,17	50,12	98,77	98,61	36,2	<b>18,30</b>				
	50,01	50,16	50,04	98,35	98,1	46,1	<b>23,41</b>				
	50,15	50,11	50,7	98,83	98,79	46,5	<b>23,38</b>				
REF IV 100%	49,74	49,94	49,96	98,78	98,83	64,7	<b>33,11</b>	33,39	<b>32,67</b>	0,69	2,1%
	50,57	50,17	49,67	98,24	98,2	64,4	<b>32,62</b>				
	50,24	49,67	49,57	98,47	98,65	61,5	<b>31,54</b>				
	50,19	50,34	50,29	98,91	98,79	64	<b>32,24</b>				
	49,56	50,2	50,16	99,4	99,27	65,5	<b>33,39</b>				
	49,91	49,64	49,43	99,08	99,08	64,1	<b>33,09</b>				
REF IV 60%	49,92	49,6	49,62	99,16	99,18	36,6	<b>18,86</b>	20,07	<b>18,92</b>	0,87	4,6%
	50,34	50,37	50,11	100,8 5	101,3 3	38,4	<b>19,34</b>				
	49,98	50,04	49,97	98,33	98,64	38,1	<b>19,41</b>				
	50,13	50,17	50,42	99,22	99,82	35,3	<b>17,81</b>				
	49,89	49,61	49,87	100,9 6	100,9	35,1	<b>18,03</b>				
	50,1	50,1	49,98	98,25	98,3	39,5	<b>20,07</b>				
REF IV 30%	50,1	50,5	50,11	99,21	99,17	30,7	<b>15,49</b>	16,98	<b>15,34</b>	1,56	10,2 %
	50,23	50	50,2	99,2	99,67	26,5	<b>13,42</b>				
	50,05	50	50,06	98,85	99,15	26,4	<b>13,43</b>				
	49,8	49,35	49,21	98,6	98,61	31,7	<b>16,50</b>				
	49,79	50	50,5	99,44	99,49	32	<b>16,23</b>				
	49,31	49,46	49,77	99,04	99,06	32,7	<b>16,98</b>				
FCPSA IV 100%	50,21	50,11	50,08	98,7	98,61	62,7	<b>31,76</b>	34,43	<b>33,71</b>	1,03	3,1%
	50,2	49,94	50,03	98,27	99,74	67,1	<b>34,10</b>				
	50,18	50,09	50,02	98,88	98,85	65,7	<b>33,33</b>				
	50,4	50,19	50,22	99,23	99,28	68,1	<b>34,31</b>				
	50,01	50,13	50,22	99,44	99,17	67,7	<b>34,31</b>				
	50,13	49,54	49,76	98,96	99,11	67,1	<b>34,43</b>				
FCPSA IV 60%	50,15	50,17	50,37	98,42	98,78	42,2	<b>21,30</b>	24,14	<b>22,13</b>	1,33	6,0%
	50,25	49,91	49,35	99,17	99,66	42,8	<b>21,94</b>				



	50,14	50,14	49,91	98,93	99,03	43,6	<b>22,15</b>				
	50,1	49,98	50,17	99,18	99,12	45,2	<b>22,94</b>				
	50,47	50,25	50,22	99	99,01	48	<b>24,14</b>				
	50,12	50,1	50,06	98,19	98,11	40	<b>20,30</b>				
PSA IV 30%	49,63	49,68	49,68	98,81	98,71	37,8	<b>19,51</b>	19,51	<b>15,49</b>	2,76	17,8 %
	49,98	50,48	49,75	98,67	98,68	33	<b>16,76</b>				
	50,68	50,53	50,5	97,47	97,52	31,4	<b>15,63</b>				
	49,56	49,53	49,68	98,65	98,42	31,5	<b>16,31</b>				
	49,74	49,75	50,01	98,46	98,37	24,5	<b>12,56</b>				
	49,48	49,22	49,44	98,3	98,5	23,3	<b>12,17</b>				
FCPSA+ IV 30%	50,08	50,35	50,08	98,53	98,54	28,5	<b>14,42</b>	14,42	<b>13,71</b>	0,94	6,9%
	50,22	49,53	49,58	98,42	99,24	25,7	<b>13,21</b>				
	49,77	50,42	49,85	98,1	98,08	28,1	<b>14,30</b>				
	50,07	50,17	50,15	98,37	98,53	28	<b>14,19</b>				
	49,99	50,13	50,04	98,3	98,07	27,8	<b>14,13</b>				
	50,23	50,03	50,19	98,95	99,41	23,7	<b>12,00</b>				

91 DIAS											
Identif	Diâmetro			Altura		Carga (kN)	MPa	Pot.	Média	DP	CV (%)
REF IIF 100%	50,25	49,73	50,37	97,03	97,00	79,7	40,40	50,5 3	<b>45,18</b>	4,65	10,0 %
	49,6	49,6	49,55	95,94	95,92	77,6	40,19				
	49,83	49,79	50,62	96,24	96,17	93,2	47,31				
	50,21	49,53	49,7	96,06	96,01	83,5	42,85				
	50,45	49,54	50,14	96,76	96,64	98,00	49,82				
	49,94	49,91	49,99	95,11	94,76	99,00	50,53				
REF IIF 60%	49,56	49,09	49,79	99,11	99,34	74,3	38,64	43,7 1	<b>39,90</b>	2,24	5,6 %
	49,41	49,71	49,85	99,02	98,84	72,8	37,59				
	49,59	49,62	49,93	98,98	98,84	80,2	41,32				
	49,86	50,09	49,59	98,61	98,61	85,3	43,71				
	49,73	49,62	49,58	99,39	99,39	75,1	38,80				
	49,72	49,55	50,25	98,3	98,51	76,7	39,31				
REF IIF 30%	49,8	49,56	49,91	97,11	97,06	73,8	37,95	41,4 1	<b>38,48</b>	3,78	9,8 %
	49,95	49,96	49,95	98,33	98,82	61,1	31,18				
	49,97	49,64	49,7	99,16	99,28	79,8	41,02				
	49,54	49,66	49,77	97,64	97,6	76,5	39,50				
	49,71	49,52	50,48	98,32	98,32	81	41,41				
	49,81	50,1	49,34	98,61	98,51	77,4	39,82				
FCPSA IIF 100%	49,54	49,66	50,06	98,25	98,19	90,1	46,34	48,2 0	<b>46,14</b>	1,96	4,2 %
	49,84	49,78	50,27	99,14	98,99	94,5	48,20				
	49,58	49,73	50,16	98,97	98,63	85,2	43,70				
	49,74	49,45	49,64	98,08	98,11	92,5	47,85				
	50,15	50,21	50,3	99,14	99,21	93	46,95				

	50,42	50,19	50,31	98,25	98,18	87,1	43,82				
FCPSA IIF 60%	49,46	49,6	49,36	98,21	98,01	78,9	41,04	42,1 1	<b>39,70</b>	1,97	5,0 %
	49,47	49,88	49,65	98,34	99,14	78,1	40,31				
	50,39	50,16	50,11	98,93	98,88	76,7	38,72				
	50,06	49,63	50,17	97,99	98,02	71,5	36,48				
	50,05	49,93	50,12	98,72	98,78	82,8	42,11				
	49,56	49,92	50,66	98,42	98,58	77,7	39,50				
FCPSA IIF 30%	50,31	50,06	50,64	98,97	98,73	72,2	36,28	39,5 2	<b>37,17</b>	2,26	6,1 %
	50,19	49,73	50,15	99,22	99,13	77,6	39,48				
	49,94	49,49	50,01	98,3	98,06	67,1	34,43				
	49,74	50,11	49,39	98,99	98,8	74,5	38,33				
	49,9	49,99	49,85	98,09	98,02	68,4	34,96				
	50,36	49,57	49,87	98,52	98,54	77,4	39,52				
FCPSA + IIF 30%	49,75	49,88	49,84	98,37	98,5	52,3	26,83	30,8 0	<b>28,85</b>	1,74	6,0 %
	49,93	50,08	50,12	98,74	98,69	58,4	29,69				
	49,61	49,33	49,88	96,98	97,1	56	28,97				
	50,15	50,06	50,19	96,83	96,84	60,8	30,80				
	50,21	50,07	50,46	97,98	98,02	59,8	30,16				
	50,61	49,83	49,8	97,38	97,39	52,5	26,65				
REF IV 100%	50,16	50	50	96,92	96,7	81,2	41,27	43,0 0	<b>40,60</b>	1,69	4,2 %
	50,22	49,52	49,52	96,35	96,16	83,6	43,00				
	50,05	49,31	49,5	98,45	98,51	78,1	40,39				
	50,24	50,16	50,19	98,22	98,02	76,6	38,71				
	50,05	49,57	49,75	96,89	96,74	80,9	41,55				
	49,66	49,69	49,85	96,91	97,71	75,2	38,71				
REF IV 60%	50,49	50,75	50,72	97,73	97,7	46,9	23,27	25,8 6	<b>23,35</b>	1,76	7,5 %
	50,37	50,16	50,12	99,08	98,8	46,8	23,63				
	50,31	50,37	50,23	97,52	97,4	51,4	25,86				
	50,32	50,05	50,08	97,57	97,43	48,5	24,55				
	50,07	50,13	50,12	96,78	96,67	42,2	21,40				
	50,07	50,13	50,12	96,78	96,67	42,2	21,40				
REF IV 30%	50,17	49,45	50,11	94,22	94,2	33,2	16,97	18,7 5	<b>16,74</b>	1,16	6,9 %
	50,28	50,16	50,34	96,67	96,52	37,2	18,75				
	49,91	50,25	50,03	97,09	96,89	31,4	15,95				
	50,09	49,91	49,91	95,56	95,57	31,3	15,96				
	49,61	49,49	50,35	96,45	96,25	30,5	15,65				
	50,21	50,21	50,19	97,11	97,35	34	17,18				
FCPSA IV 100%	50,11	49,6	49,63	98,96	99,01	76,1	39,10	40,7 7	<b>38,25</b>	1,89	4,9 %
	50,44	50,19	49,57	99,04	98,26	73,8	37,49				
	49,33	49,31	49,66	98,17	97,35	68,2	35,53				
	49,57	49,66	49,84	97,52	99,21	76,6	39,50				
	49,63	49,87	49,78	99,31	98,05	72,2	37,13				
	49,97	49,73	49,59	98,04	98,03	79,3	40,77				

FCPSA IV 60%	50,38	50,09	50,39	98,99	98,92	38,9	19,59	22,4 1	<b>20,54</b>	1,81	8,8 %
	49,66	49,79	49,65	98,69	98,74	36,2	18,66				
	50,28	50,37	50,24	99,34	99,55	36,9	18,57				
	50,06	49,97	49,97	99,87	99,68	44	22,41				
	50,21	50,22	49,89	98,64	98,7	44,1	22,36				
	50,41	50,1	50,06	99,5	99,36	42,8	21,63				
FCPSA IV 30%	49,65	49,68	49,85	98,29	98,34	39,4	20,29	20,2 9	<b>18,92</b>	1,27	6,7 %
	50,43	49,42	49,9	98,66	98,61	38,5	19,67				
	49,94	50,08	50	99,41	99,22	38,2	19,45				
	49,95	49,63	49,41	99,56	99,69	33,5	17,29				
	50,13	49,96	50,15	97,63	97,69	34,2	17,36				
	49,88	49,86	50,28	100,52	100,48	38,2	19,45				
FCPSA + IV 30%	50,02	49,35	49,45	98,01	97,92	25,4	13,14	16,0 2	<b>14,34</b>	1,15	8,0 %
	50,12	49,73	50,17	98,14	98,26	26,2	13,34				
	49,9	49,7	49,54	98,83	98,91	31,1	16,02				
	50,15	50,32	49,99	98,96	99	26,9	13,62				
	50,21	50,17	50,18	98,01	98,11	29,5	14,91				
	50,21	50,19	50,2	97,9	98,02	29,7	15,01				

## APÊNDICE C

As tabelas abaixo apresentam os resultados individuais de todos os ensaios realizados para o ensaio de retração (1 dia até 91 dias). A identificação das misturas corresponde à Tabela 9.

<b>Traço</b>	<b>1 dia</b>	<b>3 dias</b>	<b>7 dias</b>	<b>14 dias</b>	<b>28 dias</b>	<b>63 dias</b>	<b>91 dias</b>
REF IIF 100%	5,892	5,892	5,936	5,870	5,897	5,886	5,863
	7,279	7,282	7,232	7,261	7,283	7,282	7,259
REF IIF 60%	5,915	5,879	5,832	5,758	5,765	5,734	5,685
	5,469	5,423	5,402	5,337	5,348	5,291	5,248
	6,683	6,642	6,607	6,518	6,533	6,487	6,426
REF IIF 30%	6,018	5,901	5,862	5,778	5,792	5,758	5,720
	4,529	4,454	4,383	4,350	4,324	4,303	4,279
	6,497	6,378	6,333	6,257	6,270	6,225	6,186
FCPSA IIF 100%	7,242	7,231	7,192	7,222	7,206	7,223	7,226
	5,994	5,980	5,937	5,978	5,948	5,958	5,966
	4,605	4,590	4,548	4,587	4,562	4,581	4,590
FCPSA IIF 60%	5,196	5,143	5,151	5,088	5,001	4,996	4,954
	5,229	5,182	5,182	5,131	5,048	5,005	4,967
	4,719	4,665	4,652	4,612	4,519	4,510	4,457
FCPSA IIF 30%	5,152	5,078	5,014	4,946	4,899	4,907	4,893
	6,531	6,500	6,437	6,329	6,275	6,280	6,270
	5,194	5,124	5,040	5,002	4,939	4,922	4,909
FCPSA+ IIF30%	5,034	4,980	4,970	4,818	4,768	4,778	4,779
	6,442	6,359	6,232	6,221	6,112	6,159	6,138
	6,287	6,165	6,058	5,978	6,002	6,043	6,048
REF IV 100%	5,642	5,672	5,631	5,645	5,606	5,598	5,597
	4,929	4,951	4,916	4,936	4,896	4,891	4,891
	5,830	5,829	5,808	5,820	5,795	5,766	5,759
REF IV 60%	6,359	6,330	6,263	6,185	6,193	6,119	6,066
	6,011	5,988	5,925	5,848	5,852	5,765	5,687
	6,789	6,757	6,684	6,615	6,617	6,534	6,472
REF IV 30%	6,110	5,973	5,937	5,919	5,900	5,965	5,851
	6,605	6,467	6,441	6,443	6,404	6,375	6,362

	5,786	5,646	5,617	5,615	5,579	5,552	5,532
FCPSA IV 100%	3,437	3,434	3,407	3,427	3,405	3,425	3,435
	4,579	4,577	4,533	4,566	4,536	4,538	4,508
	3,461	3,461	3,415	3,450	3,418	3,425	3,380
FCPSA IV 60%	4,761	4,736	4,646	4,636	4,516	4,544	4,504
	3,106	3,084	2,981	2,986	2,881	2,914	2,884
	4,518	4,494	4,383	4,396	4,284	4,304	4,244
FCPSA IV 30%	5,778	5,704	5,584	5,620	5,574	5,568	5,532
	5,219	5,210	5,030	5,065	5,017	5,007	4,946
	6,052	5,975	5,863	5,893	5,852	5,868	5,783
FCPSA+IV 30%	5,968	5,821	5,757	5,751	5,717	5,742	5,743
	6,279	6,163	6,122	6,118	6,019	6,067	6,068
	7,300	7,206	7,067	7,032	7,053	7,013	7,021
	6,368	6,299	6,192	6,170	6,200	6,138	6,144
	5,872	5,759	5,631	5,605	5,554	5,581	5,588

Cálculo do índice de retração, os valores apresentados encontram-se em milímetros:

Tipo	RETRAÇÃO						
	1 dia	3 dias	7 dias	14 dias	28 dias	63 dias	91 dias
REF IIF 100%		0,006	-0,005	-0,080	0,018	-0,006	-0,098
REF IIF 60%		-0,164	-0,301	-0,605	-0,561	-0,740	-0,944
REF IIF 30%		-0,415	-0,621	-0,879	-0,877	-1,011	-1,145
FCPSA IIF 100%		-0,053	-0,219	-0,072	-0,167	-0,105	-0,079
FCPSA IIF 60%		-0,205	-0,212	-0,417	-0,768	-0,844	-1,021
FCPSA IIF 30%		-0,233	-0,515	-0,800	-1,019	-1,024	-1,073
FCPSA+ IIF30%		-0,345	-0,671	-0,995	-1,175	-1,044	-1,064
REF IV 100%		0,068	-0,061	0,000	-0,139	-0,195	-0,205
REF IV 60%		-0,112	-0,383	-0,681	-0,663	-0,988	-1,245
REF IV 30%		-0,553	-0,675	-0,699	-0,824	-0,812	-1,008
CPSA IV 100%		-0,007	-0,163	-0,045	-0,157	-0,119	-0,205
FCPSA IV 60%		-0,095	-0,500	-0,489	-0,939	-0,831	-1,004
FCPSA IV 30%		-0,213	-0,763	-0,628	-0,808	-0,808	-1,051
FCPSA+ IV 30%		-0,431	-0,814	-0,889	-0,995	-0,997	-0,978

## APÊNDICE D

### Análise ANOVA Resistência à compressão - CP II-F 40

Análise de ANOVA por idade para o cimento CP II-F 40, separado por condição de cura.

#### ANOVA (II-F 40 100% UR - 3 DIAS)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	<i>Sign. ?</i>
Entre grupos	5,081936	1	5,081936	0,974853	0,34676	4,964603	NS
Dentro dos grupos	52,13028	10	5,213028				
Total	57,21221	11					

#### ANOVA (II-F 40 100% UR - 14 DIAS)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	<i>Sign. ?</i>
Entre grupos	2,28303	1	2,28303	0,261284	0,620335	4,964603	NS
Dentro dos grupos	87,37734	10	8,737734				
Total	89,66037	11					

#### ANOVA (II-F 40 100% UR - 28 DIAS)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	<i>Sign. ?</i>
Entre grupos	22,02253	1	22,02253	7,825846	0,018876	4,964603	S
Dentro dos grupos	28,14077	10	2,814077				
Total	50,16331	11					

#### ANOVA (II-F 40 100% UR - 91 DIAS)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	<i>Sign. ?</i>
Entre grupos	2,768654	1	2,768654	0,217778	0,650739	4,964603	NS
Dentro dos grupos	127,1319	10	12,71319				
Total	129,9006	11					

#### ANOVA (II-F 40 60% UR - 3 DIAS)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	<i>Sign. ?</i>
Entre grupos	1,377122	1	1,377122	0,756249	0,404895	4,964603	NS
Dentro dos grupos	18,2099	10	1,82099				
Total	19,58702	11					

## ANOVA (II-F 40 60% UR - 14 DIAS)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	<i>Sign. ?</i>
Entre grupos	6,867573	1	6,867573	3,776043	0,080652	4,964603	NS
Dentro dos grupos	18,18722	10	1,818722				
Total	25,05479	11					

## ANOVA (II-F 40 60% UR - 28 DIAS)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	<i>Sign. ?</i>
Entre grupos	59,79533	1	59,79533	28,88292	0,000313	4,964603	S
Dentro dos grupos	20,70266	10	2,070266				
Total	80,49798	11					

## ANOVA (II-F 40 60% UR - 91 DIAS)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	<i>Sign. ?</i>
Entre grupos	0,120477	1	0,120477	0,027161	0,87238	4,964603	NS
Dentro dos grupos	44,35583	10	4,435583				
Total	44,4763	11					

## ANOVA (II-F 40 30% UR - 3 DIAS)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	<i>Sign. ?</i>
Entre grupos	6,153099	1	6,153099	2,874803	0,120834	4,964603	NS
Dentro dos grupos	21,40355	10	2,140355				
Total	27,55665	11					

## ANOVA (II-F 40 30% UR - 14 DIAS)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	<i>Sign. ?</i>
Entre grupos	1,498345	1	1,498345	0,674292	0,4307	4,964603	NS
Dentro dos grupos	22,221	10	2,2221				
Total	23,71935	11					

## ANOVA (II-F 40 30% UR - 28 DIAS)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	<i>Sign. ?</i>
Entre grupos	161,768	1	161,768	107,6213	1,13E-06	4,964603	S
Dentro dos grupos	15,03122	10	1,503122				
Total	176,7992	11					

## ANOVA (II-F 40 30% UR - 91 DIAS)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	<i>Sign. ?</i>
Entre grupos	5,165202	1	5,165202	0,532826	0,48217	4,964603	NS
Dentro dos grupos	96,93968	10	9,693968				
Total	102,1049	11					

## ANOVA (II-F 40 30% UR (FCPSA X FCPSA+) - 3 DIAS)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Sign. ?
Entre grupos	136,35	1	136,35	69,59975	0,000008	4,964603	S
Dentro dos grupos	19,59059	10	1,959059				
Total	155,9406	11					

## ANOVA (II-F 40 30% UR (FCPSA X FCPSA+) - 14 DIAS)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Sign. ?
Entre grupos	185,3656	1	185,3656	40,40514	0,000083	4,964603	S
Dentro dos grupos	45,87672	10	4,587672				
Total	231,2423	11					

## ANOVA (II-F 40 30% UR (FCPSA X FCPSA+) - 28 DIAS)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Sign. ?
Entre grupos	185,6107	1	185,6107	37,45645	0,000113	4,964603	S
Dentro dos grupos	49,55373	10	4,955373				
Total	235,1644	11					

## ANOVA (II-F 40 30% UR (FCPSA X FCPSA+) - 91 DIAS)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Sign. ?
Entre grupos	1563,358	1	1563,358	488,5272	0,000000	4,964603	S
Dentro dos grupos	32,00145	10	3,200145				
Total	1595,36	11					

Análise de ANOVA do CP II-F 40 comparando-se a adição de FCPSA na argamassa.

## ANOVA (REF 100% X FCPSA 100%)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Sign. ?
Adição de FCPSA	12,60282	1	12,60282	1,71013	0,19843	4,084746	NS
Idade	1979,846	3	659,9487	89,55126	0,00000	2,838745	S
Interação	19,55334	3	6,517778	0,884425	0,45739	2,838745	NS
Dentro	294,7803	40	7,369507				
Total	2306,782	47					

## ANOVA (REF 60% X FCPSA 60%)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Sign. ?
Adição de FCPSA	19,50434	1	19,50434	7,689802	0,00839	4,084746	S
Idade	1137,986	3	379,3285	149,5545	0,00000	2,838745	S
Interação	48,65616	3	16,21872	6,394411	0,00121	2,838745	S
Dentro	101,4556	40	2,53639				
Total	1307,602	47					

## ANOVA (REF 30% X FCPSA 30%)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Sign. ?
-------------------	----	----	----	---	---------	-----------	---------



Adição de FCPSA	87,38627	1	87,38627	22,46499	0,00003	4,084746	S
Idade	222,3034	3	74,10114	19,04969	0,00000	2,838745	S
Interação	87,19833	3	29,06611	7,472226	0,00044	2,838745	S
Dentro	155,5954	40	3,889886				
Total	552,4835	47					

Análise de ANOVA do CP II-F 40 comparando-se a adição à condição de cura.

#### ANOVA (REFERÊNCIA)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Sign.?
Condição de cura	256,1267	2	128,0633	22,81826	0,00000	3,150411	S
Idade	1293,622	3	431,2072	76,83227	0,00000	2,758078	S
Interação	351,9619	6	58,66032	10,45206	0,00000	2,254053	S
Dentro	336,7392	60	5,612319				
Total	2238,449	71					

#### ANOVA (FCPSA)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Sign.?
Condição de cura	640,8668	2	320,4334	89,38495	0,00000	3,150411	S
Idade	1329,993	3	443,3311	123,6673	0,00000	2,758078	S
Interação	519,9658	6	86,66096	24,17409	0,00000	2,254053	S
Dentro	215,0922	60	3,58487				
Total	2705,918	71					

#### Análise ANOVA Retração - CP II-F 40

Análise de ANOVA do CP II-F 40 comparando-se a condição de cura.

#### ANOVA (Referência)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Sign. ?
Condição de Cura	1,970349	2	0,985174	47,11201	0,0000	4,102821	S
Idades	0,560547	5	0,112109	5,361183	0,0118	3,325835	S
Erro	0,209113	10	0,020911				
Total	2,740009	17					

#### ANOVA (FCPSA)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Sign. ?
Condição de Cura	2,073141	3	0,691047	20,01797	0,0000	3,287382	S
Idades	1,168068	5	0,233614	6,767226	0,0017	2,901295	S
Erro	0,51782	15	0,034521				
Total	3,759029	23					

Análise de ANOVA do CP IIF comparando-se o uso de FCPSA na argamassa.

#### ANOVA (100%)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Sign. ?
Udo de FCPSA	0,023408	1	0,023408	4,98991	0,0758	6,607891	NS
Idades	0,009037	5	0,001807	0,385266	0,8407	5,050329	NS
Erro	0,023456	5	0,004691				
Total	0,055901	11					

## ANOVA (60%)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Sign. ?
Udo de FCPSA	0,001925	1	0,001925	0,191215	0,6801	6,607891	NS
Idades	0,957208	5	0,191442	19,01309	0,0029	5,050329	S
Erro	0,050345	5	0,010069				
Total	1,009478	11					

## ANOVA (30%)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Sign. ?
Udo de FCPSA	0,006721	1	0,006721	1,072405	0,3479	6,607891	NS
Idades	0,893291	5	0,178658	28,50535	0,0011	5,050329	S
Erro	0,031338	5	0,006268				
Total	0,93135	11					

## Análise ANOVA Resistência à compressão - CP IV 32

Análise de ANOVA por idade para o cimento CP IV 32, separado por condição de cura.

## ANOVA (IV 32 100% UR - 3 DIAS)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	<i>Sign. ?</i>
Entre grupos	0,81609	1	0,81609	0,084492	0,777239	4,96460	NS
Dentro dos grupos	96,58789	10	9,658789				
Total	97,40398	11					

## ANOVA (IV 32 100% UR - 14 DIAS)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	<i>Sign. ?</i>
Entre grupos	5,071587	1	5,071587	24,99834	0,000537	4,96460	S
Dentro dos grupos	2,028769	10	0,202877				
Total	7,100356	11					

## ANOVA (IV 32 100% UR - 28 DIAS)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	<i>Sign. ?</i>
Entre grupos	3,256883	1	3,256883	4,231483	0,066715	4,96460	NS
Dentro dos grupos	7,696787	10	0,769679				
Total	10,95367	11					

## ANOVA (IV 32 100% UR - 91 DIAS)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	<i>Sign. ?</i>
Entre grupos	16,57197	1	16,57197	5,150915	0,046605	4,96460	S
Dentro dos grupos	32,17287	10	3,217287				
Total	48,74485	11					

## ANOVA (IV 32 60% UR - 3 DIAS)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	<i>Sign. ?</i>
Entre grupos	5,151644	1	5,151644	37,81239	0,000108	4,96460	S
Dentro dos grupos	1,362422	10	0,136242				
Total	6,514066	11					

## ANOVA (IV 32 60% UR - 14 DIAS)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	<i>Sign. ?</i>
Entre grupos	6,212863	1	6,212863	6,013214	0,03413	4,96460	S
Dentro dos grupos	10,33202	10	1,033202				
Total	16,54488	11					

## ANOVA (IV 32 60% UR - 28 DIAS)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	<i>Sign. ?</i>
Entre grupos	30,90488	1	30,90488	24,55516	0,000574	4,96460	S
Dentro dos grupos	12,5859	10	1,25859				
Total	43,49078	11					

## ANOVA (IV 32 60% UR - 91 DIAS)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	<i>Sign. ?</i>
Entre grupos	23,79243	1	23,79243	7,486593	0,02097	4,96460	S
Dentro dos grupos	31,78005	10	3,178005				
Total	55,57249	11					

## ANOVA (IV 32 30% UR - 3 DIAS)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	<i>Sign. ?</i>
Entre grupos	8,003653	1	8,003653	16,69925	0,002192	4,96460	S
Dentro dos grupos	4,792822	10	0,479282				
Total	12,79647	11					



Entre grupos	295,8731	1	295,873	127,3296	0	4,96460	S
Dentro dos grupos	23,23678	10	2,32367				
Total	319,1099	11					

Análise de ANOVA do CP IV 32 comparando-se a adição de FCPSA na argamassa.

ANOVA (REF 100% X FCPSA 100%)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Sign.?
Adição de FCPSA	3,266743	1	3,266743	0,943557	0,337202	4,0847457	NS
Idade	5215,558	3	1738,519	502,1491	0,000000	2,8387454	S
Interação	22,44979	3	7,483263	2,161445	0,107649	2,8387454	NS
Dentro	138,4863	40	3,462158				
Total	5379,761	47					

ANOVA (REF 60% X FCPSA 60%)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Sign.?
Adição de FCPSA	4,163268	1	4,163268	2,970559	0,092515	4,0847457	NS
Idade	1020,825	3	340,2751	242,7918	0,000000	2,8387454	S
Interação	61,89855	3	20,63285	14,72187	0,000001	2,8387454	S
Dentro	56,06039	40	1,40151				
Total	1142,947	47					

ANOVA (REF 30% X FCPSA 30%)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Sign.?
Adição de FCPSA	18,36336	1	18,36336	7,332889	0,009912	4,0847457	S
Idade	166,5985	3	55,53283	22,17547	0,000000	2,8387454	S
Interação	99,2661	3	33,0887	13,21304	0,000004	2,8387454	S
Dentro	100,1699	40	2,504247				
Total	384,3978	47					

Análise de ANOVA do CP IV 32 comparando-se a adição à condição de cura.

ANOVA (REFERÊNCIA)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Sign.?
Condição de cura	1655,783	2	827,8915	552,0029	0,0000000	3,1504113	S
Idade	2119,554	3	706,5181	471,0763	0,0000000	2,7580783	S
Interação	1304,087	6	217,3479	144,9184	0,0000000	2,254053	S
Dentro	89,98773	60	1,499796				
Total	5169,412	71					

ANOVA (FCPSA)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Sign.?
Condição de cura	1827,252	2	913,6259	267,7569	0,0000	3,150411	S
Idade	2242,825	3	747,6082	219,102	0,0000	2,758078	S
Interação	920,1303	6	153,3551	44,94385	0,0000	2,254053	S

Dentro	204,7288	60	3,412147				
Total	5194,936	71					

### Análise ANOVA Retração - CP IV 32

Análise de ANOVA do CP IV 32 comparando-se a condição de cura.

#### ANOVA (Referência)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Sign. ?
Condição de Cura	1,61634	2	0,80817	27,71041	0,0001	4,102821	S
Idades	0,716177	5	0,143235	4,911233	0,0158	3,325835	S
Erro	0,291649	10	0,029165				
Total	2,624166	17					

#### ANOVA (FCPSA)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Sign. ?
Condição de Cura	1,859429	3	0,61981	33,80255	0,0000	3,287382	S
Idades	0,980853	5	0,196171	10,69855	0,0002	2,901295	S
Erro	0,275043	15	0,018336				
Total	3,115326	23					

Análise de ANOVA do CP IV 32 comparando-se o uso de FCPSA na argamassa.

#### ANOVA (100%)

0,0500

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Sign. ?
Udo de FCPSA	0,002241	1	0,002241	1,139391	0,3346	6,607891	NS
Idades	0,079452	5	0,01589	8,077914	0,0194	5,050329	S
Erro	0,009836	5	0,001967				
Total	0,091529	11					

#### ANOVA (60%)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Sign. ?
Udo de FCPSA	0,003816	1	0,003816	0,18882	0,6820	6,607891	NS
Idades	1,321894	5	0,264379	13,08059	0,0068	5,050329	S
Erro	0,101058	5	0,020212				
Total	1,426768	11					

#### ANOVA (30%)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Sign. ?
Udo de FCPSA	0,0075	1	0,0075	0,649317	0,4570	6,607891	NS
Idades	0,456337	5	0,091267	7,901523	0,0203	5,050329	S
Erro	0,057753	5	0,011551				
Total	0,52159	11					