

4

Análise dos resultados

Este capítulo concentra toda a parte experimental desenvolvida na presente dissertação. São apresentados os resultados dos ensaios de trabalhabilidade dos diferentes tipos de concretos auto-adensáveis estudados, dentro dos parâmetros previamente estabelecidos no plano experimental. Na seqüência, faz-se uma caracterização dos respectivos traços obtidos a partir da nova metodologia proposta. Para facilitar a análise dos resultados, estão previstas, além de uma tabela geral de caracterização, também tabelas complementares discriminando o consumo e volume de cada componente das respectivas misturas. Por fim, é feito um estudo do custo unitário por tipo de concreto para um f_{ck} de 50MPa, 60MPa e 70MPa.

4.1 Ensaio de trabalhabilidade do concreto fresco

Conforme foi exposto no plano experimental, foram realizados ensaios para qualificação do CAA a partir dos principais equipamentos de trabalhabilidade encontrados na bibliografia técnica. Observa-se particularmente que como o ensaio do *Column* (ASTM C1610/C 1610M)^{4.1} mostrou-se muito mais simples para a quantificação da segregação do concreto auto-adensável, comparado com o ensaio do *U-Pipe* (GOMES, 2002)^{4.2}, após confirmada a correlação existente entre os resultados dos ensaios realizados nesses dois equipamentos, decidiu-se adotar o

^{4.1} AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard test for static segregation of self-consolidating concrete using column technique**. C 1610. Philadelphia, 2006;

^{4.2} GOMES, P. C. C. **Optimization and characterization of high-strength self-compacting concrete**. Tese de doutorado. Barcelona, 139p.,2002;

primeiro como teste padrão para a medida de quantificação da segregação nos ensaios dos traços subseqüentes.

4.1.1 Concreto com cimento ARI

A Tab. 4.1 apresenta os resultados dos ensaios de trabalhabilidade realizados para todas as famílias de CAA dosadas com cimento ARI.

Tabela 4.1 Ensaios de trabalhabilidade do CAA, para o cimento ARI.

Concreto	α %	m	PC1 % *	PC2 % *	T %	Slump		J- ring mm	U-box L-box H2/H1	R1-R2 mm	V- funnel seg	V- funnel 5min seg	Column %	U-pipe P1/P2 & P1/P3	
						flow mm	T50cm seg								
SFE2	CAA sem adição	2,5	68	1,6		700	3,1	680	0,94	0	7,1	9,7	9,0	0,89 0,96	
		3				660	3,1	650	0,94	10	4,6	5,1	8,0	1,02 0,94	
		4				690	2,8	680	0,88	0	3,3	3,5	5,7	1,04 0,99	
		4				660	3,1	650	0,94	0	4,1	6,5	2,8	1,16 1,05	
		4,5				650	3,3	620	0,94	0	3,0	5,8	1,8	1,10 1,04	
	CAA com metac.	2,5	62	1,6		4	690	2,9	680	0,94	0	7,2	10,6	8,1	0,89 1,01
		3				5	660	2,2	640	0,94	0	5,7	7,8	7,9	1,03 0,94
		3,5				6	660	2,3	630	0,88	0	6,0	8,2	8,4	1,04 1,03
		4				7	660	2,5	650	0,94	0	4,0	4,8	7,0	0,98 1,00
		4,5				8	650	1,8	590	0,82	10	3,5	3,7	6,9	0,89 0,84
		5	9	690	1,5	660	0,94	10	3,0	3,4	5,0	0,92 0,89			
	CAA com filer 1	3	65	1,4		1	680	2,5	670	0,94	0	5,6	6,5	5,2	0,99 1,00
3,5		5				700	2,6	690	0,94	0	4,5	6,7	7,0	1,00 1,00	
4		9				680	3,3	660	0,94	0	5,5	7,0	6,3	1,16 1,08	
4,5		13				680	2,4	650	0,94	0	4,4	6,2	3,5	1,00 0,98	
5		17				690	3,2	660	1,00	0	6,2	8,0	4,1	0,93 0,85	
	5,5**	21	710	3,1	690	0,94	0	5,5	9,4	2,2	0,13 0,95				
CAA com filer 2	3	65	1,4		11	710	2,2	690	0,94	0	6,3	9,0	9,5		
	3,5				13	710	2,1	690	0,94	0	5,5	8,5	8,7		
	4				15	710	2,1	680	0,94	0	5,6	7,9	9,2		
	4,5				17	720	2,9	690	0,94	0	6,8	7,5	10,5		
	5				19	710	3,2	660	0,85	0	7,2	9,8	8,0		
	5,5**	21	710	3,1	690	0,94	0	5,5	9,4	2,1	0,13 0,95				
CAA sem adição	2	71	1,5			760	3,6	760	1,00	0	5,9	10	5,8		
	2,5					750	3,5	720	0,94	0	6,8	10,8	2,6		
	3					760	2,8	750	1,00	0	4,1	7	10,8		
	3,5					740	2,7	710	0,94	0	3,6	4,8	4,5		
	4				750	2,3	700	0,94	0	4	6,9	9,0			
CAA com metac.	2,5	65	1,5		5	760	1,5	750	1,00	0	6,8	9,2	7,4		
	3				7	760	1,8	760	1,00	0	3,5	5,6	7,0		
	3,5				9	770	1,8	760	0,94	0	3,3	7,4	6,2		
	4				11	760	1,5	760	1,00	0	2,8	3,9	4,7		
	4,5				13	750	1,6	740	1,00	1	3	4,2	1,5		
CAA com filer	2,5	68	1,4		13	780	2,3	780	1,00	0	6,7	9,5	10,2		
	3				15,5	770	1,8	770	0,94	0	6,6	10,3	5,7		
	3,5				18	770	1,8	760	1,00	0	4,9	8,1	7,9		
	4				20,5	770	2,1	760	0,94	0	4,5	11	6,4		
	4,5				23	760	1,8	760	1,00	0	5	7,3	9,2		

* porcentagem sobre a massa dos aglomerantes.

**o traço *m* no valor de 5,5 tanto do CAA com filer 1 como com filer 2 são o mesmo.

Observa-se que existem duas famílias de concreto auto-adensável com filer calcário para o nível de auto-adensabilidade SF2, pois na dosagem da primeira, com esse tipo de adição, observou-se que o teor de substituição de finos (T) aumentava sensivelmente na medida que se caminha do traço médio para os traços pobres. Contudo, para o caso dos traços mais ricos (e, portanto com mais cimento), constatou-se que o T poderia ser mínimo ou simplesmente desnecessário, pensando simplesmente no aspecto de coesão do concreto fresco. Todavia, esse fato gerou uma grande diferença na quantidade de filer entre os traços mais pobres, comparados com os traços mais ricos, o que gerou uma também diferenciação na coloração superficial do concreto fresco e acabado. Os concretos com baixo consumo de filer ficaram com um tom de cinza claro, enquanto os traços com alto consumo dessa adição tiveram um tom de cinza escuro.

Como normalmente é possível obter uma maior economia de aço com concretos de altas resistências aplicados em pilares (que trabalham à compressão) do que em vigas, cujo esforço principal de tração é absorvido pelas armaduras, é mais vantajoso usar concreto de resistências maiores nesses primeiros elementos construtivos. Contudo, em se tratando de concreto aparente, que é o caso da grande maioria das peças pré-fabricadas, por razões estéticas, não pode haver uma diferenciação de coloração entre diferentes elementos estruturais, em uma mesma obra, o que fez necessário a dosagem de concreto mais ricos (de m menor) com uma maior quantidade de adição, a fim guardar uma maior unidade de coloração entre os traços de uma mesma família, pois os traços com filer 1 não são operacionais.

4.1.2 Concreto com cimento Branco

Os resultados de trabalhabilidade do CAA com cimento branco é apresentado na Tab. 4.2 abaixo.

Tabela 4.2 Ensaio de trabalhabilidade CAA, para o cimento Branco.

Concreto	α %	m	PC1 % *	Slump		L-box H2/H1 mm	U-box R1-R2	V- funnel seg	V- funnel 5min seg	Column %	U-pipe P1/P2 & P1/P3	
				Slump flow mm	T50cm seg							
SL2	CAA sem adição	2,5	1,6	650	3,6	630	0,78	0	8,5	13,6	5,2	1,06 1,05
		3		680	3,4	650	1,00	0	7,4	8,7	1,6	1,17 1,15
		59 3,5		650	3,6	640	1,00	0	6,6	9,0	3,4	1,08 1,05
		4		650	3,0	630	1,00	0	4,2	5,3	3,9	1,12 1,07
		4,5		700	2,3	660	1,00	0	4,0	5,7	4,0	1,04 1,10

* porcentagem sobre a massa do aglomerante.

4.2 Caracterização das misturas estudadas

4.2.1 Concreto com cimento ARI

As Tab. 4.3, 4.4 e 4.5 apresentam a caracterização geral, o consumo e o volume respectivamente de cada componente dos traços estudados. As mesmas fazem uso de algumas abreviaturas que são descritas a seguir:

a/f: relação água/finos, em kg/kg;

a/ag: relação água/aglomerante, em kg/kg;

ar: teor de ar incorporado, em %;

ar./agr.: teor de areia seca/ agregados totais secos, em kg/m³;

C: consumo de materiais (cimento, metacaulim, filer e finos), em kg/m³;

cim.: cimento;

H: teor de a/ag / materiais secos: grau de hidratação;

metac.: metacaulim;

Var. /Varg.: volume de areia / Volume de argamassa, em m³/m³;

Vb/Vagr. comp.: volume de brita compactada seca/ Volume de agregados totais compactados secos, em m³/m³;

Vb: volume de brita, em m³/ 1m³ do concreto;

V_{pasta}: volume de pasta, em m³;

γ_{concreto} : massa específica do concreto, em kg/m³.

Tabela 4.3 Caracterização geral dos traços de CAA, em comparação aos do REF, para o cimento ARI.

Concreto	α %	m	traço unitário								PC1 % **	PC2 % **	$\gamma_{concr.}$ kg/m ³	ar %	C _{cim.} kg/m ³	C _{metac.} kg/m ³	C _{filer} kg/m ³	C _{finos} kg/m ³ ***	V _{pasta} %****	T %	H %	f _{c28} MPa
			cim. ARI	metac. rosa	areia rosa	filer	b ₁	b _{1/2}	a/ag*	a/f*												
CC	REF 1	47	5	1		1,82	2,23	0,95	0,39	0,38			2422	0,9	379			388	27,3		6,5	76,9
			5,5	1		2,06	2,41	1,03	0,43	0,42			2406	1,1	347			356	26,6		6,7	68,8
			6	1		2,29	2,60	1,11	0,48	0,47	0,8		2404	0,8	321			331	26,2		6,9	57,8
			6,5	1		2,53	2,78	1,19	0,54	0,52			2384	1,1	296			306	25,9		7,2	53,9
			7	1		2,76	2,97	1,27	0,59	0,57			2377	1	277			286	25,6		7,4	45,6
	REF 2	53	4,5	1		1,92	1,81	0,78	0,37	0,36			2410	1,2	410			420	28,7		6,7	76,1
			5	1		2,18	1,97	0,85	0,41	0,40			2406	1	375			385	27,8		6,8	65,9
			5,5	1		2,45	2,14	0,92	0,51	0,49	1,0		2370	1,1	338			348	28,4		7,8	57,3
			6	1		2,71	2,30	0,99	0,55	0,53			2366	1,1	313			323	27,6		7,8	52,1
			6,5	1		2,98	2,47	1,06	0,61	0,59			2358	0,9	291			301	27,5		8,1	47,0
7	1		3,24	2,63	1,13	0,68	0,65			2343	1	270			280	27,3		8,5	35,4			
CAA sem adição	68	2,5	1		1,38	0,78	0,34	0,28	0,28			2385	1,6	630			639	38,4		8,1	78,5	
		3	1		1,72	0,90	0,38	0,36	0,36			2350	1,4	538			547	37,2		9,1	71,8	
		3,5	1		2,06	1,01	0,43	0,42	0,41	1,6		2334	1,5	474			484	35,3		9,2	65,5	
		4	1		2,40	1,12	0,48	0,48	0,46			2317	1,6	423			433	34,1		9,5	60,0	
		4,5	1		2,74	1,23	0,53	0,53	0,51			2305	1,8	382			392	32,8		9,6	51,3	
CAA com metac.	62	2,5	0,96	0,04	1,17	0,93	0,40	0,30	0,28			2372	1,5	599	25		632	39,1	4	8,5	81,0	
		3	0,95	0,05	1,48	1,06	0,46	0,35	0,32			2358	1,4	515	27		551	36,7	5	8,7	74,0	
		3,5	0,94	0,06	1,79	1,20	0,51	0,39	0,36	1,6		2342	1,6	449	29		487	34,8	6	8,8	66,2	
		4	0,93	0,07	2,10	1,33	0,57	0,47	0,43			2319	1,5	394	30		433	34,1	7	9,4	62,9	
		4,5	0,92	0,08	2,41	1,46	0,63	0,53	0,47			2306	1,6	352	31		392	33,0	8	9,6	56,3	
5	0,91	0,09	2,72	1,60	0,68	0,61	0,54			2287	1,5	315	31		356	32,8	9	10,2	52,1			
CAA com filer 1	65	3	1		1,58	0,02	0,98	0,42	0,32	0,31			2387	1,3	552		9	570	36,0	1	8,0	77,6
		3,5	1		1,83	0,10	1,10	0,47	0,38	0,34			2369	1,2	485		47	541	36,0	5	8,4	71,4
		4	1		2,05	0,20	1,23	0,53	0,42	0,35	1,4		2363	1,2	435		88	533	36,0	9	8,5	64,4
		4,5	1		2,24	0,33	1,35	0,58	0,47	0,35			2355	1,3	394		132	535	36,3	13	8,6	60,0
		5	1		2,41	0,49	1,47	0,63	0,51	0,34			2348	1,5	360		178	547	36,8	17	8,6	56,5
5,5	1		2,55	0,68	1,59	0,68	0,57	0,34			2336	1,6	330		224	563	37,9	21	8,8	51,2		
CAA com filer 2	65	3	1		1,42	0,18	0,98	0,42	0,33	0,28			2372	1,7	547		96	651	39,6	11	8,3	75,6
		3,5	1		1,67	0,25	1,10	0,47	0,39	0,31			2364	1,3	483		121	613	39,0	13	8,6	69,5
		4	1		1,91	0,34	1,23	0,53	0,44	0,32	1,4		2347	1,7	431		146	586	38,3	15	8,7	63
		4,5	1		2,14	0,44	1,35	0,58	0,48	0,33			2353	1,3	393		172	574	38,0	17	8,7	57,9
		5	1		2,35	0,55	1,47	0,63	0,53	0,34			2341	1,5	358		197	565	38,0	19	8,8	53
5,5	1		2,55	0,68	1,59	0,68	0,57	0,34			2337	1,6	330		224	563	38,0	21	8,8	51,2		

Tabela 4.3 Caracterização geral dos traços de CAA, em comparação aos do REF, para o cimento ARI (continuação).

Concreto	α %	m	traço unitário										$\gamma_{concr.}$ kg/m ³	ar %	C _{cim.} kg/m ³	C _{metac.} kg/m ³	C _{filer} kg/m ³	C _{finos} kg/m ³ ***	V _{pasta} %****	T %	H %	f _{c28} MPa
			cim. ARI	metac.	areia rosa	filer	b ₁	b _{1/2}	a/ag*	a/f *	PC1 % **	PC2 % **										
CAA sem adição	71	2	1		1,13		0,87	0,25	0,24				2404	1,3	740			748	41,6		8,2	82,7
		2,5	1		1,49		1,02	0,29	0,28				2396	1,0	632			641	38,2		8,2	76,1
		3	1		1,84		1,16	0,35	0,34		1,5		2366	1,2	544			554	36,2		8,6	70,4
		3,5	1		2,20		1,31	0,43	0,42				2336	1,1	474			484	35,4		9,5	61,9
		4	1		2,55		1,45	0,49	0,48				2326	0,9	423			434	34,3		9,7	56
CAA com metac.	65	2,5	0,95	0,05	1,28		1,23	0,31	0,29				2372	1,3	591	31		631	39,0	5	8,7	79,4
		3	0,93	0,07	1,60		1,40	0,36	0,33				2361	1,0	503	38		550	36,9	7	8,9	72,6
		3,5	0,91	0,09	1,93		1,58	0,42	0,37		1,5		2336	1,2	432	43		484	35,4	9	9,3	64,9
		4	0,89	0,11	2,25		1,75	0,50	0,43				2313	1,1	374	46		430	34,8	11	10,0	58,6
		4,5	0,87	0,13	2,58		1,93	0,58	0,49				2296	0,9	328	49		387	34,5	13	10,6	52,9
CAA com filer	68	2,5	1		1,15	0,23	1,12	0,30	0,24				2379	1,7	626		147	780	43,8	17	8,5	80,3
		3	1		1,38	0,34	1,28	0,34	0,26				2376	1,3	546		183	738	42,9	19,5	8,6	73,2
		3,5	1		1,61	0,45	1,44	0,40	0,27		1,4		2355	1,7	481		218	707	42,2	22	8,8	66,4
		4	1		1,81	0,59	1,60	0,45	0,28				2355	1,3	432		254	694	42,3	24,5	9,0	61,3
		4,5	1		2,00	0,74	1,76	0,50	0,28				2344	1,5	390		289	688	42,4	27	9,1	55,2

* inclui a água contida no aditivo descontado o teor de sólidos.
 ** percentagem sobre a massa dos aglomerantes.
 *** considera além do cimento, adições e as partícula de agregado graúdo e miúdo passantes pela peneira 0,075mm.
 **** considera o cimento, adições, água e as partícula de agregado graúdo e miúdo passantes pela peneira 0,075mm.

Tabela 4.4 Consumo de materiais em kg/m³ dos traços de CAA, em comparação aos do REF, para o cimento ARI.

	Concreto	α %	m	materiais							ar./agr. %	
				cimento ARI	metac.	areia rosa	filer	b_1	$b_{1/2}$	água		PC1
CC	REF 1	47	5	379		690		844	362	145	3,0	36
			5,5	347		713		837	359	149	2,8	37
			6	321		736		834	357	153	2,6	38
			6,5	296		749		825	354	158	2,4	39
			7	277		763		821	352	162	2,2	39
	REF 2	53	4,5	410		786		743	318	149	4,1	43
			5	375		818		741	317	151	3,8	44
			5,5	338		827		723	310	169	3,4	44
			6	313		849		722	309	169	3,1	45
			6,5	291		865		717	307	175	2,9	46
7	270		875		710	304	181	2,7	46			
SL2	CAA sem adição	68	2,5	630		869		494	212	172	10,1	55
			3	538		925		482	207	189	8,6	57
			3,5	474		977		478	205	192	7,6	59
			4	423		1015		474	203	197	6,8	60
			4,5	382		1047		471	202	198	6,1	61
	CAA com metac.	62	2,5	599	25	730		581	249	179	10,0	47
			3	515	27	802		577	247	182	8,7	49
			3,5	449	29	856		572	245	183	7,6	51
			4	394	30	889		563	241	195	6,8	53
			4,5	352	31	921		559	240	198	6,1	54
5	315	31	940		552	236	207	5,5	54			
CAA com filer 1	65	3	552		874	9	541	232	171	7,7	53	
		3,5	485		887	47	535	229	179	6,8	54	
		4	435		891	88	533	228	181	6,1	54	
		4,5	394		883	132	531	228	182	5,5	54	
		5	360		867	178	529	227	182	5,0	53	
5,5	330		841	224	526	225	187	4,6	53			
CAA com filer 2	65	3	543		773	96	532	228	182	7,6	50	
		3,5	483		809	121	533	228	184	6,8	52	
		4	431		825	146	528	226	184	6,0	52	
		4,5	393		840	172	530	227	185	5,5	53	
		5	358		842	197	527	226	187	5,0	53	
5,5	330		841	224	526	225	187	4,6	53			

Tabela 4.4 Consumo de materiais em kg/m³ dos traços de CAA, em comparação aos do REF, para o cimento ARI (continuação).

Concreto	α %	m	materiais										
			cimento ARI	metac.	areia rosa	filer	b ₁	b _{1/2}	água	PC1	PC2	ar./agr. %	
SFS	CAA sem adição	2	740		836				644	174		11,1	57
		2,5	632		939			642	175		9,5	59	
		3	544		1001			631	183		8,2	61	
		3,5	474		1040			618	197		7,1	63	
		4	423		1080			614	202		6,4	64	
	CAA com metac.	2,5	591	31	793			762	184		9,3	51	
		3	503	38	866			758	188		8,1	53	
		3,5	432	43	913			747	194		7,1	55	
		4	374	46	945			735	206		6,3	56	
		4,5	328	49	971			726	216		5,7	57	
	CAA com filer	2,5	626		717	147		701	181		8,8	51	
		3	546		756	183		699	184		7,6	52	
		3,5	481		772	218		692	186		6,7	53	
		4	432		782	254		691	190		6,0	53	
		4,5	390		781	289		687	191		5,5	53	

Tabela 4.5 Volume dos componentes em l para cada m³ dos traços de CAA, em comparação aos do REF, para o cimento ARI.

Concreto	α %	m	materiais								Var./ Varg. %	Vb/Vagr. comp. %	Vb %	Val/f % *		
			cimento ARI	metac.	areia rosa	filer	b ₁	b _{1/2}	água	PC1					PC2	ar
CC	REF 1	5	122		264	320	137	145	2,8		9	49,4	65,2	45,6	1,17	
		5,5	112		273	317	136	149	2,6		11	50,9	64,3	45,3	1,30	
		6	104		282	316	135	153	2,4		8	52,1	63,5	45,1	1,44	
		6,5	96		287	312	134	158	2,2		11	52,8	62,8	44,6	1,61	
		7	89		293	311	133	162	2,1		10	53,5	62,2	44,4	1,76	
	REF 2	4,5	132		301	281	121	149	3,8		12	51,4	59,1	40,2	1,11	
		5	121		313	281	120	151	3,5		10	53,2	58,1	40,1	1,23	
		5,5	109		317	274	117	169	3,1		11	53,0	57,3	39,1	1,51	
		6	101		325	273	117	169	2,9		11	54,4	56,6	39,1	1,63	
		6,5	94		331	272	116	175	2,7		9	54,9	56,0	38,8	1,81	
	7	87		335	269	115	181	2,5		10	55,3	55,4	38,4	2,01		
	CAA sem adição	68	2,5	203		333	187	80	172	9,4		16	46,6	46,5	26,7	0,86
			3	174		354	183	78	189	8,0		14	49,0	44,4	26,1	1,10
			3,5	153		374	181	78	192	7,1		15	51,7	42,8	25,9	1,25
4			136		389	179	77	197	6,3		16	53,5	41,7	25,6	1,43	
4,5			123		401	178	76	198	5,7		18	55,2	40,8	25,5	1,58	
CAA com metac.		62	2,5	193	10	280	220	94	179	9,3		15	41,8	54,9	31,4	0,90
			3	166	11	307	218	94	182	8,1		14	45,7	52,4	31,2	1,04
			3,5	145	11	328	217	93	183	7,1		16	48,7	50,6	31,0	1,18
			4	127	12	341	213	91	195	6,3		15	50,2	49,2	30,5	1,39
			4,5	113	12	353	212	91	198	5,7		16	51,9	48,2	30,3	1,56
5	101	12	360	209	90	207	5,1		15	52,5	47,3	29,9	1,79			
CAA com filer 1	65	3	178		335	3	205	88	171	7,2		13	48,4	48,7	29,3	0,95
		3,5	157		340	17	203	87	179	6,3		12	48,8	48,0	28,9	1,04
		4	140		341	32	202	87	181	5,7		12	48,9	47,8	28,8	1,05
		4,5	127		338	47	201	86	182	5,1		13	48,4	48,0	28,7	1,04
		5	116		332	64	201	86	182	4,7		15	47,6	48,3	28,7	1,01
5,5	106		322	80	199	85	187	4,3		16	46,1	48,9	28,4	1,00		
CAA com filer 2	65	3	175		296	34	202	86	182	7,1		17	42,7	51,3	28,8	0,88
		3,5	156		310	43	202	86	184	6,3		13	44,4	50,2	28,8	0,93
		4	139		316	52	200	86	184	5,6		17	45,4	49,5	28,6	0,97
		4,5	127		322	62	201	86	185	5,1		13	46,0	49,1	28,7	0,98
		5	116		322	71	199	85	187	4,7		15	46,1	48,9	28,5	1,00
5,5	106		322	80	199	85	187	4,3		16	46,1	48,9	28,4	1,00		

Tabela 4.5 Volume dos componentes em l para cada m³ dos traços de CAA, em comparação aos do REF, para o cimento ARI (continuação).

Concreto	α %	m	materiais							Var./ Varg. %	Vb/Vagr. comp. %	Vb %	Va/f % *			
			cimento ARI	metac.	areia rosa	filer	b ₁	b _{1/2}	água					PC1	PC2	ar
CAA	sem adição	2	239		320			244	174		10,3	13	43,6	45,2	24,4	0,72
		2,5	204		360			243	175		8,8	10	48,7	42,3	24,3	0,84
		3	175		383			239	183		7,6	12	51,7	40,3	23,9	1,02
		3,5	153		398			234	197		6,6	11	53,2	38,9	23,4	1,26
	4	137		414			233	202		5,9	9	54,9	37,9	23,3	1,44	
	CAA com metac.	2,5	191	12	304			289	184		8,7	13	43,9	50,7	28,9	0,89
		3	162	15	332			287	188		7,6	10	47,5	48,4	28,7	1,04
		3,5	139	17	350			283	194		6,6	12	49,9	46,7	28,3	1,22
		4	121	18	362			278	206		5,9	11	51,2	45,5	27,8	1,44
	4,5	106	19	372			275	216		5,3	9	52,1	44,5	27,5	1,67	
	CAA com filer	2,5	202		275	53		265	181		8,1	17	38,6	51,2	26,5	0,70
		3	176		290	66		265	184		7,1	13	40,5	49,8	26,5	0,75
3,5		155		296	78		262	186		6,3	17	41,3	49,0	26,2	0,79	
4		139		300	91		262	190		5,6	13	41,6	48,6	26,2	0,81	
4,5	126		299	104		260	191		5,1	15	41,5	48,6	26,0	0,82		

Os resultados mostram que o volume de brita (V_b) obtido nos traços desse estudo apresentaram valores compatíveis com os tipicamente encontrados na bibliografia técnica (Tab. 4.5), situados entre 27-36%, conforme apontados pelo EPG (2005)^{4.3}.

Caso a caso, o volume de brita variou dependendo da presença ou não de adições, que funcionam como fortes promotores de coesão do concreto fresco, aumentando a superfície específica da mistura, possibilitando, assim, uma redução do teor de argamassa, com conseqüente aumento da quantidade de agregados graúdos. Esse volume de brita dependeu também do nível de auto-adensabilidade (SF2 ou SF3), de modo que, quanto mais fluido for o concreto, maior a necessidade de finos gerada para manter a estabilidade da mistura e maior também foi o α para guardar as mesmas características de viscosidade e habilidade passante.

O percentual de brita para os concretos auto-adensáveis nível SF2 sem adição ficou em torno de 27 - 26%, com metacaulim entre 31 - 30%, com filer calcário entre 29 - 28%. O único caso em que esse índice ficou abaixo dos valores descritos no EPG (2005) foi com o nível SF3 sem adição, que ficou entre 24 - 23%, devido à necessidade de um conteúdo maior de finos, em relação ao SF2, necessários para manter a coesão do concreto fresco, que foi obtido com o aumento do teor de argamassa, já que esses tipos de traço não usarão adições. Diferentemente, para o mesmo nível SF3 com adição de metacaulim, o teor de brita ficou entre 29 - 28%, e com filer, em torno de 27-27%. Ou seja, no caso do CAA com adição, foi possível obter um concreto com menor teor de argamassa, em relação ao SF3 sem adição.

Os valores de brita compactada em relação ao volume total de agregados compactados ($V_b/V_{agr. comp.}$) (Tab. 4.5), que pode ser considerado um indicador semelhante ao V_b , se aproximam, na grande maioria dos casos, dos percentuais fixados pelo Método Japonês^{4.4}, em 50%, ou Bennenk (2007b)^{4.5}, que admite valores até maiores que 50%. Muito embora o nível de fluidez e viscosidade trabalhadas nessa dissertação seja mais exigente que os valores médios estabelecidos por

^{4.3} EPG – *European Project Group* (BIBM; CEMBUREAU; ERMCO; EFCA; EFNARC). “**The European guidelines for self compacting concrete**”. 63p., 2005;

^{4.4} OKAMURA, H.; OUCHI, M. *Self-compacting concrete*. In: **Journal of advanced concrete technology**, v.1, n. 1, p. 5-15, 2003;

^{4.5} BENNENK, W. *The mix design of self compacting concrete*. In: **Cape Town: International concrete conference & Exhibition**, p. 16-19, 2007b;

esses pesquisadores. Sendo que esse porcentual no CAA para o nível SF2 sem adição foi de 47 - 41%, com metacaulim ficou entre 55 - 47%, com filer 1 de 49 - 48% e com filer 2 de 51 - 49%. Já, para o CAA SF3 sem adição, o porcentual foi de 45 - 38%, com metacaulim 51 - 44% e com filer 51 - 49%. De modo que, novamente, os valores que mais destoam, pelos mesmos motivos apresentados anteriormente, são os do SF3 sem adição.

Quanto ao volume de areia em relação ao de argamassa (Var/Varg) (Tab. 4.5), o Método Japonês (OKAMURA & OUCHI, 2003) estabelece 40%. Esse porcentual no CAA para o nível SF2 sem adição ficou entre 47 - 55%, com metacaulim entre 42 - 53%, com filer 1 entre 46 - 48%, e filer 2, entre 43 - 46%. Para o caso do SF3 sem adição, o volume de areia ficou entre 44 - 55%, com metacaulim entre 44 - 52%, e com filer, entre 39 - 42% (Fig. 4.5). Ou seja, em todos os casos, o volume de areia ficou maior que o estabelecido pelo citado método. E, de maneira geral, todos os traços ficaram compatíveis com os preceitos estabelecidos por Bennenk (2007b) (de 45%, em alguns casos pode ser ainda maior), resultando, assim, em uma primeira análise, em concretos mais econômicos, pelo menor volume de pasta, em relação ao Método Okamura. A única família que não atingiu os valores estabelecidos por este último autor foi o SF3 com filer, porém isso se deve ao alto volume usado dessa adição para manter as características de trabalhabilidade.

Em média, todos os traços executados com adição atendem ao intervalo de 48 - 55% dos agregados miúdos em relação ao total de agregados em peso (ar./agr) apontados pelo EPG (2005), conforme pode ser observado na Tab. 4.4. O CAA sem adição ficou entre 55-61%, com metacaulim entre 47-54%, com filer 1 entre 53-54%, e com filer 2 entre 50-53. Para o nível SF3, o CAA sem adição permaneceu entre 57-64%, com metacaulim entre 51-57% e com filer de 52-54%. A exceção acontece, nos traços mais pobres do CAA SF2 e SF3 sem adição, justamente porque a falta de adições minerais acaba por gerar um incremento adicional do teor de argamassa para obter finos para manter as características requeridas de auto-adensabilidade, aumentando por consequência a quantidade de areia em relação à brita.

Todavia, os valores Var/Varg e ar./agr não podem ser considerados semelhantes, pois o 1º ao relacionar simplesmente o volume de areia em relação à argamassa acaba por passar uma falsa impressão de que os traços sem adição são mais econômicos do que os traços com adição, o que não é verdade.

Os consumos de água obtidos se encaixaram perfeitamente dentro dos parâmetros usuais dados pelo EPG (2005) (150-210 l/m³) (Tab. 4.4 e 4.5). De uma forma geral, os traços mais ricos até o intermediário atenderão a relação água/finos (a/f) em volume de 0,85 - 1,10, estabelecido pelo EPG (2005). Contudo, os traços mais pobres tiveram resultados maiores, com exceção do CAA SF2 e SF3 com filer calcário, por utilizar uma quantidade superior de adição (não pozolânico) em relação aos demais traços.

Contudo, deve-se tomar um certo cuidado quanto a esse último indicador, pois ele estabelece simplesmente a quantidade de finos de forma muito abrangente sem considerar qual é o fator correspondente de material pozolânico ou não, o que faz muita diferença.

4.2.2 Concreto com cimento branco

Observa-se que, no caso do CAA com cimento branco nível SF2, o volume de brita (V_b) (Tab. 4.8) ficou entre 35 - 34%, pouco maior quando comparado ao cimento ARI. Isso também se reflete nos valores de brita compactada em relação aos agregados compactados (V_b/V_{agr. comp.}) (Tab. 4.8), que ficou entre 59 – 52%. O volume de areia em relação ao de argamassa (V_{ar}/V_{arg}) (Tab. 4.8) ficou entre 40 – 52%, atendendo os valores estabelecidos pelo Okamura & Ouchi (2003), Bennenk (2007b) e, na maioria dos casos, também atenderão aos intervalos de 48-55% de *ar./agr* apontados pelo EPG (2005), ou ficaram levemente inferior.

Os volumes de água (Tab. 4.7 e 4.8) estão de acordo com os apontados na bibliografia, contudo, apenas a relação água/finos (Tab. 4.6) encontram-se pouco abaixo nos traços mais pobres, devido a menor presença de finos.

De forma geral, os traços com cimento branco apresentaram melhores resultados nestes indicadores quando comparados ao CP V ARI, que pode ser atribuído à finura do cimento branco de contribui para a coesão do concreto fresco, diminuindo o teor de argamassa. Um α menor possível é desejável, neste caso, não apenas por fatores econômicos, mas, sobretudo, porque quando aplicado na produção de painéis arquitetônicos, o concreto branco terá, na maioria dos casos, a sua superfície jateada, resultando os agregados expostos, que deve estar em evidência, aproximando-se, assim, do efeito de pedra natural.

Tabela 4.6 Caracterização geral dos traços de CAA, em comparação aos do REF, para o cimento branco.

Concreto	α %	m	traço unitário					PC1 % **	γ_{concreto} kg/m ³	ar %	C _{cim.} kg/m ³	C _{finos} kg/m ³ ***	V _{pasta} % ****	H %	f _{c28} MPa
			cimento branco	areia branca	b ₀	a/ag *	a/f *								
CC	REF	45	3,5	1	1,03	2,48	0,3	0,30	2400	1,2	500	503	31,2	6,7	78,1
			4	1	1,25	2,75	0,37	0,37	2368	1,3	441	444	30,6	7,4	66
			4,5	1	1,48	3,03	0,42	0,42	2350	1,5	397	400	29,6	7,6	57,0
			5	1	1,70	3,30	0,49	0,48	2331	1,5	359	363	29,3	8,1	50,3
			5,5	1	1,93	3,58	0,57	0,56	2320	1,1	328	332	29,3	8,7	42,6
SFS	CAA sem adição	59	2,5	1	1,07	1,44	0,29	0,29	2367	1,6	624	627	38,1	8,2	80,0
			3	1	1,36	1,64	0,33	0,33	2351	1,7	542	545	35,6	8,3	73,4
			3,5	1	1,66	1,85	0,38	0,38	2351	1,2	481	485	33,9	8,4	66,0
			4	1	1,95	2,05	0,43	0,42	2334	1,5	430	433	32,3	8,5	60,8
			4,5	1	2,25	2,26	0,48	0,48	2319	1,7	387	391	31,2	8,7	52,9

* inclui a água contida no aditivo descontado o teor de sólidos.

** percentagem sobre a massa do aglomerante.

*** considera além do cimento, adições e as partícula de agregado graúdo e miúdo passantes pela peneira 0,075mm.

**** considera o cimento, adições, água e as partícula de agregado graúdo e miúdo passantes pela peneira 0,075mm.

Tabela 4.7 Consumo de materiais em kg/m³ dos traços de CAA, em comparação aos do REF, para o cimento branco.

	Concreto	α %	m	materiais					ar./agr. %
				cimento Branco	areia branca	b ₀	água	PC1	
CC	REF	45	3,5	500	512	1237	147	4,0	29,3
			4	441	551	1212	161	3,5	31,3
			4,5	397	585	1200	165	3,2	32,8
			5	359	610	1185	174	2,9	34,0
			5,5	328	632	1174	184	2,6	35,0
SF2	CAA sem adição	59	2,5	624	665	895	173	10,0	42,6
			3	542	737	889	174	8,7	45,3
			3,5	481	797	888	177	7,7	47,3
			4	430	838	881	179	6,9	48,8
			4,5	387	870	873	182	6,2	49,9

Tabela 4.8 Volume dos componentes em l para cada m³ dos traços de CAA, em comparação aos do REF, para o cimento branco.

	Concreto	α %	m	materiais					Var./ Varg. %	Vb/Vagr. comp. %	Vb %	Va/f % *	
				cimento branco	areia branca	b ₀	água	PC1					ar
CC	REF	45	3,5	161	195	481	147	3,7	12	38,5	72,2	48,1	0,92
			4	142	209	472	161	3,3	13	40,7	70,3	47,2	1,14
			4,5	128	223	467	165	3,0	15	43,1	68,8	46,7	1,29
			5	116	232	461	174	2,7	15	44,4	67,6	46,1	1,50
			5,5	106	240	457	184	2,4	11	45,2	66,6	45,7	1,73
SF2	CAA sem adição	59	2,5	201	253	348	173	9,3	16	40,0	59,1	34,8	0,88
			3	175	280	346	174	8,1	17	44,2	56,4	34,6	1,02
			3,5	155	303	346	177	7,2	12	47,4	54,5	34,6	1,16
			4	139	319	343	179	6,4	15	49,8	53,0	34,3	1,31
			4,5	125	331	340	182	5,8	17	51,6	51,9	34,0	1,47

* considera além do cimento, adições e as partícula de agregado graúdo e miúdo passantes pela peneira 0,075mm.

4.3 Diagramas de dosagem

4.3.1 Concreto com cimento ARI

Ao analisar as duas famílias de concretos de referência (Fig. 4.1), observa-se que o REF 2 (mais argamassado) obteve para um dado m (relação em massa agregado/ cimento), uma relação a/ag maior, quando comparado ao REF 1 (menor argamassado), pois necessita de mais água para envolver uma área superficial

maior de argamassa e obter um abatimento também maior, por consequência, obteve um menor f_{c28} .

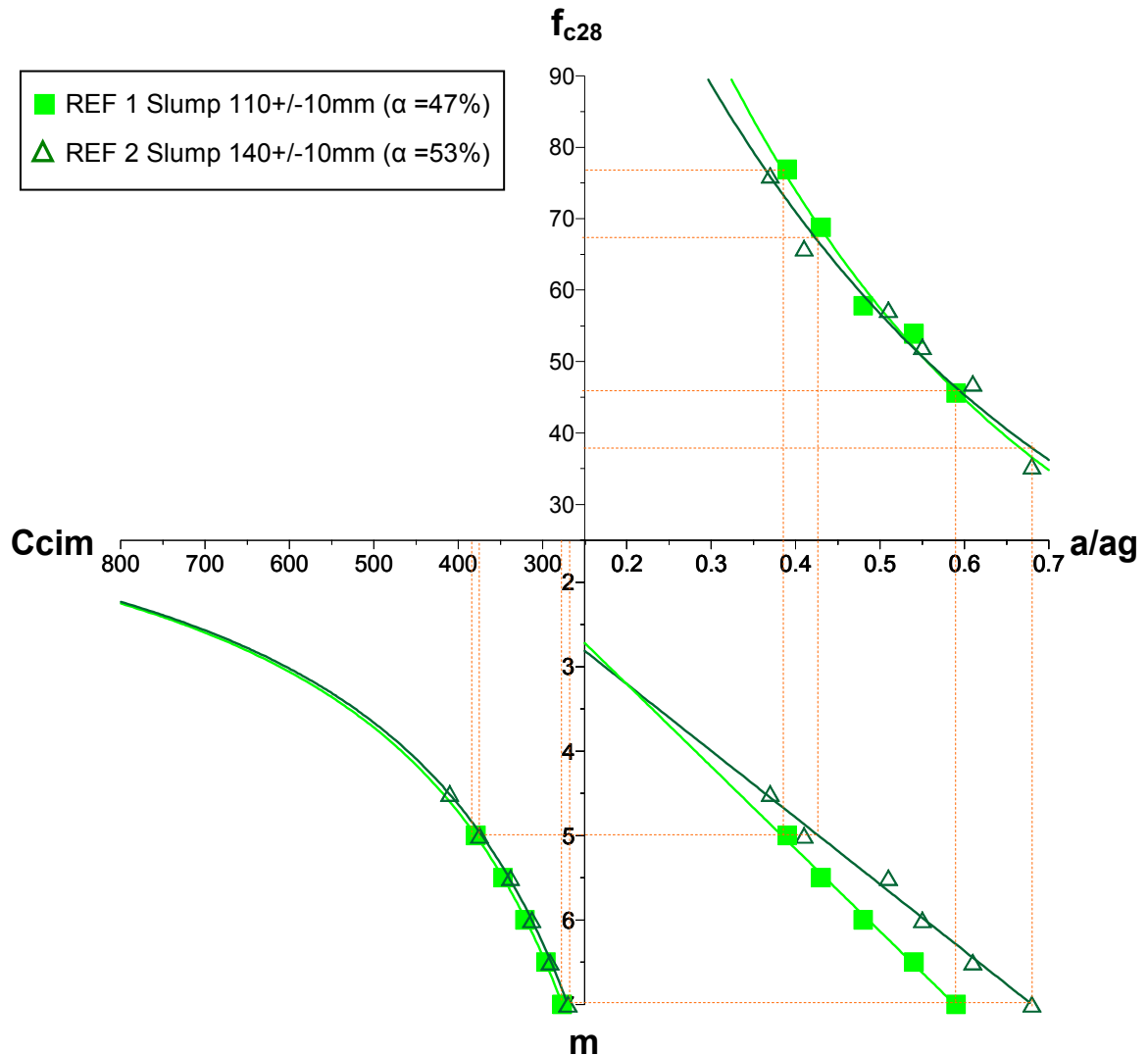


Figura 4.1 Diagramas de dosagem de resistência aos 28 dias do REF 1 e REF 2, para o cimento ARI.

Comparando os traços SF2 e SF3 do CAA sem adição (Fig. 4.2), pode-se observar um efeito semelhante ao ocorrido nos traços de referência, ou seja, para um dado m a relação a/ag do CAA SF3 é maior, comparado ao SF2, devido à maior superfície específica de argamassa e ao maior nível de auto-adensabilidade, ocasionando uma ligeira queda na resistência.

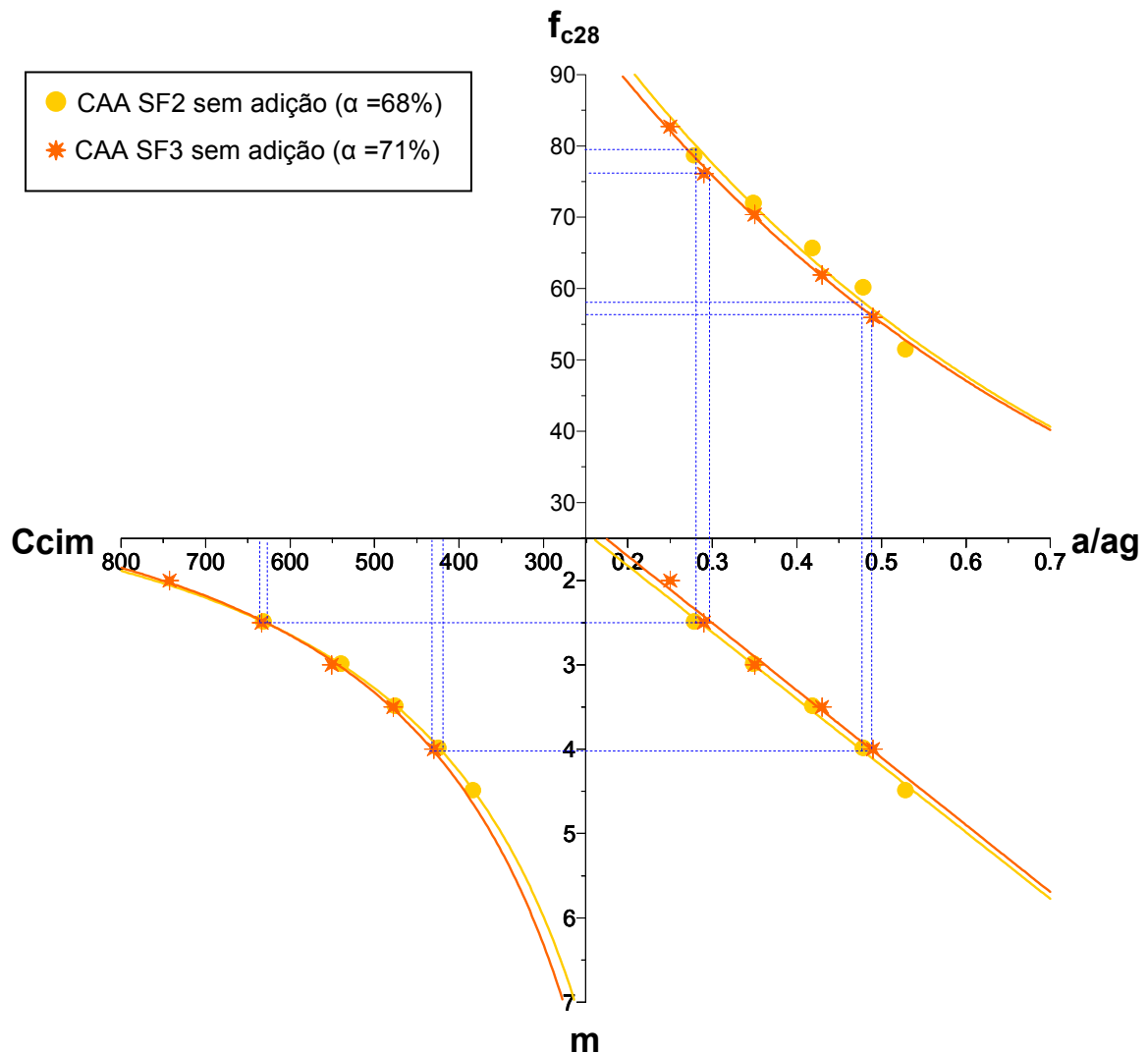


Figura 4.2 Diagramas de dosagem para resistência à compressão aos 28 dias dos CAA SF2 e SF3 sem adição, para o cimento ARI.

Quando se trabalha com adições (Fig 4.3 e 4.4), também se percebe esse efeito de aumento da relação a/ag e redução do f_{c28} para um determinado m , quando se compara um concreto SF2 com um SF3.

Conforme anteriormente apontado, o incremento de adição por substituição (T) contribui para obter um CAA com menor teor de argamassa, comparados ao CAA sem adição. Observa-se que o teor de substituição de metacaulim (T) nos traços mais ricos (com maior consumo de cimento) é mínimo, comparado com os traços mais pobres (com poucos finos), para manter as mesmas características de coesão do concreto no estado fresco. Sendo que os valores do T nesses mesmos traços mais pobres ainda aumentam sensivelmente no CAA SF3, em relação ao

SF2, justamente para manter a estabilidade da mistura diante de um nível maior de fluidez (Fig. 4.3).

Particularmente, na dosagem do CAA com filer calcário, não pode haver uma diferença muito significativa no teor de substituição entre os traços mais ricos e os mais pobres, devido à questão supramencionada da diferenciação da coloração superficial gerada na superfície dos elementos acabados de concreto. Por isso, os traços mais ricos devem assumir um T maior que o teoricamente necessário, pensando simplesmente no aspecto da coesão, conforme observado na Fig. 4.4.

Porém, quando se comparam entre si os traços dos concretos auto-adensáveis SF2 e SF3 sem e com adição, percebe que, para um dado m qualquer, a presença de adição possibilita normalmente a redução da relação a/ag e aumento do f_{c28} (Fig. 4.5 e 4.6), conforme também foi apresentados na Tab. 4.3.

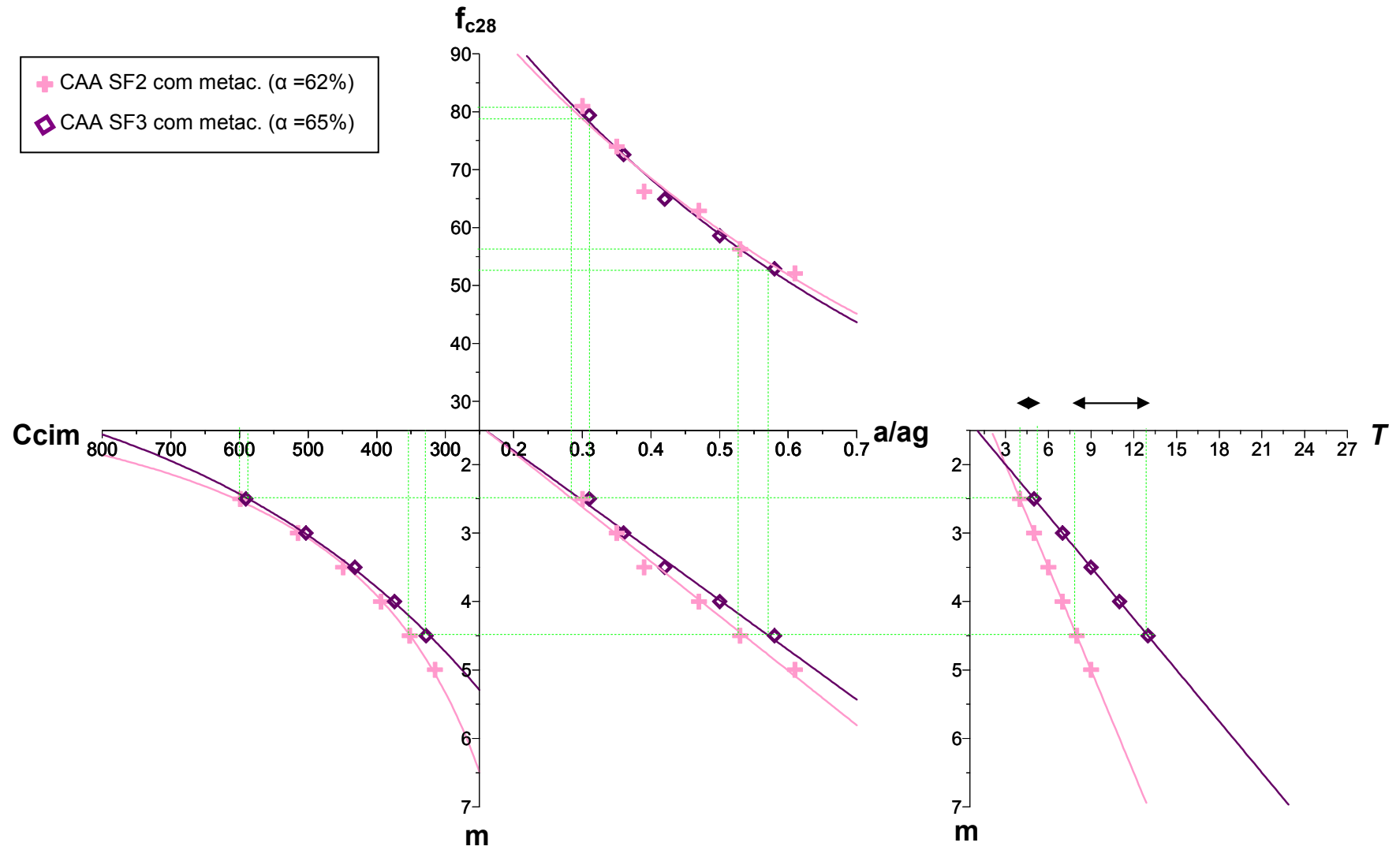


Figura 4.3 Diagramas de dosagem para resistência à compressão aos 28 dias dos CAA SF2 e SF3 com adição de metacaulim, para o cimento ARI.

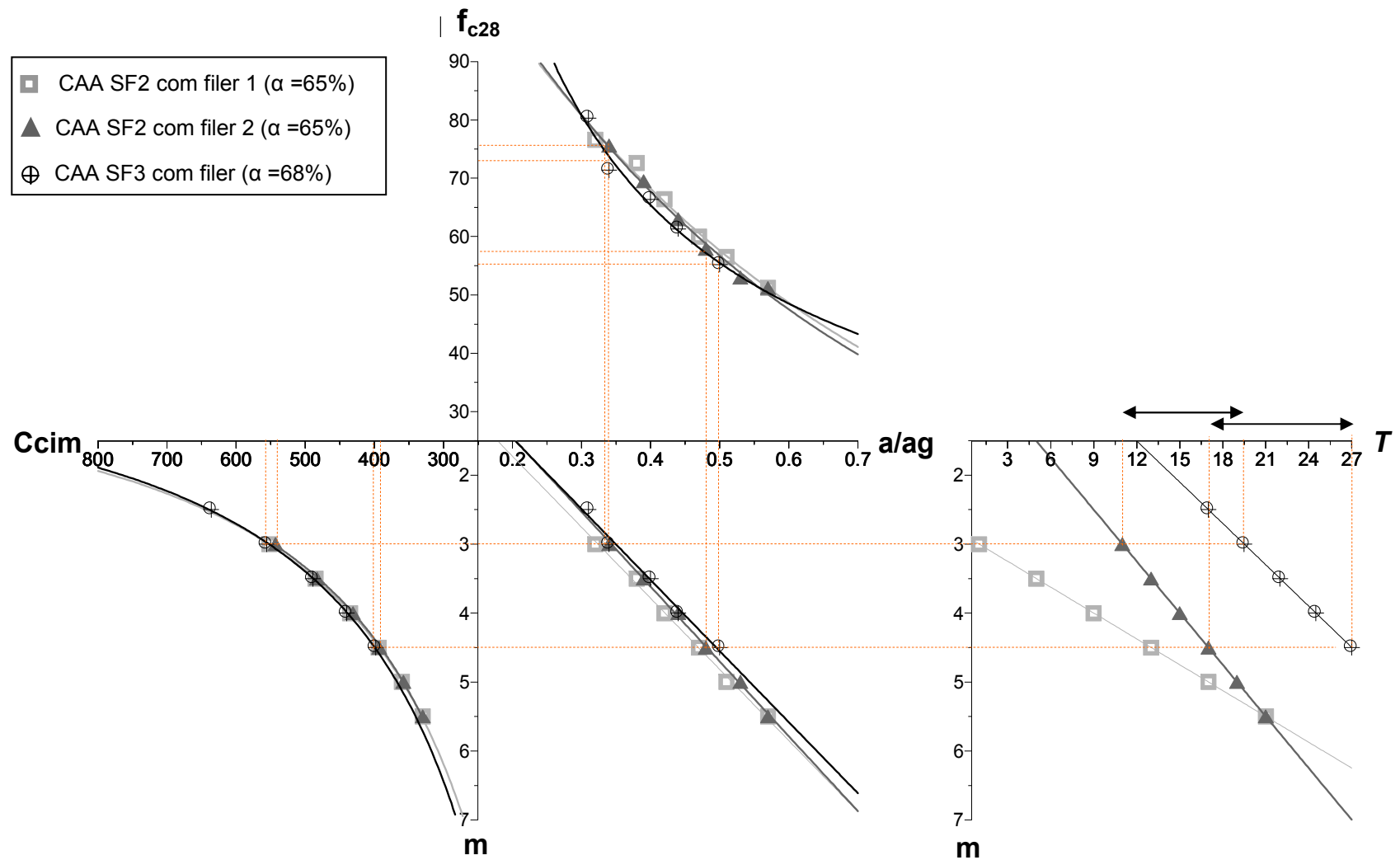


Figura 4.4 Diagramas de dosagem para resistência à compressão aos 28 dias dos CAA SF2 e SF3 com adição de filer calcário, para o cimento ARI.

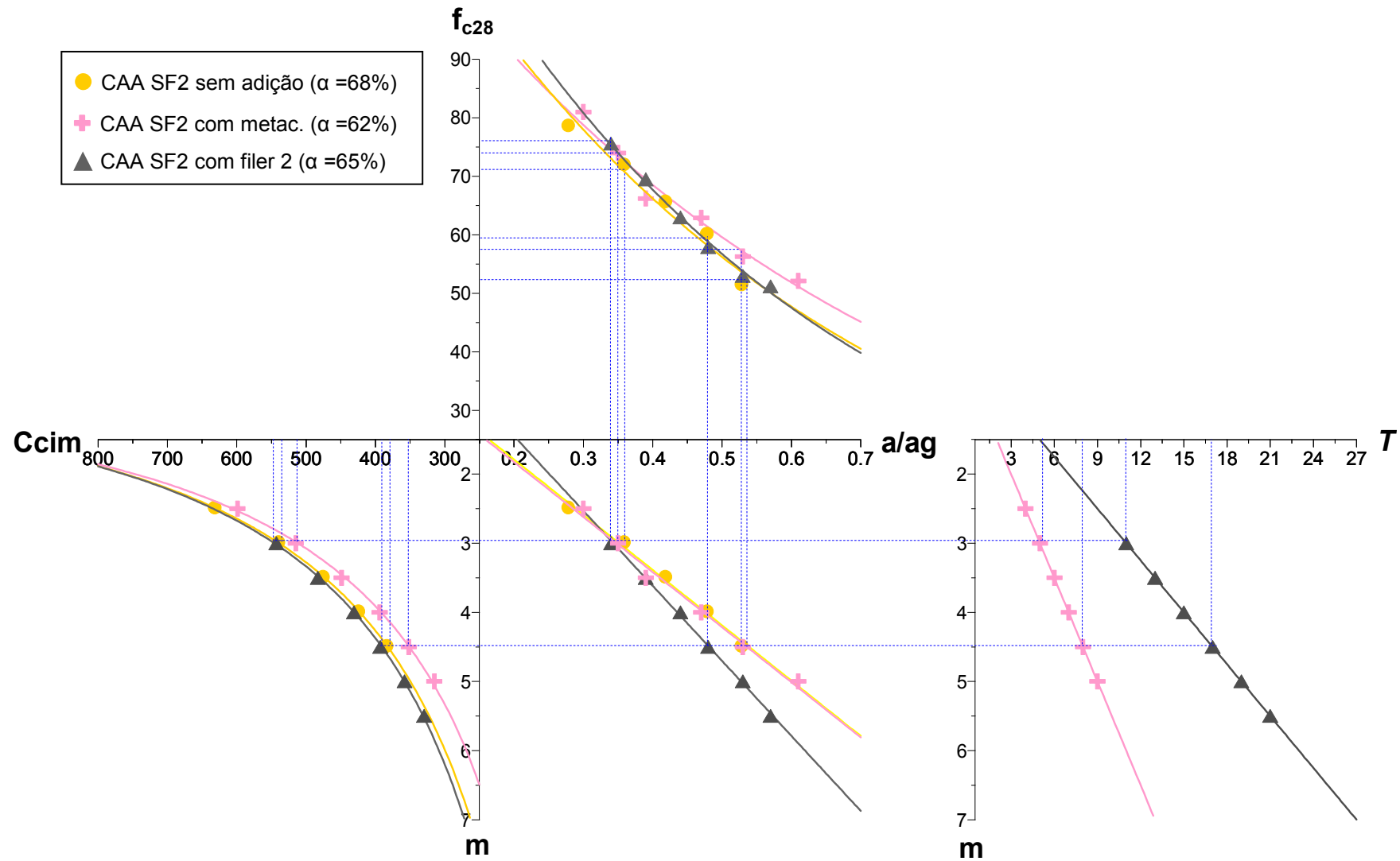


Figura 4.5 Diagramas de dosagem para resistência à compressão aos 28 dias dos CAA SF2 com e sem adição mineral, para o cimento ARI.

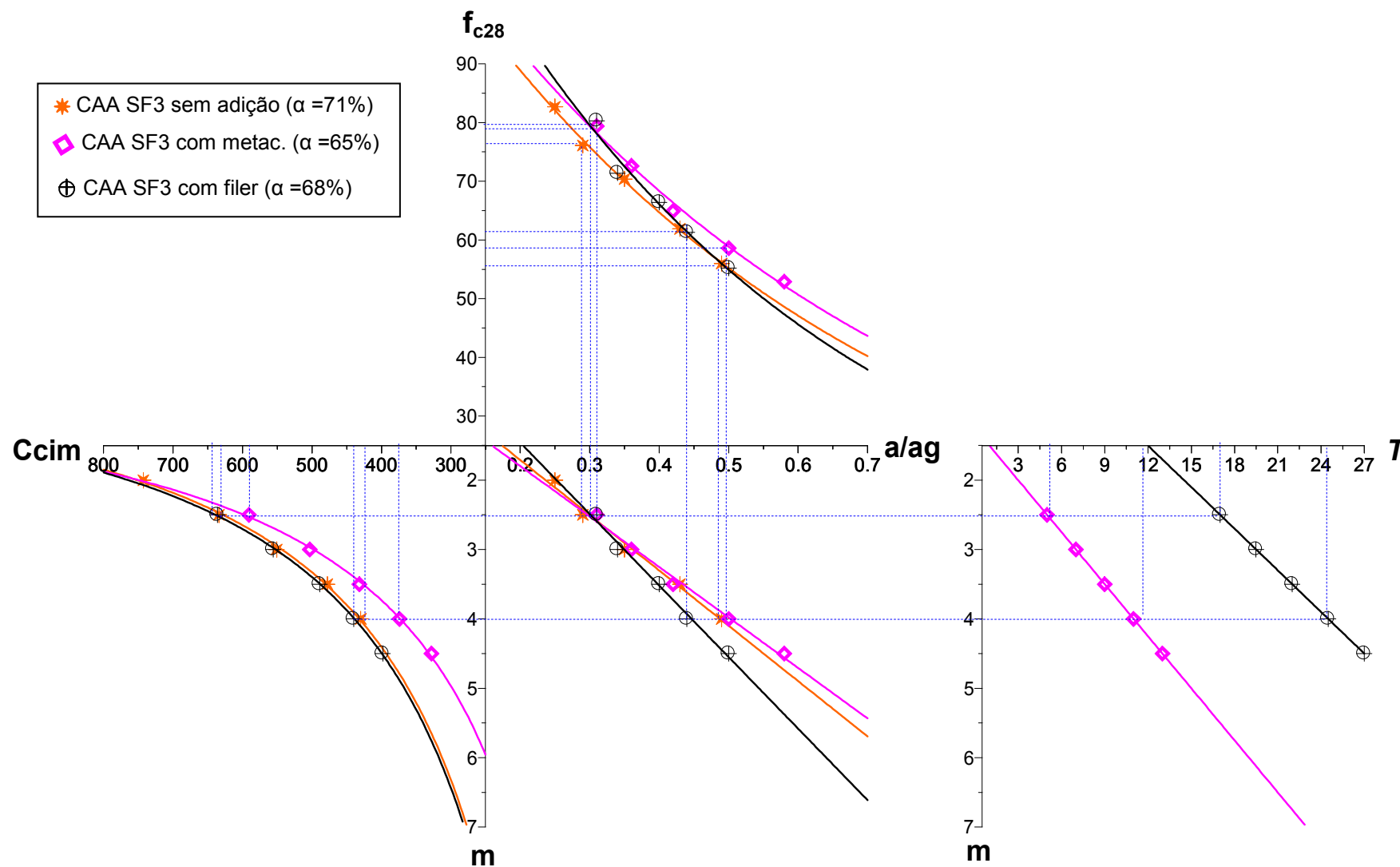


Figura 4.6 Diagramas de dosagem para resistência à compressão aos 28 dias dos CAA SF3 com e sem adição mineral, para o cimento ARI.

Na análise dos gráficos, de uma forma geral, percebe-se que quanto maior o teor de argamassa e fluidez usadas para um dado m , em um determinado tipo de concreto (seja sem adição, com metacaulim ou filer), maior também é o aumento do fator a/ag e a redução do f_{c28} . Contudo, se considerarmos o raciocínio contrário, ou seja, fixando um determinado patamar de resistência, percebe-se que o aumento da fluidez e do α ocasionam normalmente uma redução do fator a/ag e do m e, com isso, ocasionam um maior consumo de cimento.

Esse fato pode ser facilmente percebido ao se comparar em um mesmo gráfico as famílias dos traços de referência com os de CAA sem adição (Fig. 4.8). Onde, para se obter um determinado valor de resistência média (65MPa), foi necessário reduzir a relação a/ag e o m , na medida em que se caminha do REF 1 para o REF 2, do REF 2 para o CAA sem adição SF2 e desse para o SF3.

O que também pode ser percebido ao se analisar os concretos com adição das Fig. 4.8 e 4.9.

Anteriormente, também foi observado que, para um dado e fixo m , a adição de metacaulim e filer possibilitou uma redução do a/ag e aumento do f_{c28} . Da mesma forma, quando se comparam esses traços para uma mesma resistência, tanto nos níveis SF2 quanto SF3, percebe-se que os concretos com adição apresentam um maior fator a/ag , m e maior C_{cim} comparados aos sem adição (Fig. 4.10 e 4.11).

Pode ser observado nestes últimos gráficos que, quando se compara para um mesmo nível de auto-adensabilidade e resistência, traços confeccionado com adição é necessário muito mais filer do que metacaulim para manter as mesmas características de auto-adensabilidade. O que pode ser visualizado também em um Diagrama de Dosagem com todos os traços estudados (Fig. 4.12).

No meio técnico brasileiro em geral, é comum associar a relação a/ag praticamente como o único fator que governa a resistência à compressão do concreto. Todavia, a análise dos resultados apresentados, dos diversos traços realizados neste estudo experimental, permite verificar que a presença de adição, o teor de argamassa e o nível de fluidez ou auto-adensabilidade usados são imperativos na determinação do fator a/ag e f_{c28} , conforme pode ser visualizado na Fig. 4.13, para as resistências de 55MPa, 65MPa e 75MPa. Onde para uma mesmo

patamar de resistência, é possível observar uma considerável diferença da relação a/ag dos diferentes traços.

As equações obtidas a partir da montagem dos diagramas de dosagem são apresentadas na Tab. 4.9.

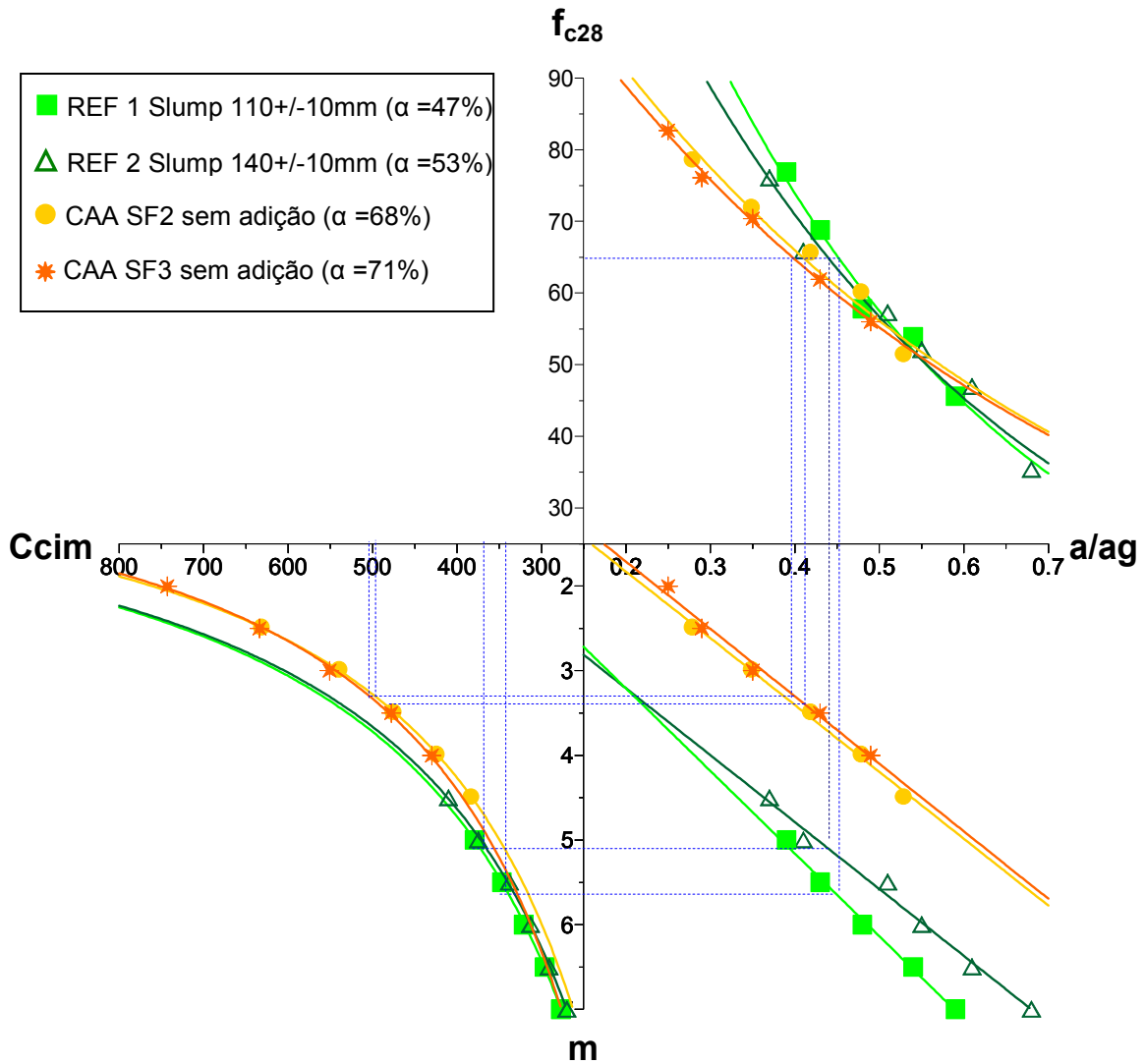


Figura 4.7 Diagramas de dosagem para resistência à compressão aos 28 dias dos concretos REF 1 e 2 em comparação com os CAA SF2 e SF3 sem adição, para o cimento ARI.

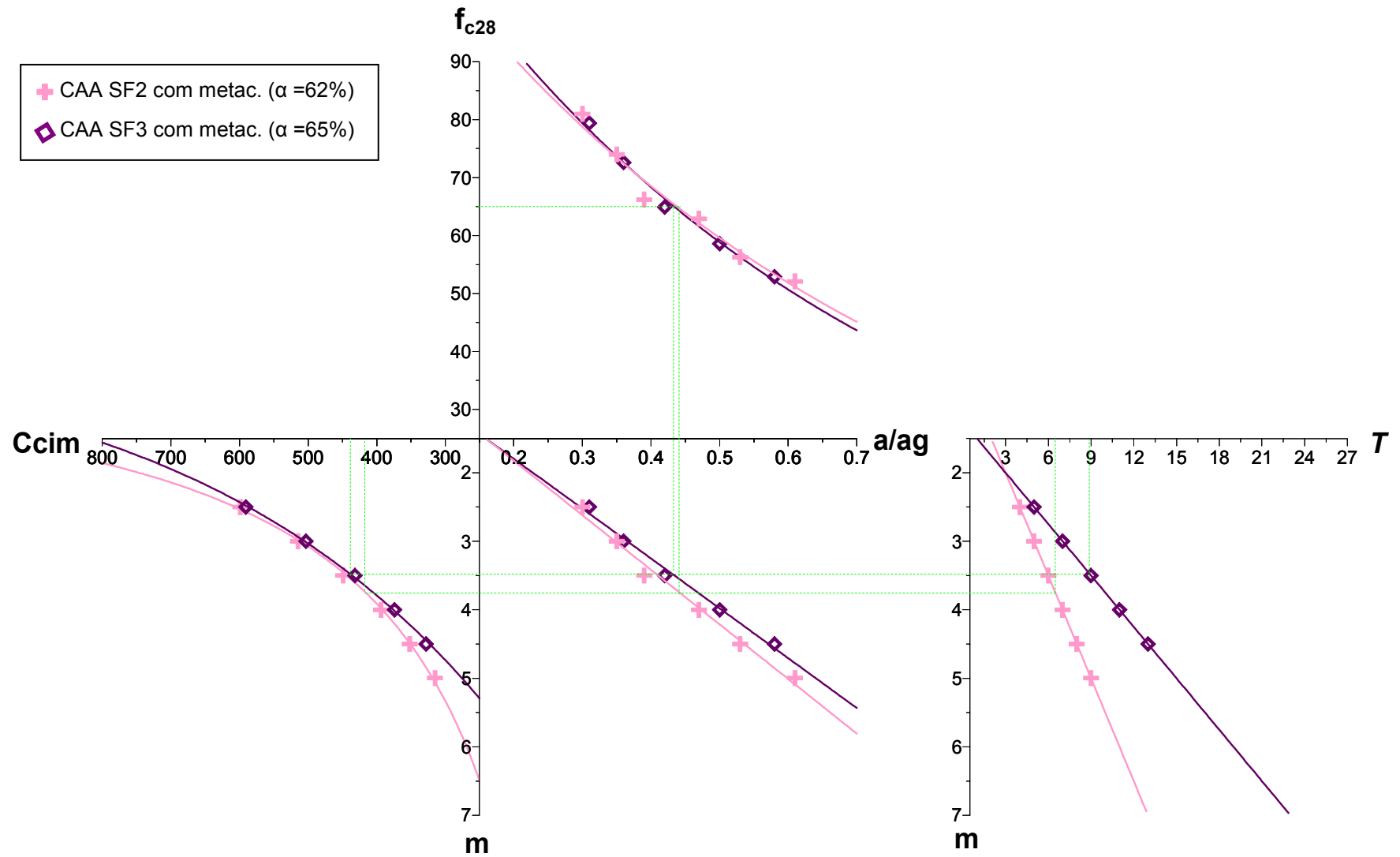


Figura 4.8 Diagramas de dosagem para resistência à compressão aos 28 dias dos CAA SF2 e SF3 com adição de metacaulim, para o cimento ARI.

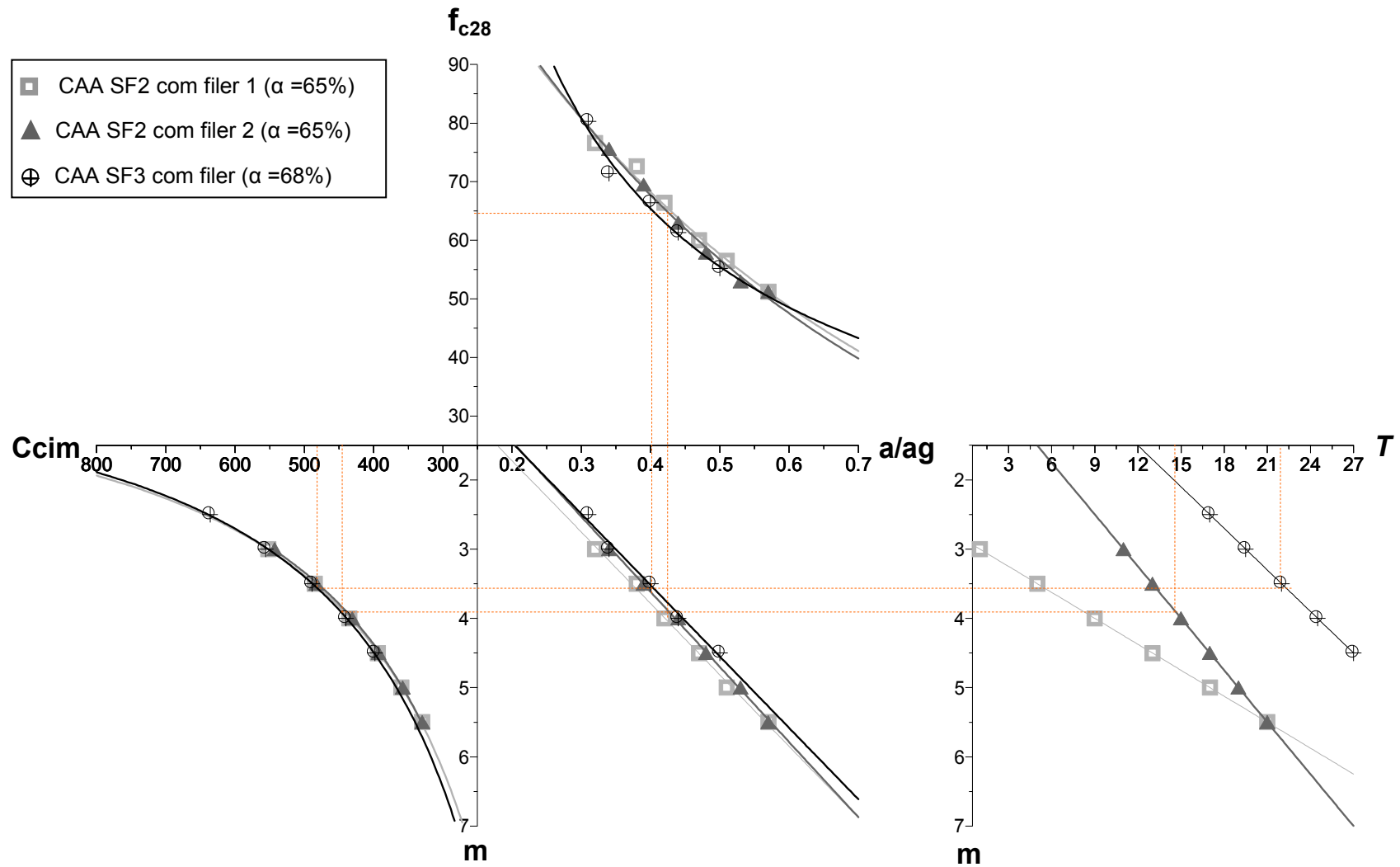


Figura 4.9 Diagramas de dosagem para resistência à compressão aos 28 dias dos CAA SF2 e SF3 com adição de filer calcário, para o cimento ARI.

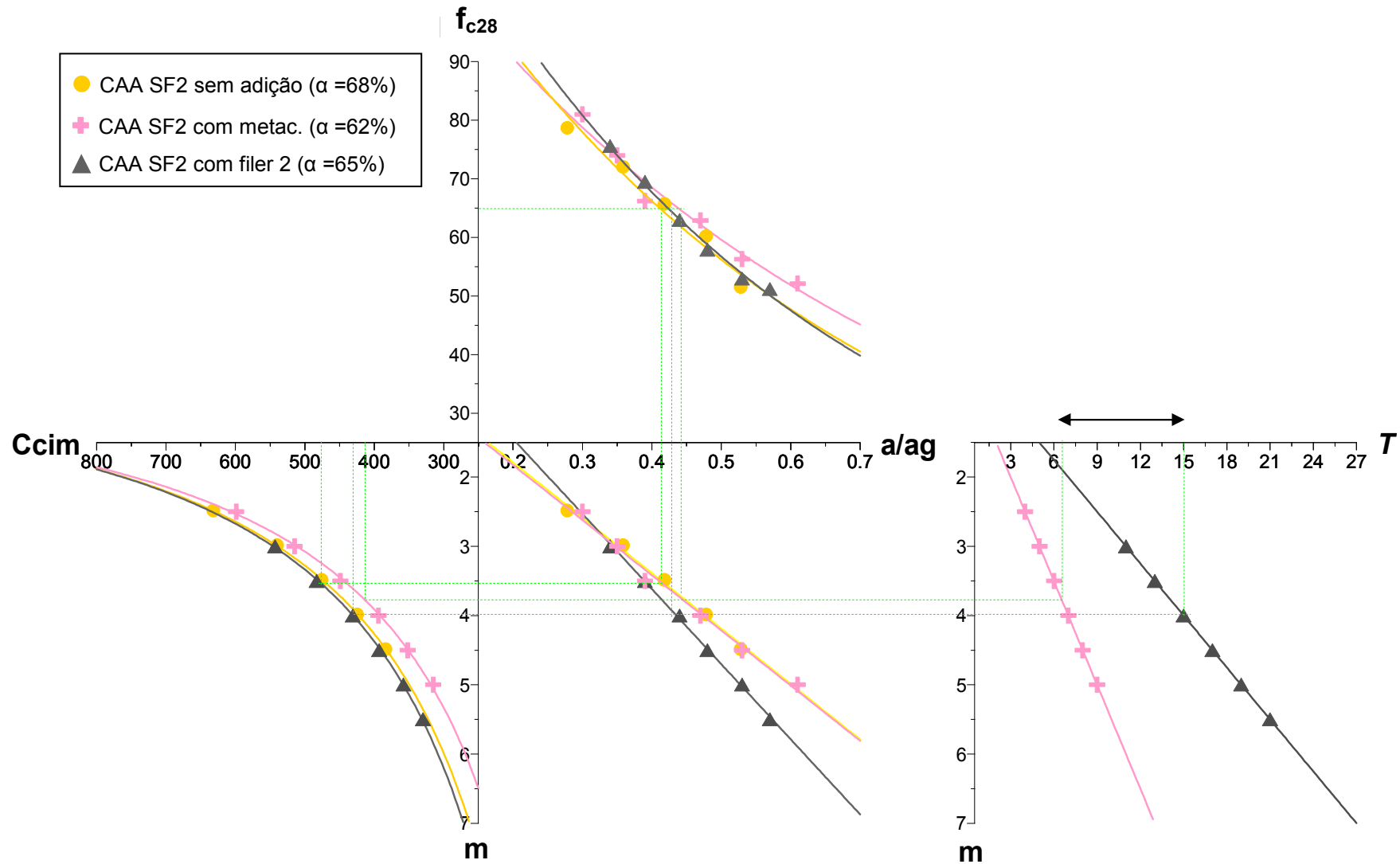


Figura 4.10 Diagramas de dosagem para resistência à compressão aos 28 dias dos CAA SF2 com e sem adição mineral, para o cimento ARI.

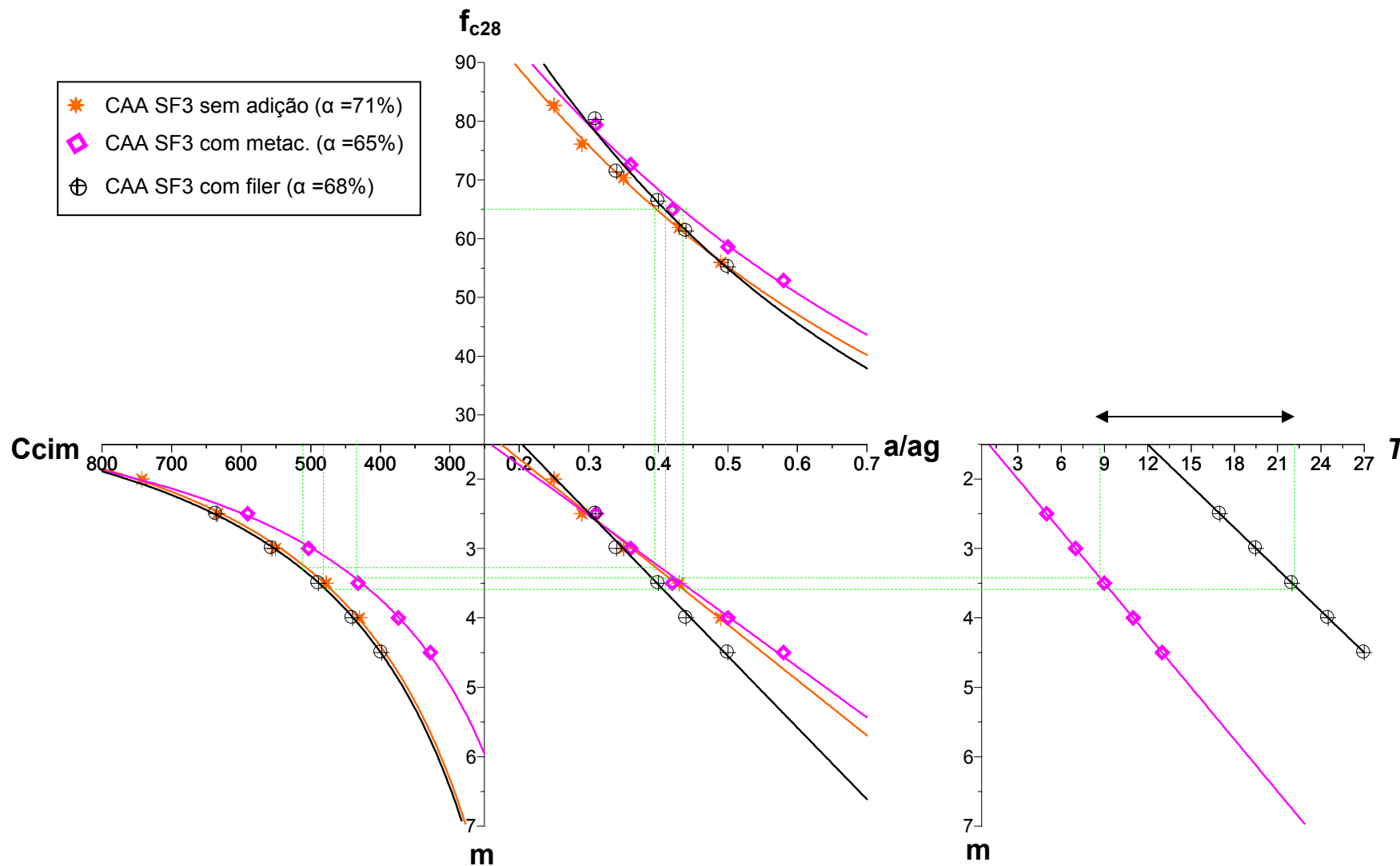


Figura 4.11 Diagramas de dosagem para resistência à compressão aos 28 dias dos CAA SF3 com e sem adição mineral, para o cimento ARI.

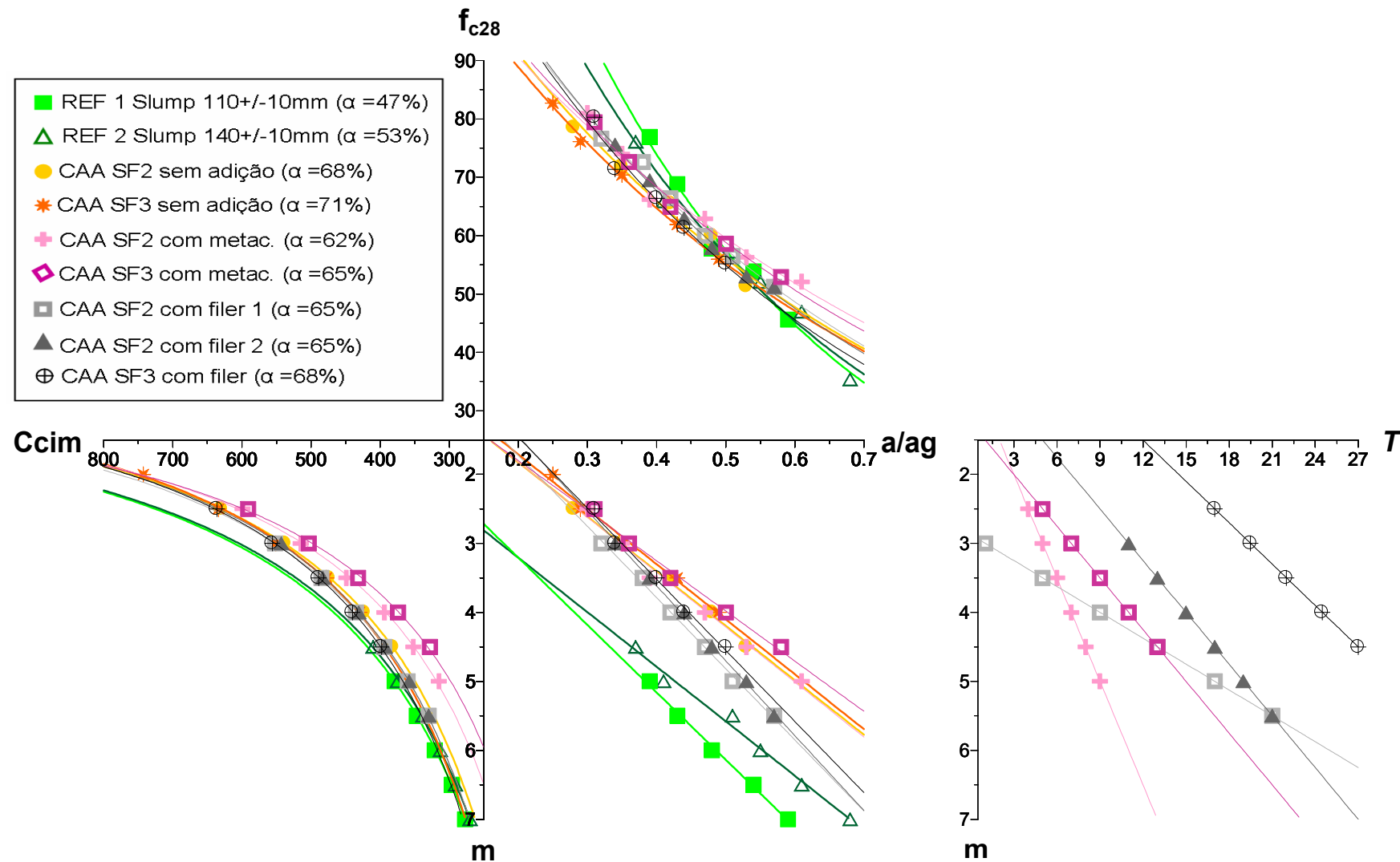


Figura 4.12 Diagramas de dosagem para resistência à compressão aos 28 dias de todos os traços estudados, para o cimento ARI.

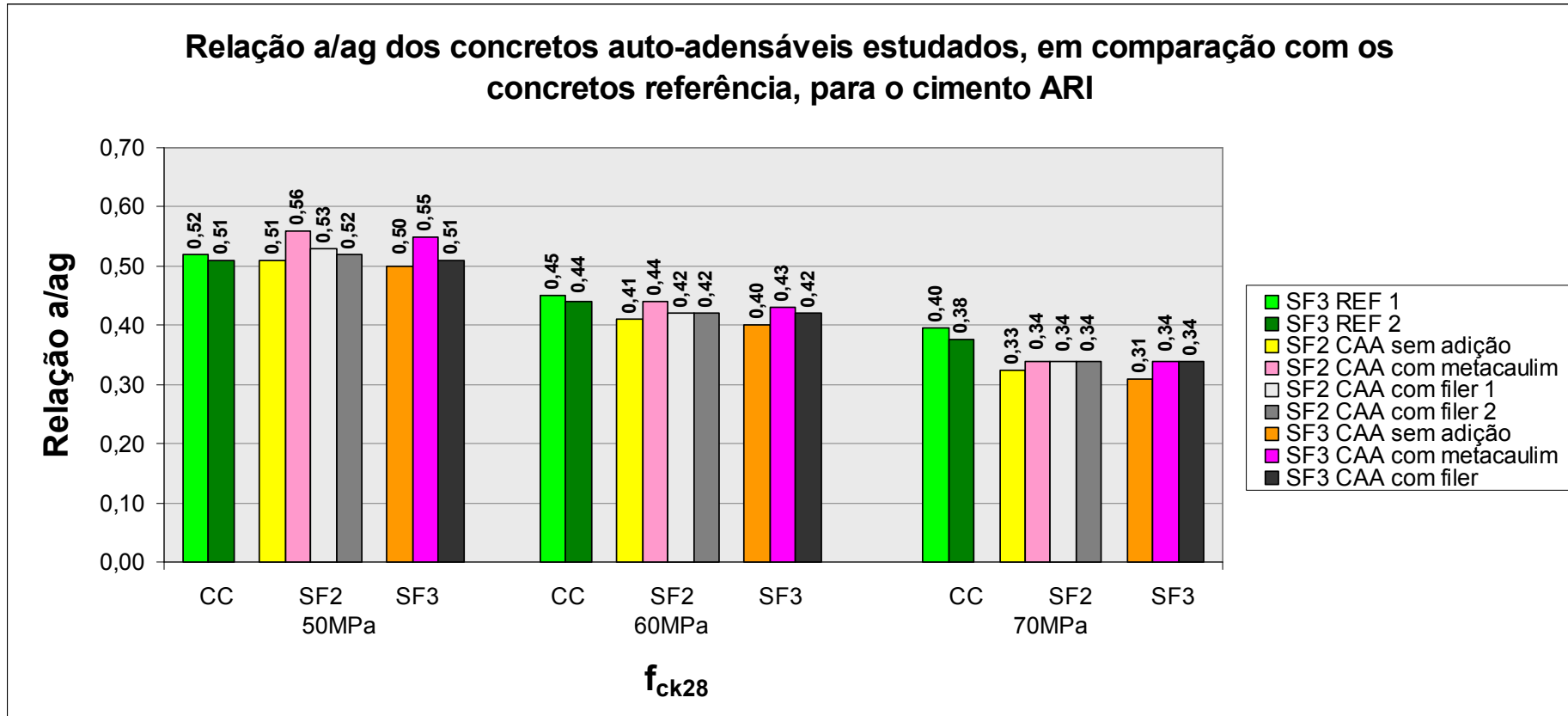


Figura 4.13 Relação a/ag dos concretos estudados para as resistências de 55MPa, 65MPa e 75MPa.

Tabela 4.9 Equações e coeficientes de correlação das curvas de dosagem do CAA, em comparação ao REF, para o cimento ARI.

Concreto	Abrams	Lyse	Priszkulnik & Kirilos	Alencar	
CC	REF 1	$f_{c28} = \frac{201,95}{12,32^{a/c}}$ $R^2 = 0,98$	$m = 1,26 + 9,76 \times \frac{a}{c}$ $R^2 = 0,99$	$C = \frac{1000}{0,17 + 0,49 \times m}$ $R^2 = 1$	
	REF 2	$f_{c28} = \frac{173,74}{9,38^{a/c}}$ $R^2 = 0,96$	$m = 1,63 + 7,90 \times \frac{a}{c}$ $R^2 = 0,99$	$C = \frac{1000}{-0,02 + 0,54 \times m}$ $R^2 = 1$	
SF2	CAA sem adição	$f_{c28} = \frac{127,43}{5,14^{a/c}}$ $R^2 = 0,96$	$m = 0,19 + 8,01 \times \frac{a}{c}$ $R^2 = 0,99$	$C = \frac{1000}{0,31 + 0,51 \times m}$ $R^2 = 1$	
	CAA com metac.	$f_{c28} = \frac{119,69}{4,03^{a/c}}$ $R^2 = 0,97$	$m = 0,23 + 7,97 \times \frac{a}{c}$ $R^2 = 0,99$	$C = \frac{1000}{0,14 + 0,60 \times m}$ $R^2 = 1$	$m = -0,01 + 0,57 \times T$ $R^2 = 1$
	CAA com filer 1	$f_{c28} = \frac{133,08}{5,39^{a/c}}$ $R^2 = 0,99$	$m = -0,34 + 10,32 \times \frac{a}{c}$ $R^2 = 1$	$C = \frac{1000}{0,36 + 0,48 \times m}$ $R^2 = 1$	$m = 1,41 + 0,26 \times T$ $R^2 = 1$
	CAA com filer 2	$f_{c28} = \frac{137,55}{5,87^{a/c}}$ $R^2 = 0,99$	$m = -0,72 + 10,85 \times \frac{a}{c}$ $R^2 = 1$	$C = \frac{1000}{0,20 + 0,54 \times m}$ $R^2 = 1$	$m = 0,25 + 0,25 \times T$ $R^2 = 1$
SF3	CAA sem adição	$f_{c28} = \frac{122,10}{4,89^{a/c}}$ $R^2 = 0,99$	$m = 0,11 + 7,97 \times \frac{a}{c}$ $R^2 = 0,98$	$C = \frac{1000}{0,32 + 0,59 \times m}$ $R^2 = 1$	
	CAA com metac.	$f_{c28} = \frac{124,40}{4,46^{a/c}}$ $R^2 = 0,99$	$m = -0,34 + 7,28 \times \frac{a}{c}$ $R^2 = 0,99$	$C = \frac{1000}{-0,04 + 0,68 \times m}$ $R^2 = 1$	$m = -0,04 + 0,38 \times T$ $R^2 = 1$
	CAA com filer	$f_{c28} = \frac{137,25}{6,13^{a/c}}$ $R^2 = 0,99$	$m = -0,39 + 9,78 \times \frac{a}{c}$ $R^2 = 1$	$C = \frac{1000}{0,39 + 0,48 \times m}$ $R^2 = 1$	$m = 0,07 + 0,16 \times T$ $R^2 = 1$

4.3.2 Concreto com cimento Branco

De forma semelhante ao ocorrido nos traços com cimento ARI, com o cimento branco também se percebe o mesmo efeito de aumento da relação a/ag e redução do f_{c28} para um dado m fixo, quando se parte de um concreto comum para um auto-adensável, que é mais argamassado e com nível superior de fluidez (Fig. 4.14). Por conseqüência, para um valor fixo de resistência (55MPa), observa-se que o CAA resulta em uma menor relação a/ag , menor m e maior C_{cim} (Fig. 4.15).

A Tab. 4.10 apresenta as equações obtidas a partir da montagem dos diagramas de dosagem dos concretos estudados com cimento branco.

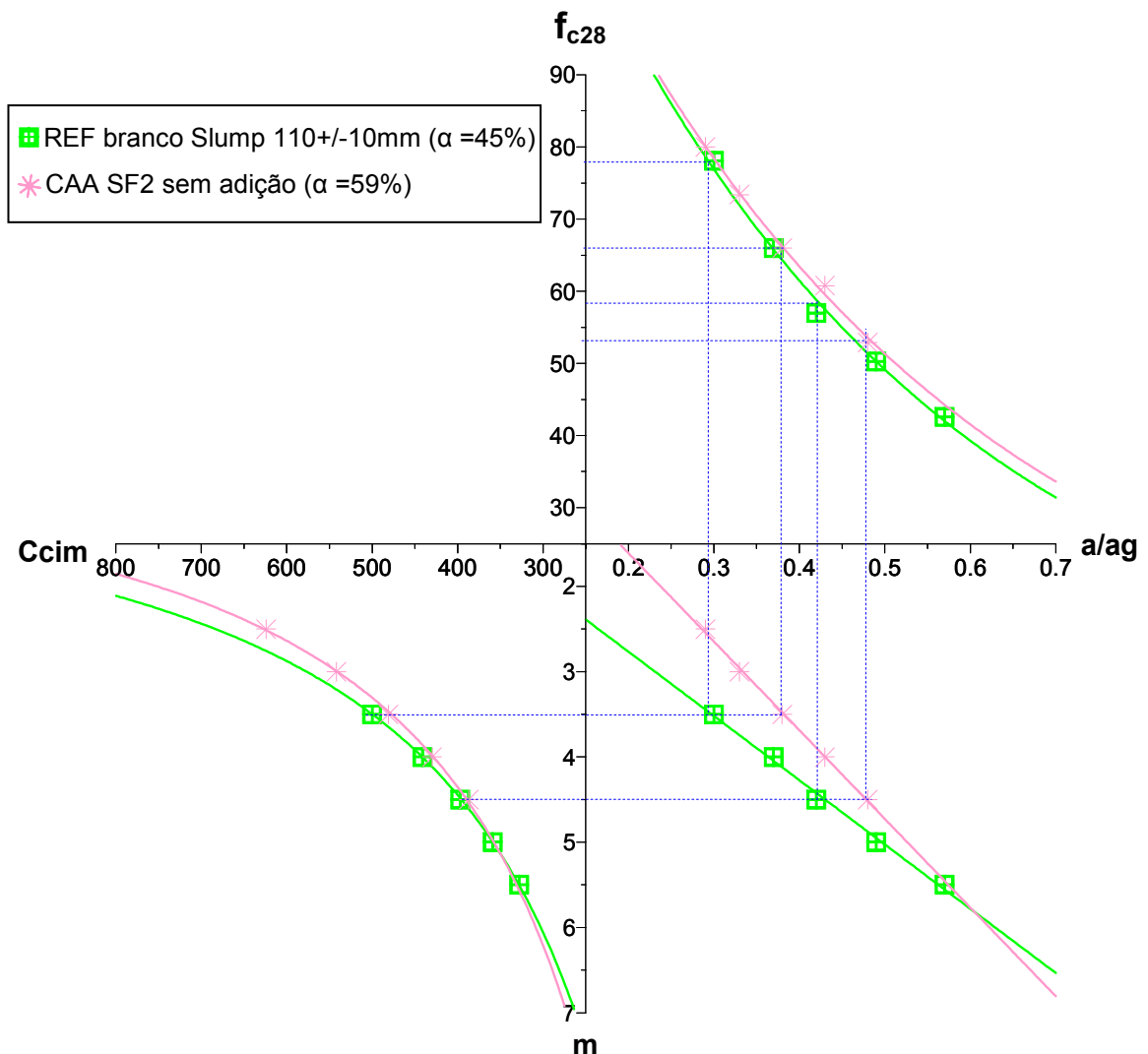


Figura 4.14 Diagrama de dosagem para resistência à compressão aos 28 dias do concreto referência em comparação com o CAA SF2 sem adição, para o cimento Branco.

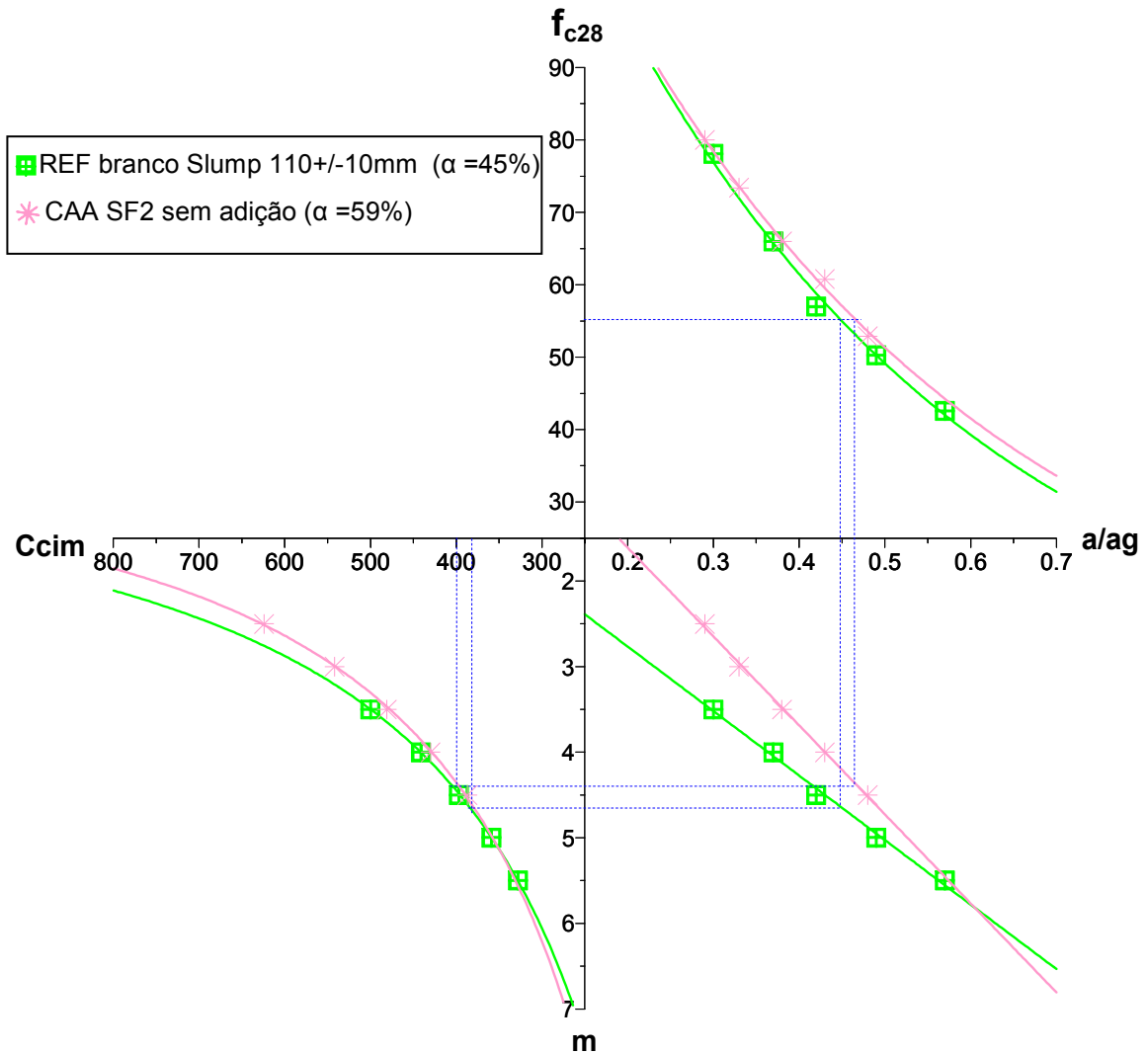


Figura 4.15 Diagrama de dosagem para resistência à compressão aos 28 dias do concreto referência em comparação com o CAA SF2 sem adição, para o cimento Branco.

Tabela 4.10 Equações e coeficientes de correlação das curvas de dosagem do CAA, em comparação ao REF, para o cimento Branco.

Concreto		Abrams	Lyse	Priskulnik & Kirilos
CC	REF	$f_{c28} = \frac{158,13}{10,59^{a/c}}$ $R^2 = 0,97$	$m = 1,09 + 7,96 x \frac{a}{c}$ $R^2 = 0,97$	$C = \frac{1000}{0,18 + 0,50 \times m}$ $R^2 = 1$
	CAA sem adição	$f_{c28} = \frac{150,04}{8,70^{a/c}}$ $R^2 = 1$	$m = -0,52 + 10,59 x \frac{a}{c}$ $R^2 = 0,99$	$C = \frac{1000}{0,48 + 0,58 \times m}$ $R^2 = 1$

4.4 Custo unitário do concreto

4.4.1 Concreto com cimento ARI

Foram selecionados para a análise comparativa do custo unitário do CAA, em relação ao concreto comum, a partir das equações de dosagem obtidas, traços de resistência característica (f_{ck28}) 50MPa, 60MPa e 70MPa, no caso do cimento ARI.

O cálculo do f_{c28} foi determinado pela seguinte fórmula:

$$f_{c28} = f_{ck28} + 1,65 s_d$$

Fórmula 4.1

Onde:

s_d (desvio padrão): adotado com igual a 3MPa, devido às condições rigorosas de controle de qualidade.

As Tabelas 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14 na seqüência apresentam respectivamente a caracterização geral, o consumo, o volume e o custo dos traços selecionados.

Os valores (R\$) dos materiais utilizados neste trabalho encontram-se no Anexo 2.

Para facilitar a análise dos resultados são apresentados graficamente nas Fig. 4.16, 4.17 e 4.18 o custo geral, o custo em porcentual e o custo por cada MPa dos concretos estudados.

Tabela 4.11 Caracterização geral dos traços de selecionados do CAA, em comparação aos do REF, para o cimento ARI.

	Concreto	f _{ck28} MPa	α %	m	traço unitário										C _{cim.} kg/m ³	C _{metac.} kg/m ³	C _{filer} kg/m ³	C _{finos} kg/m ³ ***	V _{pasta} %****	T %	H %
					cim. ARI	metac.	areia rosa	filer	b ₁	b _{1/2}	a/ag *	a/f *	PC1 % **	PC2 % **							
CC	REF 1	70		5,11	1		1,87	2,27	0,97	0,40	0,39			372			381	27,0	6,5		
		60	47	5,65	1		2,13	2,47	1,06	0,45	0,44	0,8		339			348	26,5	6,8		
		50		6,33	1		2,45	2,72	1,17	0,52	0,50			304			313	26,0	7,1		
	REF 2	70		4,59	1		1,80	1,96	0,84	0,38	0,37			410			419	28,9	6,7		
		60	50	5,10	1		2,05	2,14	0,92	0,44	0,43	1		368			377	28,4	7,2		
		50		5,66	1		2,33	2,33	1,00	0,51	0,50			332			342	28,0	7,7		
SF2	CAA sem adição	70		2,79	1		1,58	0,85	0,36	0,33	0,32			574			583	37,5	8,6		
		60	68	3,47	1		2,04	1,00	0,43	0,41	0,40	1,6		478			488	35,4	9,2		
		50		4,27	1		2,58	1,18	0,51	0,51	0,50			400			410	33,7	9,7		
	CAA com metac.	70		2,94	0,95	0,05	1,44	1,05	0,45	0,34	0,32			523	28,1		560	37,0	5,1	8,6	
		60	62	3,74	0,94	0,07	1,94	1,26	0,54	0,44	0,40	1,6		418	29,1		456	34,6	6,5	9,3	
		50		4,69	0,92	0,08	2,53	1,51	0,65	0,56	0,50			337	30,1		377	33,0	8,2	9,8	
CAA com filer 1	70		3,17	1		1,59	0,12	1,02	0,44	0,34	0,30			528		61	598	37,5	6,8	8,2	
	60	65	3,99	1		2,02	0,22	1,22	0,52	0,42	0,34	1,4		436		98	543	36,2	10,0	8,4	
	50		5,13	1		2,55	0,43	1,50	0,64	0,53	0,36			352		151	513	35,8	14,4	8,6	
CAA com filer 2	70		2,97	1		1,41	0,17	0,97	0,42	0,34	0,29			559		96	664	40,8	10,9	8,6	
	60	65	3,83	1		1,83	0,31	1,18	0,51	0,42	0,32	1,4		443		136	587	38,1	14,3	8,7	
	50		4,92	1		2,32	0,53	1,45	0,62	0,52	0,33			353		188	549	36,7	18,7	8,8	

Tabela 4.11 Caracterização geral dos traços de selecionados do CAA, em comparação aos do REF, para o cimento ARI (continuação).

Concreto	f _{ck28} MPa	α %	m	traço unitário										C _{cim.} kg/m ³	C _{metac.} kg/m ³	C _{filer} kg/m ³	C _{finos} kg/m ³ ***	V _{pasta} %****	T %	H %
				cim. ARI	metac.	areia rosa	filer	b ₁	b _{1/2}	a/ag *	a/f *	PC1 % **	PC2 % **							
REF	CAA	70		2,59	1		1,55		1,04	0,31	0,31			611			620	39,0	8,6	
	sem	60	71	3,26	1		2,02		1,24	0,40	0,39		1,5	504			514	36,8	9,4	
	adição	50		4,10	1		2,62		1,48	0,50	0,49			415			426	34,5	9,8	
	CAA	70		2,82	0,92	0,08	1,48		1,34	0,34	0,31			534	44,5		588	39,0	7,7	8,9
	com	60	65	3,49	0,91	0,09	1,92		1,57	0,43	0,38		1,5	429	44,0		482	36,3	9,3	9,6
	metac.	50		4,34	0,88	0,12	2,47		1,87	0,55	0,47			343	45,9		399	34,6	11,8	10,3
	CAA	70		2,88	1		1,35	0,29	1,24	0,34	0,26			561		164	733	43,4	17,8	8,8
	com	60	68	3,67	1		1,68	0,50	1,49	0,42	0,28		1,4	463		230	701	42,9	22,8	9,0
	filer	50		4,55	1		1,99	0,79	1,78	0,51	0,28			387		305	700	43,5	28,4	9,2

* inclui a água contida no aditivo descontado o teor de sólidos.
 ** percentagem sobre a massa dos aglomerantes.
 *** considera além do cimento, adições e as partícula de agregado graúdo e miúdo passantes pela peneira 0,075mm.
 **** considera o cimento, adições, água e as partícula de agregado graúdo e miúdo passantes pela peneira 0,075mm.

Tabela 4.12 Consumo de materiais em kg/m³ dos traços selecionados do CAA, em comparação aos do REF, para o cimento ARI.

	Concreto	f _{ck28} MPa	materiais										
			cimento ARI	metac.	areia rosa	filer	b ₁	b _{1/2}	água	PC1	PC2	ar./agr. %	
CC	REF 1	70	372		696		843	361	145	3,0		36,6	
		60	339		721		836	358	151	2,7		37,6	
		50	304		743		827	354	157	2,4		38,6	
	REF 2	70	410		736		802	344	151	4,1		39,1	
		60	368		754		786	337	160	3,7		40,2	
		50	332		774		774	332	167	3,3		41,2	
SF2	CAA sem adição	70	574		905		487	209	181	9,2		56,5	
		60	478		975		479	205	191	7,6		58,8	
		50	400		1033		472	202	200	6,4		60,5	
	CAA com metac.	70	523	28	795		578	248	182	8,8		49,1	
		60	418	29	867		564	242	192	7,2		51,8	
		50	337	30	928		556	238	202	5,9		53,9	
	CAA com filer 1	70	528		842	61	539	231	175	7,4		52,2	
		60	436		880	98	533	228	179	6,1		53,6	
		50	352		899	151	529	227	183	4,9		54,4	
	CAA com filer 2	70	559		787	96	544	233	185	7,8		50,3	
		60	443		812	136	524	225	182	6,2		52,0	
		50	353		816	188	511	219	180	4,9		52,8	
	SF3	CAA sem adição	70	611		946			636	189		9,2	59,8
			60	504		1020			623	202		7,6	62,1
			50	415		1088			614	208		6,2	63,9
		CAA com metac.	70	534	45	858			774	197		8,7	52,6
			60	429	44	907			743	203		7,1	55,0
			50	343	46	961			727	214		5,8	56,9
CAA com filer		70	561		756	164		697	191		7,9	52,0	
		60	463		778	230		692	194		6,5	52,9	
		50	387		769	305		687	197		5,4	52,8	

Tabela 4.13 Volume dos componentes em l para cada m³ dos traços selecionados do CAA, em comparação aos do REF, para o cimento ARI.

	Concreto	f _{ck28} MPa	materiais						Var./ Varg. %	Vb/Vagr. comp. %	Vb %	Va/f % *	
			cimento ARI	metac.	areia rosa	filer	b ₁	b _{1/2}					água
CC	REF 1	70	120		267	319	137	145	2,8	49,9	65,0	45,6	1,19
		60	109		276	317	136	151	2,5	51,2	64,0	45,3	1,35
		50	98		285	313	134	157	2,3	52,5	63,0	44,7	1,55
	REF 2	70	132		282	304	130	151	3,8	49,5	62,5	43,4	1,13
		60	119		289	298	128	160	3,4	50,6	61,5	42,5	1,32
		50	107		296	293	126	167	3,1	51,6	60,5	41,9	1,53
SF2	CAA sem adição	70	185		347	185	79	181	8,5	48,2	45,2	26,4	0,99
		60	154		374	181	78	191	7,1	51,6	42,9	25,9	1,24
		50	129		396	179	77	200	6,0	54,3	41,2	25,6	1,53
	CAA com metac.	70	169	11	305	219	94	182	8,2	45,3	52,7	31,3	1,02
		60	135	11	332	214	92	192	6,7	49,1	49,9	30,5	1,31
		50	109	12	356	210	90	202	5,5	52,1	47,8	30,1	1,65
CAA com filer 1	70	170		323	22	204	88	175	6,9	46,4	49,5	29,2	0,92
	60	141		337	35	202	87	179	5,7	48,4	48,1	28,8	1,02
	50	114		345	54	200	86	183	4,6	49,3	47,4	28,6	1,09
CAA com filer 2	70	180		302	35	206	88	185	7,3	42,7	51,4	29,4	0,87
	60	143		311	49	199	85	182	5,8	45,1	49,7	28,4	0,95
	50	114		313	67	194	83	180	4,6	46,1	49,0	27,7	0,99
SF3	CAA sem adição	70	197		363		241	189	8,5	48,4	41,9	24,1	0,94
		60	163		391		236	202	7,0	51,7	39,6	23,6	1,21
		50	134		417		232	208	5,8	54,9	37,7	23,2	1,50
	CAA com metac.	70	172	18	329		293	197	8,1	45,9	49,2	29,3	1,02
		60	138	17	348		282	203	6,6	49,1	46,8	28,2	1,28
		50	111	18	368		275	214	5,4	51,7	44,8	27,5	1,61
CAA com filer	70	181		289	59	264	191	7,3	40,2	49,7	26,4	0,79	
	60	149		298	82	262	194	6,0	41,1	48,8	26,2	0,83	
	50	125		295	109	260	197	5,0	40,5	49,0	26,0	0,83	

* considera além do cimento, adições e as partícula de agregado graúdo e miúdo passantes pela peneira 0,075mm.

Tabela 4.14 Custo (R\$) dos componentes individuais por m³ dos traços selecionados do CAA, em comparação aos do REF, para o cimento ARI.

	Concreto	f _{ck28} MPa	materiais						Total		
			cimento ARI	metac.	areia rosa	filer	b ₁	b _{1/2}		PC1	PC2
CC	REF 1	70	112		20		21	9	16		179
		60	102		21		21	9	15		168
		50	92		22		21	9	13		156
	REF 2	70	124		21		20	9	23		196
		60	111		22		20	8	20		181
		50	100		22		19	8	18		169
SF2	CAA sem adição	70	173		26		12	5	51		268
		60	144		28		12	5	42		232
		50	121		30		12	5	35		203
	CAA com metac.	70	158	12	23		14	6	48		262
		60	126	13	25		14	6	39		224
		50	102	13	27		14	6	32		194
CAA com filer 1	70	159		24	4	13	6	41		248	
	60	132		26	6	13	6	34		216	
	50	106		26	10	13	6	27		188	
CAA com filer 2	70	169		23	6	14	6	43		260	
	60	134		24	9	13	6	34		219	
	50	106		24	12	13	5	27		188	
SF3	CAA sem adição	70	185		27			16		81	309
		60	152		30			16		67	264
		50	125		32			15		55	227
	CAA com metac.	70	161	20	25			19		76	301
		60	130	19	26			19		62	256
		50	104	20	28			18		51	221
CAA com filer	70	169		22	11			17		69	289
	60	140		23	15			17		57	252
	50	117		22	20			17		48	224

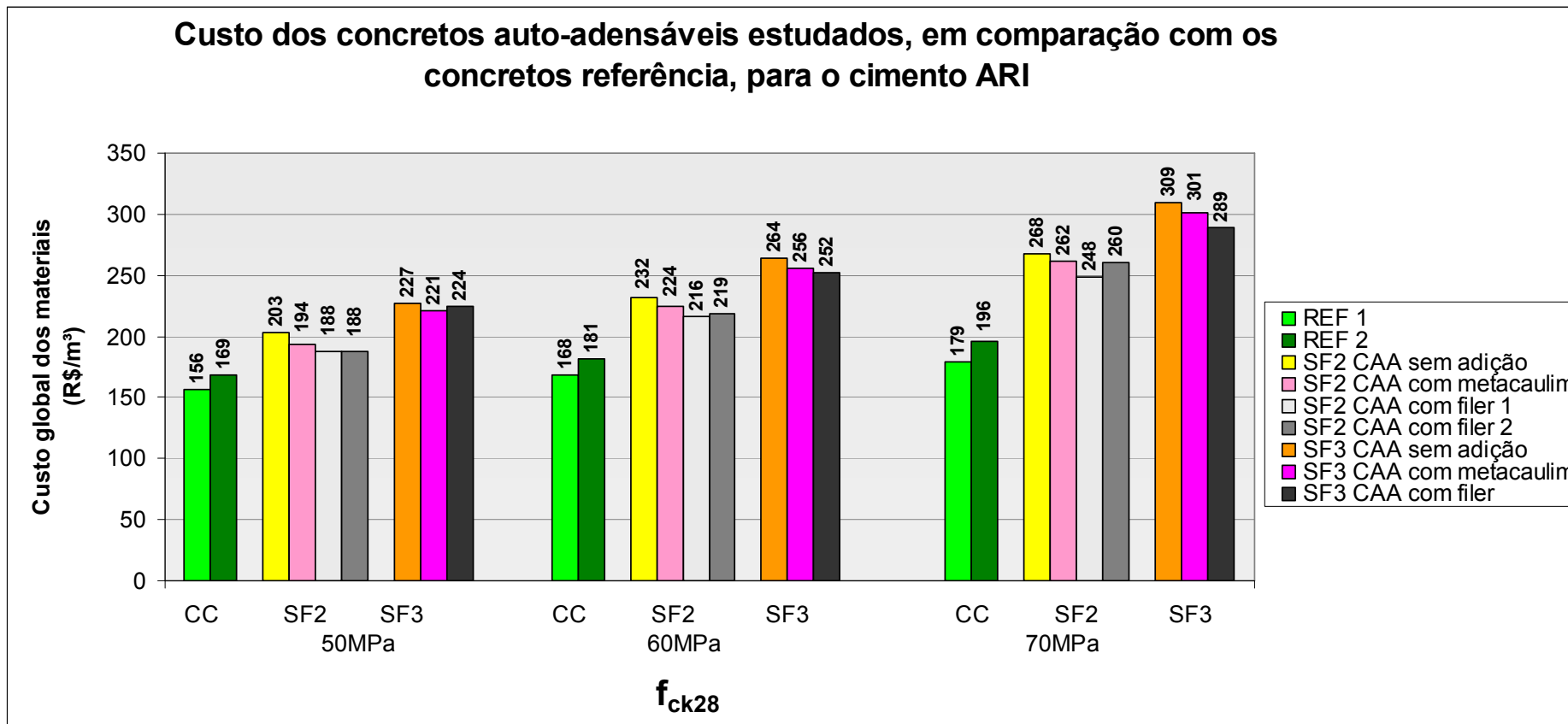


Figura 4.16 Custo global dos materiais (R\$/m³) dos traços selecionados de CAA, em relação aos de REF, para o cimento ARI.

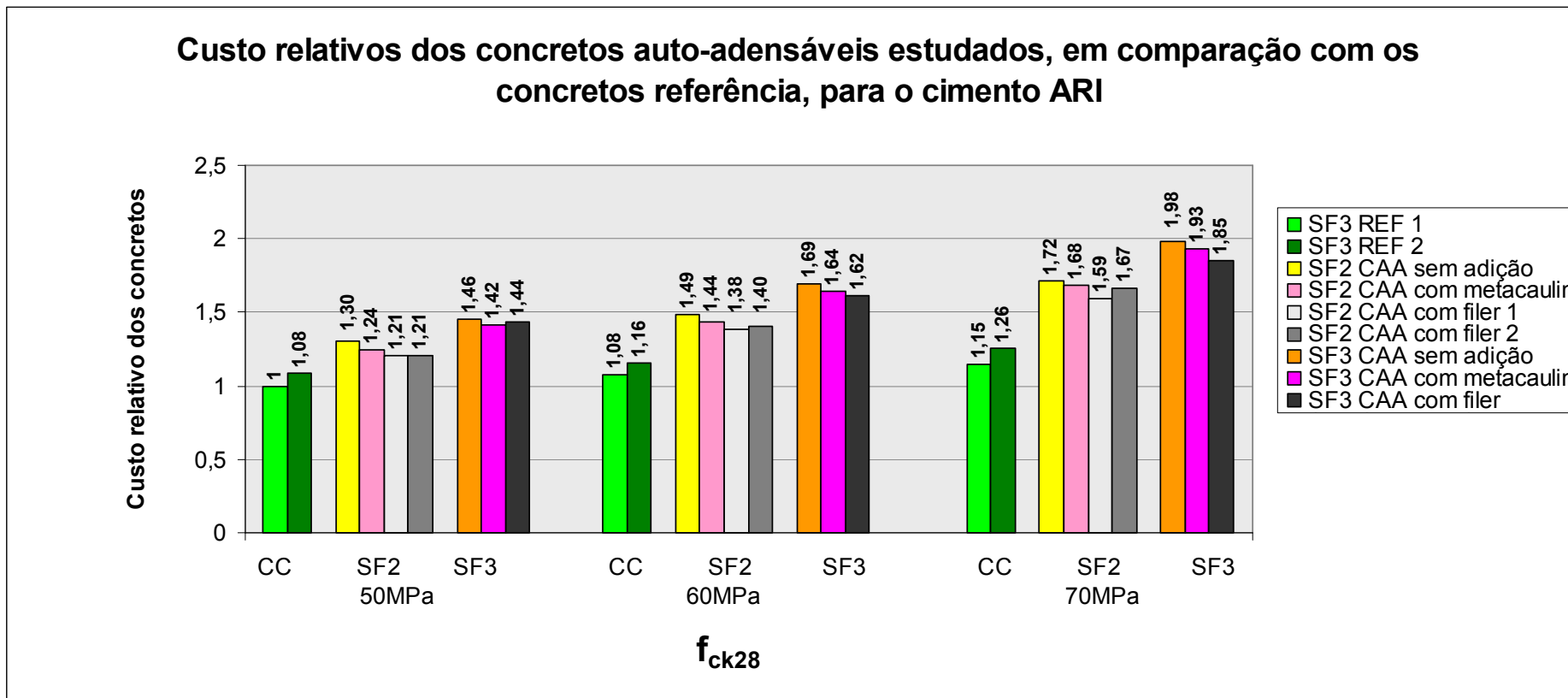


Figura 4.17 Custo relativo dos materiais dos traços seleccionados de CAA, em relação aos de REF, para o cimento ARI.

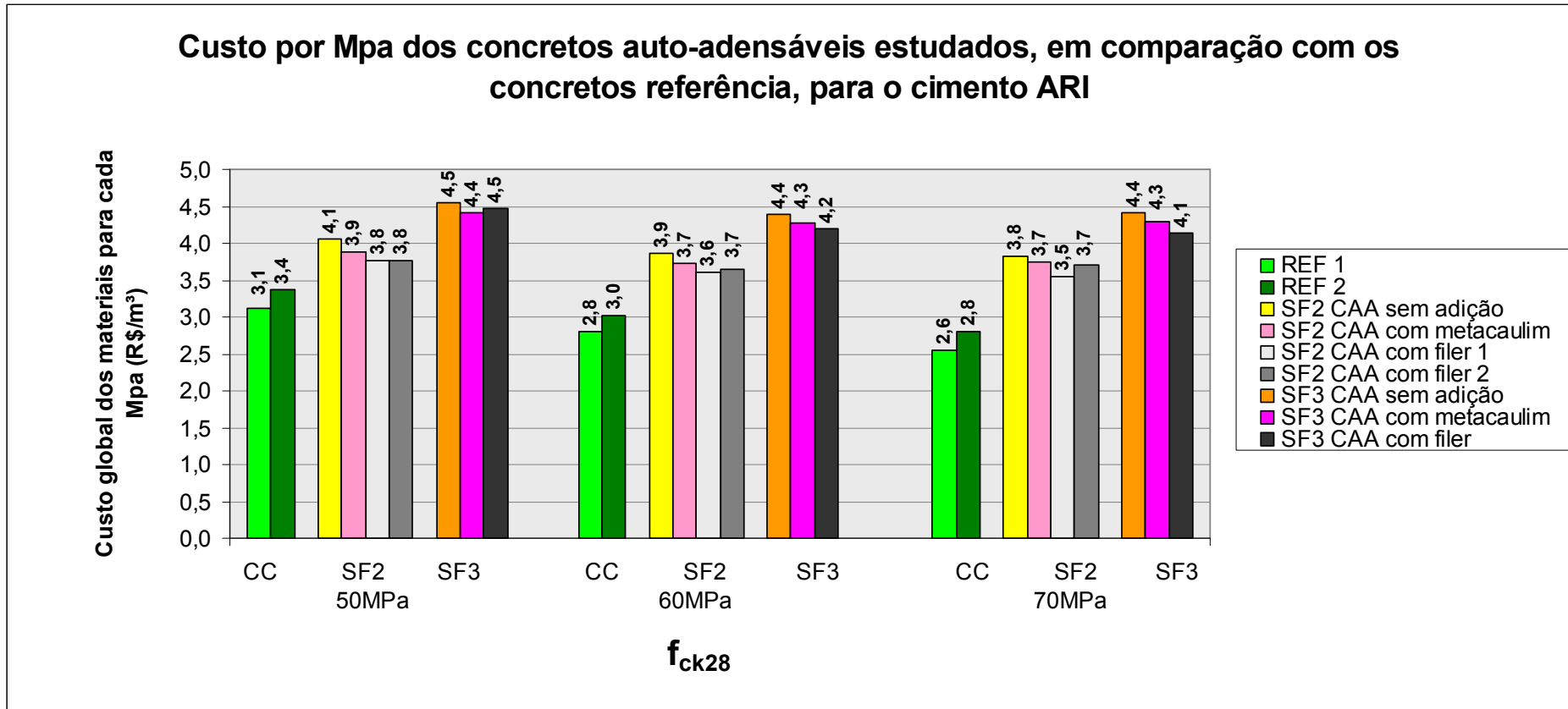


Figura 4.18 Custo global dos materiais para cada MPa (R\$/m³) dos traços selecionados de CAA, em relação aos de REF, para o cimento ARI.

4.4.2 Concreto com cimento Branco

No caso do concreto com cimento branco, foram selecionados para a análise comparativa do custo unitário do CAA, em relação ao concreto comum, os traços de resistência característica (f_{ck28}) 50MPa, pois neste caso a sua aplicação esta praticamente restrita a painéis arquitetônicos, cujas resistências médias empregadas usualmente no mercado normalmente não ultrapassam esse valor estabelecido. O desvio padrão (s_d) considerado de 3MPa.

As Tab. 4.15, 4.16, 4.17 e 4.18 apresentam respectivamente a caracterização geral, o consumo, volume e custo dos materiais para os traços selecionados.

As Fig. 4.19, 4.20 e 4.21 mostram o custo global, relativo e por cada MPa dos respectivos concretos mencionados.

Tabela 4.15 Caracterização geral dos traços selecionados do CAA, em comparação ao REF, para o cimento Branco.

	Concreto	f_{ck28} MPa	α %	m	traço unitário						$C_{cim.}$ kg/m ³	C_{finos} kg/m ³ ***	V_{pasta} %****	H %
					cim. branco	areia branca	b_0	a/ag *	a/f *	PC1 % **				
CC	REF	50	45	4,64	1	1,54	3,10	0,45	0,44	0,8	388	392	29,9	7,9
SF2	CAA sem adição	50	59	4,42	1	2,20	2,22	0,46	0,46	1,6	395	398	31,1	8,5

* inclui a água contida no aditivo descontado o teor de sólidos.

** porcentagem sobre a massa do aglomerante.

*** considera além do cimento, adições e as partícula de agregado graúdo e miúdo passantes pela peneira 0,075mm.

**** considera o cimento, adições, água e as partícula de agregado graúdo e miúdo passantes pela peneira 0,075mm.

Tabela 4.16 Consumo de materiais em kg/m³ dos traços selecionados do CAA, em comparação ao REF, para o cimento Branco.

	Concreto	f _{ck28} MPa	materiais					ar./agr. %
			cimento Branco	areia branca	b ₀	água	PC1	
CC	REF	50	388	597	1204	172	3,1	33,1
SF2	CAA sem adição	50	395	868	878	181	6,3	49,7

Tabela 4.17 Volume de materiais em l para cada m³ dos traços selecionados do CAA, em comparação ao REF, para o cimento Branco.

	Concreto	f _{ck28} MPa	materiais					Var./ Varg. %	Vb/Vagr. comp. %	Vb %	Va/f % *
			cimento branco	areia branca	b ₀	água	PC1				
CC	REF	50	125	227	468	172	3	43,3	68,9	46,8	1,38
SF2	CAA sem adição	50	127	330	342	181	6	51,7	52,6	34,2	1,44

* considera além do cimento, adições e as partícula de agregado graúdo e miúdo passantes pela peneira 0,075mm.

Tabela 4.18 Custo (R\$) dos componentes individuais por m³ dos traços selecionados do CAA, em comparação ao REF, para o cimento Branco.

	Concreto	f _{ck28} MPa	materiais				Total
			cimento branco	areia branca	b ₀	PC1	
CC	REF	50	299	24	49	17	390
SF2	CAA sem adição	50	304	36	36	35	410

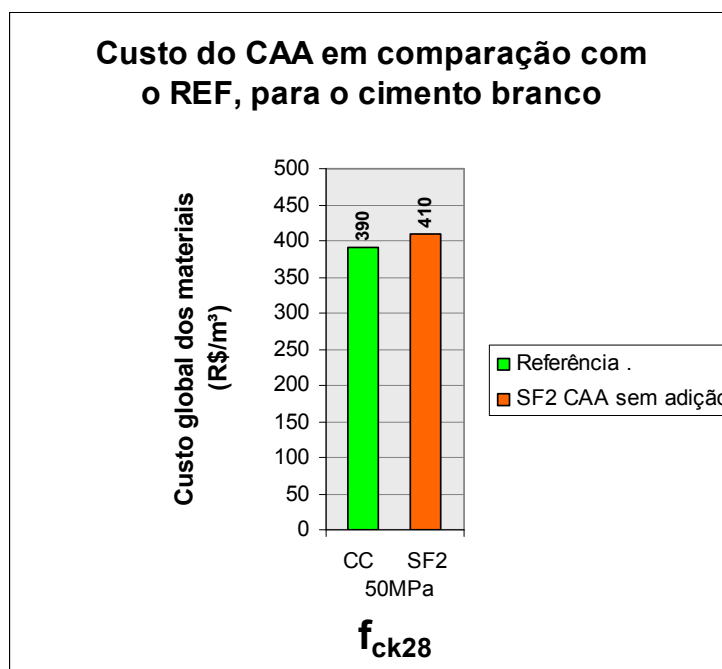


Figura 4.19 Custo global (R\$/m³) do traço selecionado de CAA, e REF, para o cimento Branco.

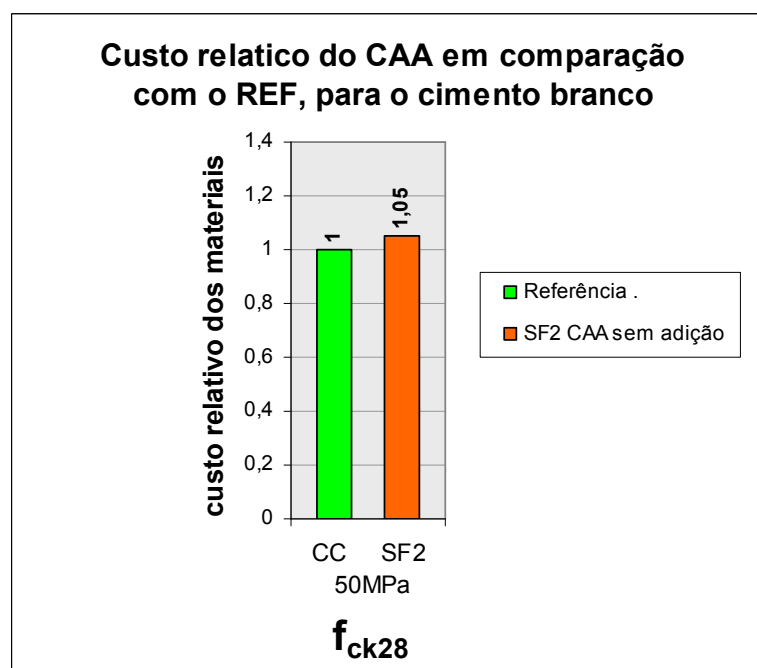


Figura 4.20 Custo relativo do traço selecionado de CAA, e REF, para o cimento Branco.

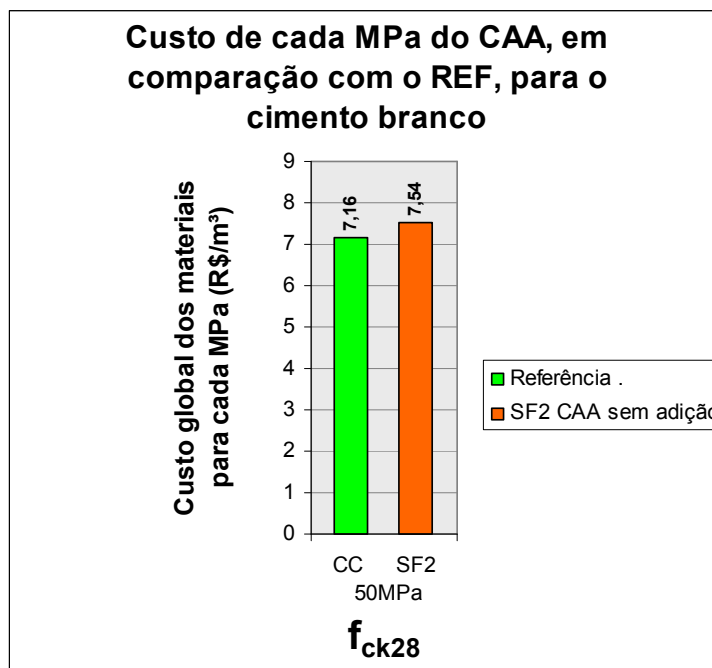


Figura 4.21 Custo para cada MPa (R\$/m³) do traço de CAA e REF, para o cimento Branco.