

COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE ARGAMASSAS COM AGREGADOS LEVES RECICLADOS DE CORTIÇA

Luiz Antonio Pereira de Oliveira^{1*}, Paula Alexandra Gil Barroca² e Miguel Costa Santos Nepomuceno²

1: Centre of Materials and Building Technologies (C-Made) – Universidade da Beira Interior
Calçada Fonte do Lameiro, Covilhã, 6201-00, Portugal
luiz.oliveira@ubi.pt, <http://cmadeubi.wordpress.com/>

2: Centre of Materials and Building Technologies (C-Made) – Universidade da Beira Interior
Calçada Fonte do Lameiro, Covilhã, 6201-00, Portugal
barroca_paula@hotmail.com, mcsn@ubi.pt, <http://cmadeubi.wordpress.com/>

Palavras-chave: Reologia, Argamassas de revestimento, Agregados de cortiça, Tensão de cedência, Viscosidade plástica

Resumo. Neste estudo, avaliaram-se argamassas com dois tipos de cortiça: cortiça natural (COR) e cortiça expandida (CEX). Para o efeito, produziram-se diferentes misturas que apresentaram em comum a mesma consistência de 170 ± 10 mm na mesa de espalhamento. Essas misturas incluíram: uma argamassa de referência na proporção em volume de 1:1:5 (cimento: cal hidratada: areia natural) e razão água/materiais cimentícios de 0,80, e várias argamassas com COR e CEX em substituição gradual da areia natural, nas percentagens volumétricas de 25, 50, 75 e 100%. Foram realizados ensaios reológicos em todas as argamassas para avaliar a influência do aumento gradual da percentagem de substituição da areia natural pelos agregados de cortiça. A partir da aplicação do modelo reológico de Bingham, avaliou-se a tensão de cedência e a viscosidade plástica relativas das argamassas ao longo do tempo, num período de 15 a 60 min. Os resultados mostraram que a crescente adição de COR reduziu o espalhamento das argamassas e que o contrário ocorreu no caso da adição de CEX. Como esperado, a adição crescente de agregados de cortiça diminuiu a massa volúmica da argamassa fresca, sendo essa redução mais significativa no caso da COR. No geral, verificou-se, através do modelo de Bingham, que as argamassas tem um comportamento espessante, uma vez que os agregados de cortiça aumentam a água absorvida com o incremento da velocidade de torque. Concluiu-se neste estudo que as modificações no comportamento reológico das argamassas com agregados de cortiça dependem da percentagem de substituição e do tipo de cortiça, natural ou expandida.

1. INTRODUÇÃO

Com o objetivo de promover a melhoria da eficiência energética dos edifícios de habitação tem-se procurado desenvolver componentes com baixa condutibilidade térmica. Nesse contexto, as argamassas de revestimento com agregados leves, como o caso de cortiça, podem contribuir para esse efeito, existindo já algumas soluções no mercado. Estes agregados leves apresentam como vantagem uma baixa densidade e condutibilidade térmica, mas possuem no entanto um elevado valor de absorção de água.

Embora sejam escassos os estudos sobre parâmetros reológicos de argamassas com agregados leves, estudos realizados em argamassas com agregados finos naturais e britados [1,2] concluíram que a grande quantidade de finos, muitas vezes resultantes da britagem do agregado, têm principal influência na tensão de cedência da argamassa contribuindo para a viscosidade plástica devido ao aumento do atrito interpartículas. A elevada tensão de corte e viscosidade plástica, resultantes da elevada quantidade de finos, poderá ser efetivamente reduzida através da utilização de um superplastificante. Superplastificantes à base de policarboxilatos permitem obter argamassas com valores reduzidos de tensão de cedência e uma baixa perda de trabalhabilidade. Uma das características destas argamassas é o seu elevado valor de viscosidade plástica, que é vantajoso do ponto de vista do controlo da segregação [3]. A proporção W/C, o teor de vazios não compactados, o tamanho, forma e conteúdo de agregados possuem um papel predominante na fluidez da argamassa [1]. A fluidez da argamassa diminui com o aumento do teor de agregados e com a diminuição da razão W/C para um determinado tamanho do agregado.

Face à necessidade de incrementar o conhecimento sobre o comportamento reológico de argamassas com agregados leves, apresenta-se através deste artigo um estudo experimental sobre a influência de dois tipos de agregados leves nos parâmetros reológicos das argamassas típicas de revestimento de alvenaria. Todos os agregados leves utilizados foram obtidos a partir da reciclagem de resíduos da indústria corticeira portuguesa.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1. Materiais e Métodos

Para a realização do presente estudo utilizou-se cimento Portland CEM I 42.5R com massa volúmica de 3100 kg/m^3 e baridade não compactada de 1073 kg/m^3 , determinadas segundo a Especificação LNEC E64 - 1979 [4] e NP EN 1097-3:2002 [5], respetivamente, e cal hidratada, CL 80, com massa volúmica 2310 kg/m^3 e baridade não compactada de 380 kg/m^3 . Para garantir uma consistência desejada nas argamassas de $170 \pm 10 \text{ mm}$, medida pelo ensaio de espalhamento "flow table" segundo a norma EN 1015-3:1994 [6], foi ainda utilizado um superplastificante (SP) à base de policarboxilatos modificados (Sika Visco Crete-3005) de densidade $1,05 \text{ kg/m}^3$.

Quanto aos agregados naturais, decidiu-se optar por uma combinação de uma areia natural amarela de grão fino (Areia 0/2) com uma areia natural rolada calibrada de grão grosso (Areia 0/4), ambas de origem fluvial. A combinação destes dois materiais foi efetuada na proporção de 2/3 de areia grossa (Areia 0/4) e 1/3 de areia fina (Areia 0/2). Os agregados leves de cortiça são provenientes de rejeitos e resíduos da indústria corticeira, sendo um deles utilizado no seu estado natural e granulado em Laboratório, que se denominou por COR e outro proveniente de resíduos granulados expandidos pela Empresa Sofalca, que se denominou por CEX. Na Tabela 1, são apresentadas as principais características determinadas em laboratório para os agregados naturais e leves utilizados no presente estudo. A baridade foi determinada com base na norma NP EN 1097- 3:2002 [5], a massa volúmica e a absorção de água de acordo com a NP EN 1097-6: 2003 [7] e o módulo de finura a partir da análise granulométrica realizada em conformidade com a norma NP EN 933-1: 2000 [8].

Tabela 1. Características físicas dos agregados

Agregados	Baridade (kg/m ³)	Massa volúmica (kg/m ³)	Absorção de água (%)	Módulo de finura
Areia 0/2	1293,2	2559,0	0,78	2,202
Areia 0/4	1425,0	2586,0	0,68	2,853
COR	95,7	511,4	244,3	4,606
CEX	86,7	560,1	193,4	2,366

2.2. Misturas estudadas

Para o desenvolvimento experimental foi produzida uma argamassa típica de revestimento, de referência, a um traço em volume aparente de 1:1:5, cuja constituição engloba cimento Portland (CEM I 42,5R), cal hidratada (CL80), Areia 0/2, Areia 0/4, superplastificante e água. Com recurso a esta argamassa foi possível compreender de que forma os agregados de cortiça e as suas diferentes percentagens de substituição influenciam o desempenho e comportamento das argamassas. Para além da argamassa de referência com agregado natural, foram ainda produzidas outras 2 séries de argamassas, cada uma delas distinguida pela percentagem de substituição (25, 50, 75 e 100 %) do agregado natural pelo agregado reciclado. Cada série, excluindo a de referência, é constituída por argamassas com diferentes tipos de agregados leves (cortiça natural e cortiça expandida). Todas as argamassas foram fabricadas com a mesma proporção em volume aparente seco 1:1:5 (cimento, cal e agregado), sendo que a percentagem de agregados pétreos foi sempre mantida na mesma proporção, 2/3 de Areia 0/4 e 1/3 de Areia 0/2, exceto quando da substituição total por agregados leves.

O procedimento de mistura foi iniciado com a introdução de todos os componentes sólidos no tambor da misturadora. Em seguida os materiais secos foram misturados durante 30 segundos à velocidade normal. Após o término deste tempo parou-se a misturadora e introduziu-se cerca de 80% da água prevista, iniciando-se a contagem do tempo de amassadura, que se prolongou por seis minutos à velocidade normal, sem interrupção. Decorrido 1 minuto da amassadura, procedeu-se à introdução do superplastificante diluído nos restantes 20% da dosagem de água, sem paragem da misturadora. Aos seis minutos de amassadura efetuou-se uma paragem da misturadora durante 2 minutos, prosseguindo depois com mais um minuto de amassadura a velocidade normal.

No estado fresco, além da determinação da consistência pelo ensaio de espalhamento mencionado em 2.1, determinou-se a massa volúmica aparente da argamassa de acordo com a norma EN 1015-6:1999 [9], a retenção de água segundo a norma EN 1015-8:1999 [10] e os parâmetros reológicos tensão de cedência e viscosidade plástica relativas com o auxílio do reómetro Viskomat NT. Para o ensaio no reómetro foram realizados dois perfis (torque vs. velocidade), um perfil em “step” e um perfil designado de “dwelling”. Estes perfis, apresentados na Figura 1, permitem chegar a valores de equilíbrio do torque para determinada velocidade, construindo curvas de escoamento que permitem determinar os coeficientes relativos de viscosidade plástica e tensão de cedência.

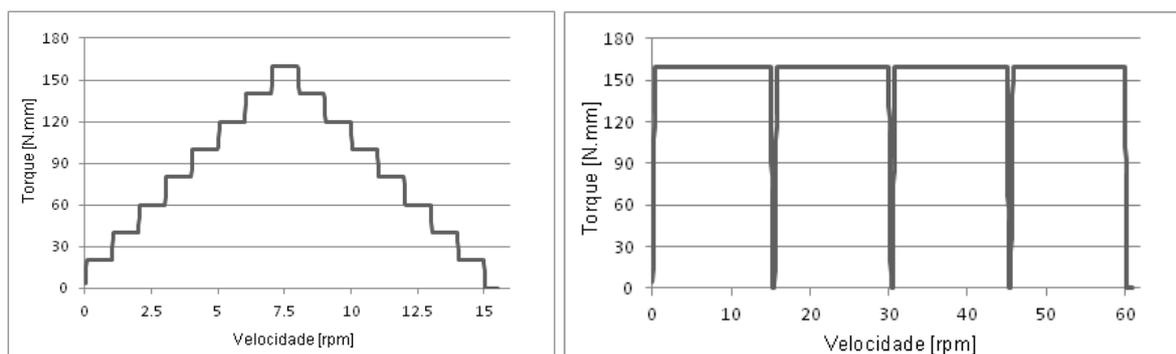


Figura 1. Perfil “step” (à esquerda) e perfil “dwelling” (à direita)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As quantidades em massa dos materiais constituintes das argamassas assim como as relações de água/cimento (W/C) e água materiais cimentícios são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Quantidades após correção em função da consistência desejada.

Argamassas		H (%)	SP (ml/kg)	CEM I (kg)	CL 80 (kg)	W (l)	W/MC (kg/kg)	W/C (kg/kg)	
% de substituição	0	Ref.	16,8	8	238,0	84,3	260,8	0,809	1,096
	25	COR25	14,2	8	240,5	85,2	222,8	0,684	0,913
		CEX25	18,3	8	245,4	86,9	292,9	0,881	1,194
	50	COR50	13,9	8	234,3	83,0	212,4	0,670	0,907
		CEX50	23,2	0	240,0	85,0	363,1	1,117	1,513
	75	COR75	17,2	8	216,5	76,6	242,8	0,828	1,122
		CEX75	26,3	0	225,5	79,8	386,8	1,267	1,715
	100	CEX100	28,8	0	223,7	79,2	420,2	1,387	1,878

Os resultados de espalhamento obtidos com a argamassa de referência e com as argamassas que incorporaram agregados leves em diferentes percentagens de substituição são apresentados na Tabela 3. Os valores de espalhamento inicial são aqueles obtidos com as argamassas preparadas com as mesmas relações W/C, W/CM e SP da argamassa de referência. Com estas relações constantes aspirava-se entender a influência da natureza da cortiça e do percentual de substituição na consistência da argamassa.

Verificou-se que o aumento da percentagem de substituição até 50% tem efeitos distintos no espalhamento em função da natureza da cortiça (expandida ou natural). No caso da cortiça natural houve um aumento do espalhamento, em relação à argamassa de referência, de cerca de 20% em média. Até 50% de substituição, o efeito no espalhamento pode ser atribuído ao módulo de finura da cortiça COR, que é cerca do dobro da CEX, resultando na primeira uma menor área de molhagem. Só aos 75% de substituição é que se verifica uma redução em torno de 15% no espalhamento, provavelmente influenciada pela diminuição da massa volúmica, ou seja, do peso próprio. No caso da cortiça expandida CEX, muito mais fina que a COR, o incremento da área de molhagem com o aumento da percentagem de substituição é relevante na diminuição da consistência, chegando a atingir 35% de redução no espalhamento para percentagem de substituição de 50% e ausência de espalhamento para teores de substituição superiores.

Tabela 3. Valores de espalhamento obtidos

Argamassas		Espalhamento inicial (mm)	Espalhamento (mm)	Desvio Padrão (mm)	
% de Substituição	0	Ref.	175	175	4,3
	25	COR25	218	175	0,0
		CEX25	152	164	0,3
	50	COR50	206	174	0,8
		CEX50	114	169	5,8
	75	COR75	150	163	2,5
		CEX75 _{nova}	---- (* ¹)	173	2,0
	100	CEX100 _{nova}	---- (* ¹)	166	2,3

(*¹) Quantidade de água inicial muito inferior à necessária

Por sua vez, as correções das misturas foram realizadas procurando-se manter constante a quantidade de SP o quanto possível, procurando-se então a quantidade de água da argamassa que conduzisse a valores médios de espalhamento entre 160 e 180 mm. A Figura 2 demonstra que os valores médios para essa faixa de consistência são representativos. Não obstante, ao comparar-se as quantidades de SP e as relações W/MC das argamassas (Tabela 2), verifica-se que para as argamassas CEX50, CEX75 e CEX100 foi necessário excluir a adição de superplastificante dada a dificuldade de equilibrar a ação deste com a relação W/MC. Desta maneira percebe-se um aumento significativo da relação W/MC à medida que o percentual de substituição aumenta.

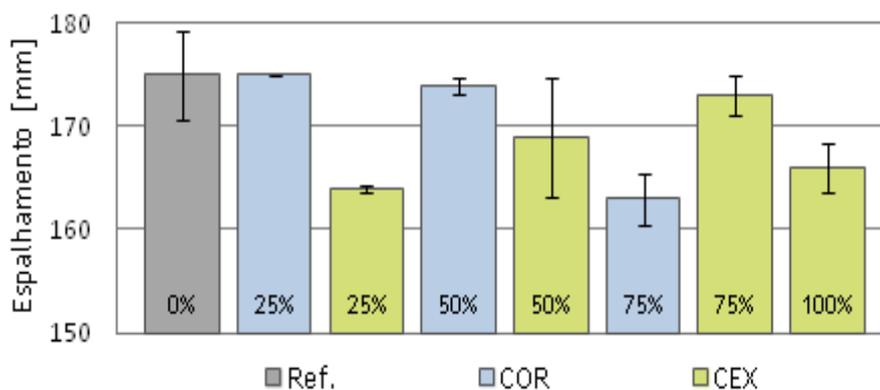


Figura 2. Espalhamento final das argamassas

A Figura 3 apresenta os resultados da massa volúmica das argamassas no estado fresco, ilustrando uma redução lógica dos valores com o aumento do teor de substituição. Esta diminuição evidencia-se em ambas as argamassas, sendo mais significativa para as argamassas com incorporação de cortiça natural, COR. Devido à maior quantidade de água, sem uso de superplastificante, das argamassas CEX, é natural que estas apresentem um maior valor da massa para um mesmo volume de argamassa.

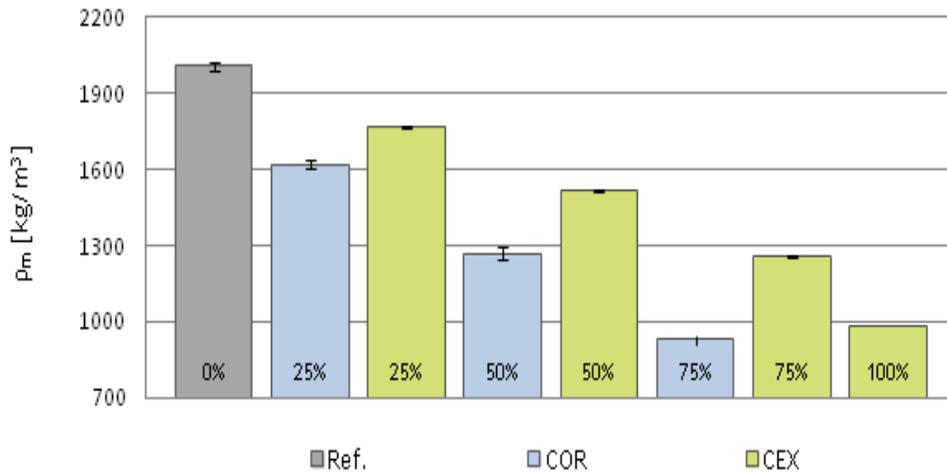


Figura 3. Massa volúmica das argamassas no estado fresco

Uma elevada retenção de água é um indicador de um bom comportamento das argamassas, especialmente se estas forem aplicadas sob condições atmosféricas quentes ou se o suporte onde forem aplicadas for muito absorvente. A água em demasia constitui um problema para a argamassa. No entanto, quando utilizada na medida adequada, constitui um fator importante para a hidratação dos seus compostos, sendo por isso de elevada importância que a argamassa retenha uma determinada quantidade de água na sua estrutura. De uma forma geral verifica-se, pelos valores apresentados na Figura 4, um comportamento adequado em termos de retenção de água (WRV) para todas as argamassas estudadas. Todas as argamassas apresentaram uma elevada capacidade de retenção de água, encontrando-se inseridas nas classes 3 e 4 da classificação de MERUC [11]. Segundo Martins [12] para o mesmo traço volumétrico, constata-se que a redução da razão W/C melhora as características de retenção de água. O comportamento das argamassas avaliadas no presente estudo cumpriu genericamente a tendência citada anteriormente. Como a razão W/C aumenta com o acréscimo da percentagem de substituição, observou-se uma ligeira diminuição nos valores obtidos para a retenção de água das argamassas a partir de 50% de substituição, sobretudo no caso da cortiça expandida CEX.

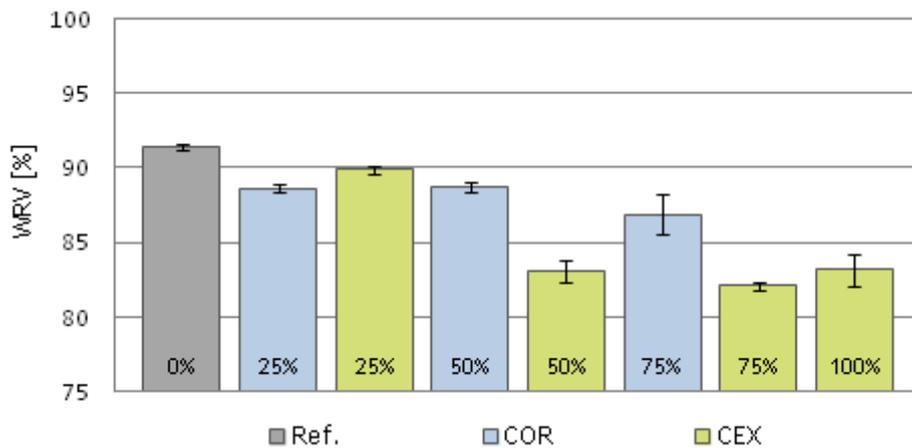


Figura 4. Retenção de água das argamassas no estado fresco

A Figura 5 ilustra a relação torque vs. velocidade da argamassa de referência quando se usou o perfil "step". Devido ao "breakdown" necessário para quebrar a inércia da argamassa, registada na Figura 6

para um valor de torque próximo a 150 N.mm, os parâmetros reológicos, tensão de cedência e viscosidade plástica relativas, são determinados com o registo de pares de valores descendentes.

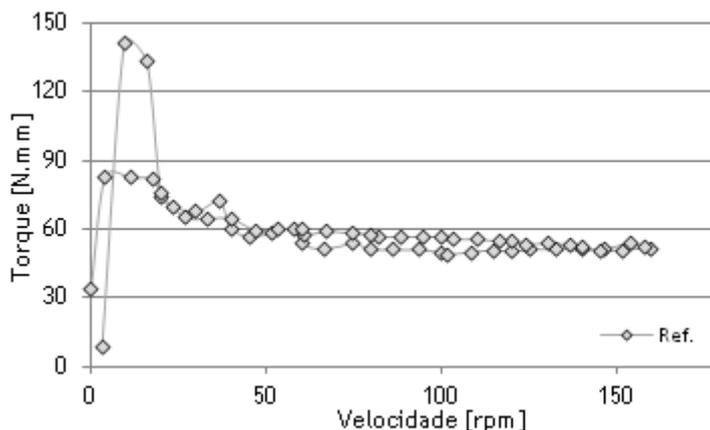


Figura 5. Torque vs. velocidade da argamassa de referência (perfil “step”)

A Tabela 4 apresenta os valores da tensão de cedência relativa (g) e de viscosidade plástica relativa (h) obtidas através da regressão dos resultados experimentais pelo modelo de Bingham. Através da presente análise observa-se um decréscimo da tensão de cedência relativa com o aumento da percentagem de substituição do agregado natural, pela cortiça COR. O sinal positivo da viscosidade plástica relativa indica um comportamento espessante, enquanto o sinal negativo indica um comportamento fluidificante à medida do aumento da velocidade.

Tabela 4. Equações do modelo de Bingham $T = g + hN$ (perfil “step”)

Argamassas		Argamassas iniciais		Argamassas finais		
		$T = g + hN$	R^2	$T = g + hN$	R^2	
% de Substituição	0	Ref.	$T = 74,498 - 0,169N$	0,747	$T = 74,498 - 0,169N$	0,747
	25	COR25	$T = 17,148 + 0,014N$	0,709	$T = 51,844 - 0,108N$	0,871
		CEX25	$T = 54,969 - 0,131N$	0,645	$T = 47,808 - 0,078N$	0,648
	50	COR50	$T = 14,112 + 0,008N$	0,323	$T = 48,774 - 0,095N$	0,732
		CEX50	$T = 60,457 - 0,176N$	0,534	$T = 69,296 + 0,044N$	0,257
	75	COR75	$T = 10,716 + 0,022N$	0,667	$T = 10,962 + 0,009N$	0,239
		CEX75	$T = 33,764 + 0,046N$	0,264	$T = 39,496 - 0,055N$	0,540
	100	CEX100	$T = 39,045 - 0,008N$	0,019	$T = 33,892 - 0,026N$	0,227

Nas argamassas iniciais, a cortiça COR é responsável pelo comportamento espessante. Aliás, a diminuição do espalhamento com o aumento da percentagem de substituição do agregado natural pela cortiça COR diminui substancialmente a coesão da argamassa, devido ao reduzido teor de finos desse material. Quando inserida no reómetro, a argamassa COR tende a absorver a água de amassadura, pelo que o comportamento espessante pode estar relacionado, em parte, com a diminuição da quantidade de água devido ao aumento da percentagem de substituição e com a absorção de água da cortiça. Por sua vez, este é um material viscoelástico, capaz de se deformar sem expansão lateral. Quando retiramos parte dos agregados naturais e aumentamos a percentagem de cortiça, a força necessária a aplicar será certamente menor, devido às propriedades deste

material, pelo que a diminuição da tensão de cedência relativa, verificada neste estudo, pode estar assim relacionada com o aumento da percentagem de substituição.

O acerto da consistência das argamassas COR finais através do ensaio da mesa de espalhamento exigiu, para as percentagens de 25 e 50%, uma diminuição da quantidade de água, o que levou a um comportamento fluidificante no reómetro. No caso da argamassa final COR75, onde se aumentou a quantidade de água, esta apresentou um comportamento espessante, situação que pode ser considerada um pouco contraditória, mas que se justifica pelo volume significativo de cortiça e pela sua alta capacidade de absorção de água. Verificou-se, no entanto, também para esta argamassa, uma diminuição da tensão de corte com o aumento da percentagem de substituição, situação já justificada anteriormente.

As argamassas iniciais com cortiça expandida CEX tiveram um comportamento variável com o aumento da percentagem de substituição. Com a CEX25 e CEX50, observou-se um comportamento fluido e para CEX75 um comportamento espessante. No entanto, a CEX100, voltou a apresentar um comportamento fluidificante. Este comportamento fluidificante verificado no reómetro pode ser resultante do facto da quantidade de água absorvida pelo agregado ter sido expelida para a mistura durante o ensaio. Para se proceder ao ajuste das argamassas finais, foi necessário introduzir grandes quantidades de água, pelo que este material apresentou quase sempre um comportamento fluidificante.

A análise de argamassas com base no perfil “*dwelling*” foi especialmente concebida para avaliar a trabalhabilidade durante um determinado período de tempo. A avaliação ao longo do tempo das propriedades reológicas das argamassas com agregados leves é relevante para a determinação do “tempo aberto” para o manuseio deste tipo de argamassas. Deste modo, discutem-se a seguir os resultados obtidos com o perfil “*dwelling*” tanto para as argamassas iniciais (sem correções de W/C ou SP), como para as argamassas finais com aproximadamente o mesmo espalhamento. Observa-se na Figura 6 um aumento do torque com o decorrer do tempo de ensaio para a argamassa de referência. Em parte este aumento é atribuído à evolução da presa da argamassa devido à redução de água pela hidratação do cimento, levando a que a força necessária para destruir as ligações seja cada vez maior.

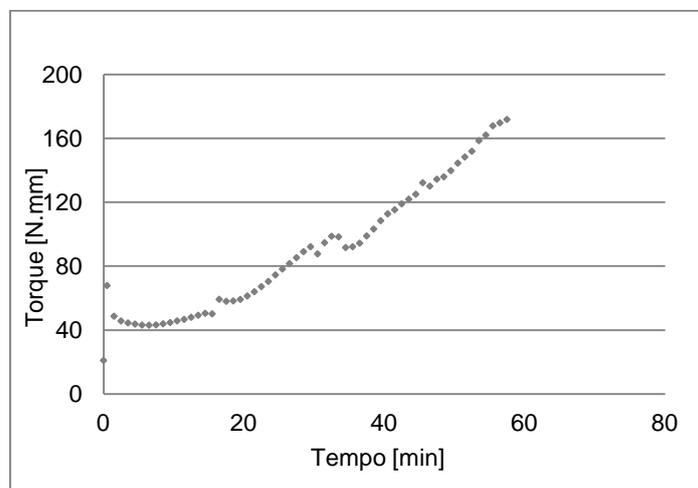


Figura 6. Torque vs. tempo de ensaio da argamassa de referência

A curva torque vs. velocidade obtida com os valores de velocidades descendentes logo após o último patamar de 15 minutos, apresentada na Figura 7, revela para esse tempo total de 60 min, um resultado anómalo devido ao facto do Viskomat NT ter ultrapassado o seu limite máximo de torque e assim registado valores incoerentes e irreais. Entretanto pode-se observar um aumento da tensão de cedência relativa com o decorrer do tempo. Verifica-se também que a partir dos 15 min de ensaio a

argamassa tende a apresentar um comportamento fluidificante com uma ligeira diminuição do torque à medida que a velocidade de corte aumenta.

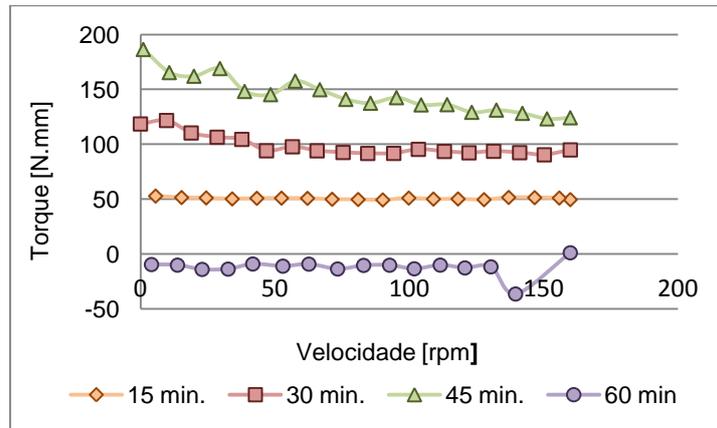


Figura 7. Torque vs. velocidade da argamassa de referência

A Figura 8 mostra que após 15 minutos de ensaio, enquanto as argamassas iniciais do grupo COR apresentaram quase sempre um comportamento espessante, as argamassas do grupo CEX apresentaram-se aproximadamente estáveis, quanto à variação do torque com a velocidade, evidenciando valores de viscosidade relativa muito baixos e próximos de zero. Verifica-se ainda que os valores da tensão de cedência relativa aumentam ligeiramente com a percentagem de substituição para a COR, enquanto para a CEX há um decréscimo evidente, para uma substituição igual ou superior a 50%. Percebe-se aqui o efeito da absorção de água pelos agregados leves na reologia das argamassas, fazendo com que a pasta de cimento se torne mais densa ao longo do tempo, criando assim um comportamento espessante para todas as argamassas.

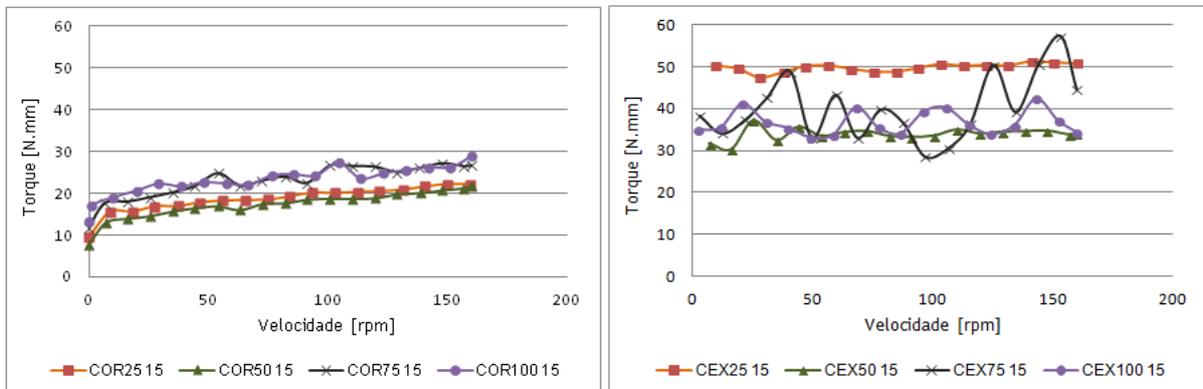


Figura 8. Torque vs. velocidade das argamassas iniciais após 15 min de ensaio (COR e CEX)

Para as argamassas finais, ou seja, aquelas em que se corrigiu a relação W/C e SP para atingir a consistência desejada, verifica-se, na Figura 9, o comportamento espessante característico das argamassas COR e CEX. Para as argamassas COR o aumento da percentagem de substituição reduziu a tensão de cedência assim como a viscosidade plástica relativas após 15 min de ensaio. Por sua vez, as argamassas CEX tiveram um comportamento ligeiramente oposto com pequenos aumentos tanto da tensão de cedência, como da viscosidade plástica relativa. Constatou-se ainda, que os valores da tensão de cedência relativa aumentam com a redução da quantidade de água de amassadura necessária ao acerto das argamassas finais, e que ocorreu o inverso sempre que houve a necessidade de acrescentar água. Conclui-se assim, que a quantidade de água de amassadura possui também um papel preponderante nas características reológicas das argamassas com

agregados leves.

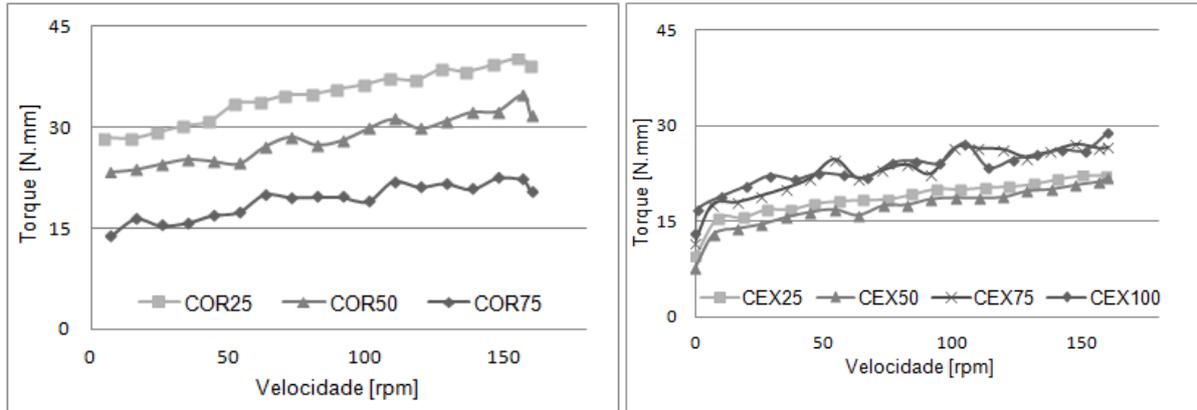


Figura 9. Torque vs. velocidade das argamassas finais após 15 min de ensaio (COR e CEX)

Após 1 hora de ensaio, as argamassas iniciais continuaram a apresentar um comportamento bastante semelhante àquele verificado para o tempo de ensaio de 15 minutos. Na Figura 10 verifica-se que o aumento da percentagem de substituição da cortiça COR produz uma redução da tensão de cedência a partir de 50% de substituição. Por outro lado, a argamassa CEX25 continuou a apresentar um comportamento fluidificante, mas para uma tensão de cedência relativamente mais alta.

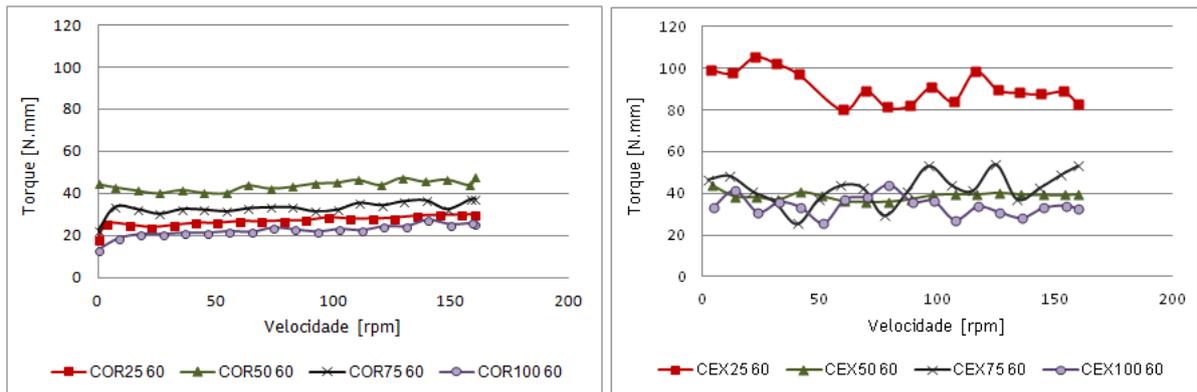


Figura 10. Torque vs. velocidade das argamassas iniciais após 60 min de ensaio (COR e CEX)

Nas argamassas finais, verificou-se após 60 min de ensaio que a tensão de cedência das argamassas COR, Figura 11, oscila consoante a percentagem de substituição, enquanto nas argamassas CEX, esta parece apresentar-se praticamente constante, exceto para a CEX25. Esta argamassa com tensão de cedência inferior à registada aos 15 min teve porém um comportamento fluidificante. Verifica-se ainda que a viscosidade apresenta-se quase constante, ou seja, com variações muito pequenas para cada um dos materiais, independentemente da percentagem de substituição. Esta viscosidade pode entender-se como uma reflexão dos níveis de consistência que foram estabelecidos inicialmente, através do ensaio da mesa de espalhamento, no ensaio de reologia.

Importa ainda referir que todas as argamassas finais CEX tiveram comportamento singular devido à elevada quantidade de água que serviu para a correção da consistência. Esta quantidade de água, apesar de não se ter refletido no comportamento da argamassa, reduziu de forma significativa o torque com o tempo, especialmente a partir dos 50% de substituição.

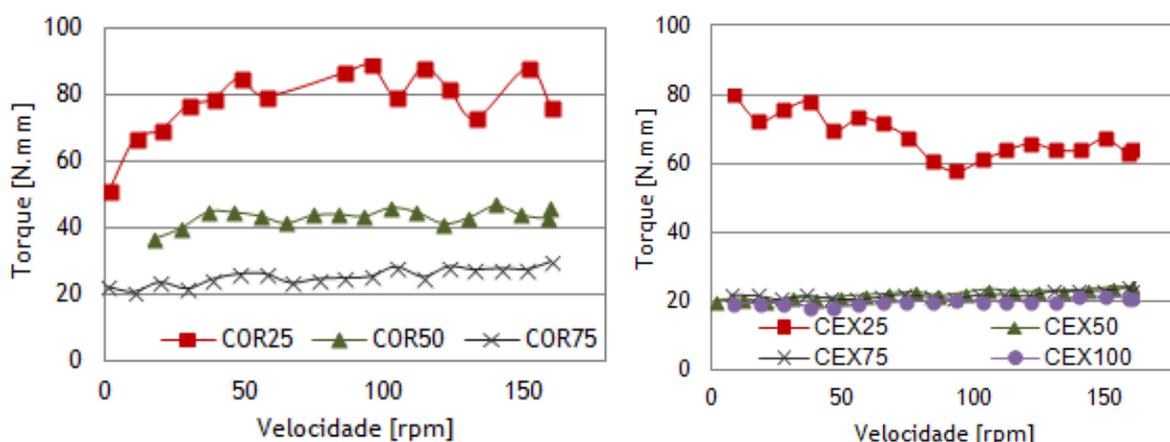


Figura 11. Torque vs. velocidade das argamassas finais após 60 min de ensaio (COR e CEX)

4. CONCLUSÕES

De uma forma geral, pode-se indicar que a maioria das argamassas finais teve um comportamento adequado, apresentando adequada trabalhabilidade no seu estado fresco. Verificou-se de forma bastante significativa a influência dos agregados leves nas propriedades reológicas das argamassas, tendo cada uma delas um comportamento distinto consoante o tipo de agregado e percentagem de substituição. Constatou-se ainda a influência das dosagens de água e de superplastificante nas argamassas, sendo que estas se apresentavam com melhor consistência e plasticidade para baixas razões W/C e na presença de superplastificante.

As argamassas finais, após correção das dosagens de água e de superplastificante, por sua vez, apresentavam-se coesas, consistentes, plásticas e com uma trabalhabilidade adequada. No estado fresco estas argamassas apresentaram uma retenção de água elevada, propriedades bastantes favoráveis, nomeadamente quando se trata de agregados leves, materiais com elevada absorção de água.

Do ponto de vista do comportamento reológico, constatou-se um comportamento fluidificante da argamassa de referência. As suas partículas após desagregadas (desligadas) e quando sujeitas a uma velocidade crescente, apresentam uma diminuição do torque, tendo a capacidade de recuperar parte da coesão, quando submetidas a uma menor taxa de deformação, devido a uma nova ligação dessas partículas.

Para as argamassas com agregados leves, os parâmetros reológicos tensão de cedência e viscosidade plástica relativas são influenciadas pela natureza, tipo e forma do agregado e pela dosagem de água. Esta última tem um papel fundamental no desenvolvimento de comportamentos do tipo espessante ou fluidificante. Constatou-se que, com o aumento da percentagem de substituição, a tensão de cedência relativa tende a diminuir para as argamassas COR e permanecer quase constante para as argamassas CEX, devido às propriedades viscoelásticas que caracterizam estes materiais e que permitem que estes se deformem sem expansão lateral. O comportamento espessante de algumas argamassas está associado ao elevado poder de absorção dos agregados leves. Observou-se ainda que todas as argamassas com baixa percentagem de substituição, nomeadamente aquelas com 25%, apresentam um comportamento fluidificante, tendo-se verificado uma tensão de cedência maior para as argamassas CEX.

Quando se faz uma análise destas argamassas a longo prazo, o comportamento difere da análise realizada a curto prazo. No perfil "dwelling", que permitiu analisar as argamassas com o decorrer do tempo, observou-se quase sempre um comportamento espessante, comportamento diferente daquele obtido para a argamassa de referência, cujo comportamento continuou a ser do tipo fluidificante. Foi ainda possível verificar que nas argamassas com COR ocorre uma diminuição da tensão de cedência

com o aumento da percentagem de substituição, enquanto as argamassas com CEX apresentavam um torque relativamente constante para todas as percentagens de substituição. Também em termos de viscosidade se verificou um valor quase constante para os tipos de materiais estudados.

Pode-se concluir assim, em termos reológicos, que o tipo e percentagem de substituição influencia de forma completamente diferenciada as mais diversas argamassas. Verifica-se que, para todas as argamassas, existe um significativo aumento do torque com o passar do tempo. Este aumento deve-se à possivelmente à perda de água intergranular por absorção de água do agregado, evaporação de água da mistura, perda do efeito do superplastificante (fator com grande influência na plasticidade das argamassas) e o início da hidratação do cimento, que apesar de inicial, contribui também para os valores obtidos. Caso se pretenda industrializar estas argamassas deverá ser definido um tempo aberto de trabalhabilidade, que não comprometa as suas características, sendo que a absorção de água realizada pelo agregado será uma dificuldade que precisará de ser averiguada de forma a ser ultrapassada.

REFERÊNCIAS

- [1] Harini M., Shaalini G., Dhinak G. - Effect of Size and Type of Fine Aggregates on Flowability of Mortar, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2012, pp. 163-168.
- [2] Westerholm M., Lagerblad B., Silfwerbrand J., Forssberg E. - Influence of fine aggregate characteristics on the rheological properties of mortars, *Cement & Concrete Composites* 30, 2008, pp. 274–282.
- [3] Golaszewski J., Szwabowski J. - Influence of superplasticizers on rheological behavior of fresh cement mortars, *Cement and Concrete Research* 34, 2004, pp. 235–248.
- [4] Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Cimentos. Determinação da massa volúmica, LNEC E 64, Lisboa 1979.
- [5] Instituto Português da Qualidade, NP EN 1097-3 - Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte3: Determinação da Baridade e do volume de vazios, Lisboa 2002.
- [6] European Committee of Standardization, EN 1015-3 - Methods of test for mortar for masonry. Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table), Bruxelas, Fevereiro, 1999.
- [7] Instituto Português da Qualidade, NP EN 1097–6 – Ensaio das Propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água, Lisboa, 2003.
- [8] Instituto Português da Qualidade, NP EN 933–1 – Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte1: Análise Granulométrica. Método de Peneiração, Lisboa, 2000.
- [9] European Committee of Standardization, EN 1015-6 - Methods of test for mortar for masonry. Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar, Bruxelas, Outubro, 1999.
- [10] European Committee of Standardization, prEN 1015-8 - Methods of test for mortar for masonry. Part 8: Determination of water retentivity of fresh mortar, Bruxelas, Setembro, 1999.
- [11] Centre Scientifique et Technique du Batiment - Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation : Classification MERUC, Livraison 341, cahier 2669-3, Paris, juillet-août 1993.
- [12] Martins A., Estudo da influência da dosagem de cimento no desempenho de argamassas de reboco, Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, IST, Lisboa, Novembro, 2008.