

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS POLIMÉRICOS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS E MICROESTRUTURAL DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL

Da Silva, L.R¹ - Eng. Lucas Ramon Roque da Silva¹.

Email: lucasramonroque@gmail.com

Melo, M. L. M² – Profa. Dr. Mírian de Lourdes Noronha M Melo²

Email: mirianmottamelo@gmail.com

Ribeiro, V,A³ - Prof. Dr. Vander Alkmin dos Santos Ribeiro³

Email: vanderalkmin@gmail.com

**^{1,2} Universidade Federal de Itajubá-UNIFEI, Av. BPS, 1303, Pinheirinho, Itajubá – MG,
Caixa Postal 50, CEP: 37500-903**

**³ Centro Universitário de Itajubá – FEPI, Rua Dr. Antônio Braga Filho, 687, Porto
Velho, Itajubá - MG, Caixa Postal 50, CEP: 37501-002**

RESUMO

Um agravante ambiental preocupante atualmente é a destinação incorreta de resíduos sólidos, principalmente os provenientes dos refrigeradores que são descartados em quantidades gigantescas pela humanidade diariamente. Uma das alternativas encontrada para sua correta destinação que tem sido tema de pesquisas recentes é a substituição de resíduos no concreto como agregado que geram concretos ecológicos e com características especiais. Para tanto, este trabalho objetiva adicionar resíduos poliméricos industriais provenientes de reciclagem de eletrodoméstico em concreto de alto desempenho do tipo autoadensável (CAA). Os traços produzidos foram avaliados quanto às características nos estados fresco, endurecido. Sendo que as composições dos CAA's foram as seguintes: um traço de referência (TR) sem adição de resíduos polimérico (RP) e quatro com adição de (RP) com 5% (T5), 10% (T10), 15% (T15) e 20% (T20). As propriedades analisadas no estado fresco foram realizadas por meio dos ensaios de Slump flow test, Slump flow test T500, Lbox e Funnel V que medem a trabalhabilidade e também foi avaliado a massa específica fresca. Os ensaios no estado endurecidos para todos os traços foram compressão longitudinal, tração e massa específica aos 7, 14, 28 dias e 90 dias para os traços TR e T5. Os resultados demonstraram que no estado

fresco a adição de (RP) atuou de maneira negativa até a substituição de 20%, em que o CAA perdeu a coesão e ficou com excesso de fluidez ocasionando segregação dos agregados graúdos. No estado endurecido, a adição de RP atuou também de maneira negativa, diminuindo gradualmente a resistência do concreto nos ensaios de compressão e tração. No entanto, mesmo com a diminuição, todos os traços podem ser classificados para fins estruturais de média e alta resistência, pois, alcançaram resistência a compressão acima de 20 Mpa aos 28 dias de cura.

Palavras chaves: resíduos sólidos, concretos ecológicos, concreto auto adensável, resíduos poliméricos, reciclagem de refrigeradores.

1: INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos são classificados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 10004 (2004) como resíduos nos estados sólido e semissólido, que tenham origem em atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, lodos de tratamento de água, os lodos de origem nas estações de tratamento de água ETA, também são incluídos. Bem como todo líquido que seu lançamento na rede pública ou corpos de água necessitem para isso de tratamento específico.

Os resíduos industriais por sua vez são definidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305 (2010) como aqueles gerados nos processos produtivos e instalações industriais, resultantes de atividades industriais (atividades de pesquisas, transformações de matéria-prima em novos produtos, extração mineral, montagem e manipulação de produtos acabados) sendo a destinação final desse resíduo dever da indústria geradora. Os resíduos industriais podem ser encontrados nos estados sólido, semissólido, gasoso (MINAS GERAIS, 2009; MINAS GERAIS, 2005 apud BORGES, 2017). E o processo de tratamento deste resíduo pode ser feito pelo próprio gerador internamente ou pode se optar pela contratação de serviços terceirizado, neste caso o tratamento é externo.

O gerenciamento dos resíduos sólidos industriais deve obrigatoriamente obedecer aos princípios da não geração, minimização, reutilização, reciclagem e do tratamento e destinação final. Para tanto, devem atender as etapas de geração, coleta, armazenamento, transporte e a destinação com tratamento ou disposição final (USEPA, 1992).

O processo de geração de resíduos como produto final na cadeia produtiva é inevitável nas industriais mesmo tendo realizado a minimização e otimização de processos produtivos. Um dos principais problemas enfrentados quanto aos resíduos sólidos atualmente, é o seu correto armazenamento, parte do problema é devido a falta de documentos que guiem a ação das industriais e agravado ainda mais pelo grande número de classificação dos resíduos (BORGES, 2017).

Segundo a ABNT NBR 12235 (1992) o armazenamento de resíduos envolve a contenção temporária em uma área pré-definida e que esteja de acordo com o estabelecido e aprovado no projeto técnico de licenciamento ambiental. Este armazenamento é realizado até o momento da reciclagem recuperação, tratamento ou disposição final adequada.

De acordo a lista de classificação para resíduos da resolução Conama (2002), o resíduo do presente trabalho, resíduo polimérico proveniente da reciclagem de refrigeradores, se

classifica como classe II ou III, código A007 E A008. Sendo categorizado como: resíduos de plásticos polimerizados de processo e Resíduos de borracha.

Escassez de dados atualizados referentes à geração de resíduos sólidos industriais no Brasil torna limitada a ação do poder público quanto à tomada de medidas favoráveis a sustentabilidade (VENZON, 2018). Estima-se que nas grandes metrópoles há cerca de 160 mil indústrias de transformação que geram aproximadamente 98 milhões de toneladas de resíduos sólidos industriais, deste montante 96 % se classifica como resíduo não perigoso e 4 % como resíduo perigoso (IPEA, 2012).

O poder público e os órgãos ambientais por meio da Política Estadual de Resíduos Sólidos elegem soluções regionais ou locais tendo o fim de mitigar problemas relacionados ao controle ambiental. São recursos que buscam solucionar problemas ambientais o licenciamento e a fiscalização sobre todo e qualquer sistema, público ou privado, de geração, coleta, transporte, armazenamento e tratamento de resíduos sólidos e disposição final de rejeitos ambientalmente adequada. O correto armazenamento dos resíduos compreende a manutenção e a segurança de áreas para a sua operação e armazenagem e como dito anterior (BRASIL, 2019).

2: MATERIAL E MÉTODOS

Para a confecção dos corpos de prova foi utilizado agregado miúdo proveniente da areia natural de rio classificada como areia média e, como o agregado graúdo natural, utilizou-se brita 0 com dimensão máxima característica de 12,5mm, por ser uma granulometria comumente utilizada nos canteiros de obras da região. O cimento empregado foi o CPVARI e Sílica Ativa, este fornecido pela empresa Silicon/Tecnosil como material fino, também foi utilizada água potável da rede pública.

O resíduo polimérico utilizado na forma de agregado graúdo, procede da indústria de reciclagem de eletrodoméstico FOX localizada em São Paulo. Ela faz a coleta, triagem e trituração de refrigeradores de diversos tipos e forneceu gratuitamente material para esta pesquisa. O resíduo da reciclagem de refrigeradores ou resíduo polimérico passou por um processo de peneiração para ser retiradas partes de granulometria grosseira, mas não passou por beneficiamento, pois é disponibilizado com granulometria grosseira. Após esse processo foram realizadas as devidas caracterização nas amostras.

O aditivo plastificante utilizado neste trabalho foi superplastificante 3º geração a base de policarboxilato fornecido pela empresa Silicon/Tecnosil, com alto poder de redução de água. Tem ação simultânea de plastificante e superplastificante, dependendo da dosagem

utilizada, e não altera significativamente o tempo de pega. Permite concretos com ótima trabalhabilidade e baixa relação água-cimento, o que proporciona concretos de grande durabilidade, baixa permeabilidade e de altas resistências. A utilização do aditivo plastificante é necessário, pois à medida que aumenta a quantidade do resíduo no concreto, o ar incorporado também aumenta, principalmente, com a utilização de partículas de menor dimensão. O aumento da porcentagem do resíduo de pneu diminuiu a trabalhabilidade do concreto aumentando, dessa forma, a demanda de aditivo superplastificante, uma vez que a relação água / cimento deve ser mantida a 0,45 para todos os traços.

As determinações da composição granulométrica dos agregados graúdo, miúdo e dos resíduos poliméricos foram realizadas de acordo com os procedimentos descritos na norma ABNT NBR NM 248.

O módulo de finura foi calculado pela soma das porcentagens cumulativas mantidas em peneiras padrão e dividindo a soma por 100 e o diâmetro foi definido como a malha da peneira na qual ficou retido o percentual acumulado igual o imediatamente inferior a 5% e a dimensão máxima característica dos agregados é identificado pela abertura da malha da peneira superior a qual a porcentagem acumulada for igual ou imediatamente inferior a 5 %.

A massa específica do agregado miúdo foi determinada segundo o procedimento da NBR NM 52 (2009), a massa unitária segundo o procedimento da norma ABNT NBR NM 45 (2006), massa específica do agregado graúdo e do resíduo de pneu foram determinadas conforme a (ABNT NBR NM 53, 2009; ABNT NBR NM 45, 2006).

Para obter o concreto auto adensável proposto neste trabalho foram desenvolvidas duas etapas de estudos experimentais. Sendo a primeira consistindo na determinação do traço com melhores propriedades reológicas no estado fresco, fatores como abatimento, fator água / cimento e teor de argamassa.

Para execução do CAA da primeira etapa se baseia no estudo realizado por (TUTIKIAN, 2004). Na segunda etapa, foi feita a adição do resíduo em substituição ao agregado graúdo convencional no traço escolhido na primeira etapa. Essa adição ocorrendo em diferentes porcentagens, com isso desenvolveu-se traços de concreto auto adensável com resíduo polimérico.

Os ensaios foram nos estados fresco e endurecido com o propósito de caracterizar os materiais. No estado fresco os ensaios realizados foram: Slump Flow Test, funnel V e Lbox, ABNT NBR 1523 (2017) que medem parâmetros importantes da trabalhabilidade do concreto.

No estado endurecido, a determinação da resistência à compressão dos concretos foi realizada aos 7, 14, 28 e 90 dias de cura segundo os procedimentos descritos na norma (NBR 5739, 2007). A resistência à tração dos concretos foi realizada aos 28 dias de cura segundo os procedimentos descritos na norma (ABNT NBR 7222, 2011). A massa específica dos concretos foram obtidas segundo os procedimentos descritos na norma (NBR 9778, 2009). Para todos os ensaios foram ensaiados 4 corpos-de-prova deixados previamente em cura úmida. Todos os ensaios foram realizados no Campus Unifei / Itajubá MG no laboratório de materiais para construção civil.

Os materiais utilizados são mostrados no Quadro 1, bem como as respectivas normas para caracterização que foram utilizadas em cada material.

Quadro 1: ensaios realizados na amostra de polímero.

Materiais	Ensaio	Norma ABNT
Cimento Portland CPV ARI	Massa específica	ABNT NBR 16605:2017
	Massa unitária	ABNT NBR 45:2006
	Tempo de pega	ABNT NBR 16607:2017
	Resistência à compressão	ABNT NBR 7215:1997
Sílica Ativa (SA)	Massa específica	ABNT NBR 16605:2017
Areia média	Granulometria	ABNT NBR 248:2003
	Massa unitária	ABNT NBR 45:2006
	Massa específica	ABNT NBR 16605:2017
Aditivo superplastificante (SPA)	Análise química	ABNT NBR 11768:2011

Fonte: Próprio autor.

No Quadro 2 são mostrados os ensaios que foram realizados na amostra de polímeros que será utilizada como agregado para fabricação de concreto auto adensável CAA.

Quadro 2 - Ensaio estado fresco e endurecido para avaliação do CAA.

Ensaio	Normas
Ensaio de granulometria	ABNT NBR NM 248
Ensaio de massa específica	ABNT NBR NM 53
Ensaio de volume de vazios	ABNT NBR NM 45
Ensaio de massa unitária	ABNT NBR NM 45
Ensaio de absorção	ABNT NBR NM 53
Análise de espectroscopia no infravermelho	ASTM E1252
Classificação da amostra	ABNT NBR 10004:2004

Fonte: Próprio autor.

3: RESULTADOS E DISCUSSÃO

O agregado graúdo convencional utilizado foi do tipo basáltico, o qual apresentou massa específica ABNT NBR 53 (2009) de 2,88 g/cm³ e, massa unitária compacta ABNT NBR 45 (2006) de 1,45 g/cm³. A composição granulométrica desse material foi realizada de acordo com as prescrições da ABNT NBR 248 (2003) e encontra-se no Quadro 3, juntamente com o diâmetro máximo e módulo de finura de 9,50mm e 6,75 respectivamente.

Quadro 3: composição granulométrica do pedrisco, segundo a ABNT NBR 248:2003.

Abertura da peneira (mm)	Brita 0	
	% retida	% acumulado
9,5	4,06	4,06
6,3	35,78	39,84
4,8	31,09	70,93
2,4	12,48	83,41
1,2	7,55	90,96
0,6	4,01	94,97

0,3	2,05	97,02
0,15	0,98	98,00
Fundo	2,00	100,00
Dmáx característico	9,50mm	
Módulo de finura	6,75	

Fonte: Próprio autor.

O resíduo polimérico utilizado para substituir o agregado graúdo, apresentou massa específica ABNT NBR 53 (2009) de 1,33 g/cm³ e massa unitária compacta ABNT NBR 4 (2006) de 0,59 g/cm³. A composição granulométrica desse material foi realizada de acordo com as prescrições da ABNT NBR 248 (2003) e encontra-se no Quadro 4, juntamente com o diâmetro máximo e módulo de finura de 9,50mm e 6,64 respectivamente. Os ensaios foram realizados em iguais condições que o pedrisco.

Quadro 4: composição granulométrica do resíduo, segundo a (ABNT NBR 248, 2003).

Abertura da peneira (mm)	Resíduo polimérico	
	% retida	% acumulada
12,5	0,05	0,05
9,5	0,42	0,47
6,3	27,77	28,24
4,8	27,95	56,19
2,4	31,96	88,16
1,2	6,56	94,72
0,6	3,00	97,72
0,3	1,32	99,04
0,15	0,56	99,60
Resíduo	0,39	99,98
Dmáx característica	9,50mm	
Módulo de finura	6,64	

Fonte: próprio autor.

O Quadro 5 apresenta a composição granulométrica da areia natural quartzosa, segundo as prescrições da ABNT NBR 248:2003. A areia apresentou massa específica ABNT NBR 52 (2009) igual a 2,67 g/cm³ e, massa unitária no estado solto e seco ABNT NBR 45 (2006), igual a 1,69 g/cm³ bem como diâmetro máximo de 1,20mm e módulo de finura 1,76 respectivamente.

Quadro 5: composição granulométrica do resíduo, segundo a (ABNT NBR 248, 2003).

Abertura da peneira (mm)	Areia natural quartzosa	
	% retida	% acumulada
4,8	0,19	0,19
2,4	0,91	1,1
1,2	5,61	6,71
0,6	7,01	13,72
0,3	43,8	57,52
0,15	38,76	96,28
Resíduo	3,72	100
Dmáx característica	1,20mm	
Módulo de finura	1,76	

Fonte: próprio autor.

Fazendo uma comparação entre a granulometria, diâmetro máximo e módulo de finura da areia, do polímero e da brita pelos Quadros 3, 4 e 5 é perceptível que a brita e o resíduo são semelhantes principalmente no quesito granulometria. Por essa razão a brita é substituída pelo resíduo polimérico nos traços executados neste trabalho. Este último então passa a trabalhar como agregado graúdo do concreto.

Por meio da Figura 1 é possível fazer uma avaliação visual entre o resíduo polimérico e a brita 0 que foram utilizados neste trabalho. Pode-se verificar desta maneira com mais clareza a semelhança da granulometria entre os dois agregados.

Figura 1: comparação visual entre o resíduo polimérico e a brita 0, utilizados neste pesquisa como agregados graúdos.



Fonte: próprio autor

No Quadro 6 pode se verificar os traços unitários em massa bem como a massa específica e o consumo de cada concreto.

Quadro 6: traços unitários em massa, massa específica e consumo de cimento.

	C	F	A	RP	B	SPA	a/c	Mef [kg/m ³]	C' [kg/m ³]
CAA R	1	0,1	1,6	0	1,4	0,015	0,45	2317,83	509,41
CAA P5	1	0,1	1,6	0,07	1,33	0,015	0,45	2270,61	499,04
CAA P10	1	0,1	1,6	0,14	1,26	0,015	0,45	2164,27	475,66
CAA P15	1	0,1	1,6	0,21	1,19	0,015	0,45	2162,07	475,18
CAA P20	1	0,1	1,6	0,28	1,12	0,015	0,45	2159,55	474,63

Fonte: próprio autor.

Em que os símbolos em destaque são respectivamente: C cimento ARI CPV, F fino pozolânico (Sílica Ativa), A areia média, RP resíduo polimérico, B brita zero ou pedrisco, SPA aditivo superplastificante, a/c relação água cimento, Mef massa específica fresca, C' consumo de cimento, CAA R concreto auto adensável de referência, CAA P5 concreto auto adensável com 5% de RP, CAA P10 concreto auto adensável com 10% de RP, CAA P15 concreto auto adensável com 15% de RP, P20 concreto auto adensável com 20% de RP.

3.1: Estado fresco: avaliação de propriedades

Os resultados no estado fresco para os ensaios de Slump Flow Test, Slump Flow Test 500, Lbox e Funnel V são mostrados de forma resumida no Quadro 7. Para a avaliação é levado em consideração os preceitos contidos na ABNT NBR 15823:2017 em suas versões. Para maior entendimento a cerca da avaliação do concreto fresco também foi adicionado informação da massa específica fresca.

Quadro 7: resultado ensaios realizados para o estado fresco em CAA com adição de resíduo polimérico.

Traço	<i>Slump flow test</i>	<i>Slump flow - T500</i>	<i>L box (H2/H1)</i>	<i>Funnel V</i>	<i>Massa específica fresca [kg/m³]</i>
CAA Referência	795 mm	2,30s	0,95	5,00s	2317,83
CAA 5%	800 mm	2,00s	0,98	4,55s	2270,61
CAA 10%	810 mm	2,00s	1,00	4,50s	2164,27
CAA 15%	809 mm	2,00s	1,00	4,30s	2162,07

CAA 20%	840 mm	1,30s	1,00	3,00s	2159,55
---------	--------	-------	------	-------	---------

Fonte: próprio autor.

Pelo ensaio de *Slump Flow Test* e tendo como parâmetro de avaliação a ABNT NBR 15823-2 (2017), pode se concluir que o concreto é auto adensável do tipo SF3 com espalhamento de 760 a 850mm. Podendo ser utilizado em estruturas com alta densidade de armadura e/ou forma arquitetônica complexa, com uso de agregado graúdo de pequenas dimensões (menor que 12,5 mm). Exemplos dessas estruturas são pilares parede e paredes diafragmas, bem como pilares de dimensões não usuais.

O ensaio *Slump Flow T500* ou Viscosidade plástica aparente T500 (sob fluxo livre) como mostrado no Quadro 7. Apresenta perda de viscosidade, excesso de fluidez à medida que é adicionado resíduo polimérico. Segundo a ABNT NBR 15823-2 (2017) e pelos valores da Quadro 7, os concretos CAA Referência, CAA 5%, CAA 10% e CAA 15% são classificados como VS 1. Já o concreto CAA 20% é classificado como VS 2.

O ensaio *LBox* é apresentado no Quadro 7 este que mede a habilidade passante conforme a ABNT NBR 15823-3 (2017) bem como a ABNT NBR 15823-4:2017. Tendo em vista que a classe de habilidade passante pela caixa L para o CAA deve atender ao valor de maior ou igual a 0,80, com três barras de aço (ABNT NBR 15823-1, 2017). Pode se concluir que todos os CAA's executados neste trabalho obtiveram resultado satisfatório.

Para o ensaio de *funnel V* e embasado na ABNT NBR 15823-5:2017 e sabendo que esse ensaio mede o tempo de escoamento para determinação da viscosidade, os resultados são apresentados no Quadro 7. A ABNT NBR 15823-5 (2017) divide os CAA's em duas classes de viscosidade plástica pelo funil V: VF 1 tempo menor que 9 segundos e VF 2- 9 a 25 segundos. Observa-se que todos os traços são classificados como VF 1 sendo que todos apresentam tempo de escoamento menores que 9 segundos.

3.2: Ensaio Endurecido: Avaliação De Propriedades

Pela análise dos resultados para o ensaio de compressão longitudinal, no Quadro 8. Pode se verificar que ocorre uma gradual diminuição da resistência a compressão à medida que se adiciona o polímero reciclado, tendo como melhor resultado o CAA referência com 56,5 MPa e pior o CAA com 20% de resíduo polimérico com 24,2 MPa com diminuição percentual de 57,2% aos 28 dias de cura. Esse comportamento mecânico se repete para todas as idades analisadas de 7 a 28 dias de cura. Esse fato pode ser explicado pela substituição gradual de um agregado graúdo (brita ou pedrisco) de relativa alta resistência e massa

específica, por um de baixa resistência (resíduo polimérico) e baixa massa específica que possuem comportamentos diferentes e composições químicas diferentes.

Quadro 8: resistência à compressão, aos 7, 14, 28 e 91 dias, dos concretos autoadensáveis (CAA), segundo a ABNT NBR 5739:2007.

	TR (Mpa)	T5 (Mpa)	T10 (Mpa)	T15 (Mpa)	T20 (Mpa)
7 dias	53,9	37,5	30,5	23,8	19,9
14 dias	54,0	38,0	31,0	24,0	21,0
28 dias	56,5	41,2	38,3	27,8	24,2
91 dias	52,8	38,0	Não realizado	Não realizado	Não realizado

Fonte: próprio autor.

Pelo Quadro 8, pode ser verificado um gradual aumento de resistência para todos os traços. Como o cimento utilizado foi do tipo CPV ARI de alta resistência inicial é de se esperar que nas primeiras idades de cura seja encontrado elevada resistência. Por esse motivo a NBR 16697 (2018) somente especifica resistências mínimas a serem atingidas nas idades de 1, 3 e 7 dias de cura para cimento tipo CPV ARI.

É verificado que aos 91 dias os traços analisados (TR e T5) sofrem uma ligeira perda de resistência evidenciando perda de durabilidade. Esse fato pode ser explicado pelo alto consumo de cimento dos traços, como pode ser visto no Quadro 3 que chega ser maior a igual de 500 kg/m³ nos traços TR e T5, respectivamente.

Os ensaios de compressão longitudinal também evidenciam que à medida que é adicionado resíduo polimérico a resistência diminui para todas as idades analisadas. Apesar da adição de resíduo polimérico diminuir sensivelmente a resistência, pode se encontrar um valor mínimo de 24,2 Mpa, aproximadamente. Segundo a ABNT NBR 8953 (2015), o concreto pode ser classificado como classe de resistência Grupo I que engloba os valores entre 20 a 55Mpa considerados concreto estrutural.

O ensaio de tração (ou compressão axial) apresentado na ABNT NBR 7222 (2011) é apresentado no Quadro 9 e foi realizado aos 28 dias para todos os traços. Pode ser observado que os resultados de tração estão coerentes com os de compressão longitudinal, sendo o primeiro com valor em torno de 5% do segundo, ocorrendo gradual diminuição da resistência ao longo das adições de polímero reciclado. Esse fato também pode ser explicado pela natureza de baixa resistência do resíduo adicionado.

Quadro 9: resultado resistência à tração aos 28 dias.

Traços	Resistência (Mpa)
CAA R	5,65
CAA 5	3,92
CAA 10	3,25
CAA 15	2,82
CAA 20	2,27

Fonte: próprio autor.

Os ensaios de massa específica para os concretos do estado endurecido são apresentados no Quadro 10. Pode ser verificado que a massa específica diminui gradualmente de acordo com a adição de resíduo, ocorrendo um decréscimo de 4,7% em relação ao CAA R e o CAA 20. Comportamento esse semelhante ao ocorrido no estado fresco, ver Quadro 3. Esse fato também pode ser explicado pela substituição de um agregado denso (brita) por um menos denso (resíduo polimérico) que afeta a massa por unidade de volume do material analisado.

Quadro 10: resultado massa específica aos 28 dias.

Traços	Massa Específica Seca [kg/m ³]
CAA R	2400,00
CAA 5	2364,40
CAA 10	2326,90
CAA 15	2288,3
CAA 20	1947,80

Fonte: próprio autor.

6: REFERÊNCIAS

ANGELIN A. F. Tese de Doutorado. Análise dos desempenhos físicos, mecânicos, termo acústicos e microestruturais do concreto leve autoadensável emborrachado (CLAE).

FT/UNICAMP - Limeira/SP, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto. NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823-1: Concreto autoadensável: Classificação, controle e recebimento no estado fresco. Rio de Janeiro, 2017.
ABNT NBR 5739:2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823-2: Concreto autoadensável. Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual - Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823-4: Concreto autoadensável. Determinação da habilidade passante - Métodos da caixa L e da caixa U. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823-5: Concreto autoadensável. Determinação da viscosidade - Método do funil V. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222: Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8522: Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8953: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

BORJA, E. V. Efeito da adição da argila expandida e adições minerais na formulação de concretos estruturais leves autoadensáveis. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

BORGES, T. M. R. Relatório do projeto guia para o armazenamento de resíduos industriais em minas gerais. Sistema estadual do meio ambiente –sisema. Secretaria de estado de meio ambiente e desenvolvimento sustentável. Fundação estadual do meio ambiente – feam.

Fundação de amparo à pesquisa do estado de minas gerais. Belo horizonte, janeiro/2017.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 ago. 2010. Disponível em:

<www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/.../lei/112305.htm> Acesso em: 04jan. 2019.

FURNAS. Concreto – Determinação da habilidade de preenchimento do concreto auto-adensável utilizando-se o cone de Abrams (slump flow test) - Método de ensaio. Manual de qualidade, p.1-6, 2004^a.

FARHAD ASLANI. Development of high-performance self-compacting concrete using waste recycled concrete aggregates and rubber granules. School of Civil, Environmental, and Mining Engineering, University of Western Australia, WA 6009, Australia. Journal of Cleaner Production 182 (2018) 553e566, 2018.

JALAL, M.; MANSOURI, E.; SHARIFIPOUR, M.; POULADKHAN, A.R. Mechanical, rheological, durability and microstructural properties of high performance self-compacting concrete containing SiO₂ micro and nanoparticles. Materials and Design, p.389-400, 2012.

JURADIN, S.; BALOEVI, G.; HARAPIN, A. Experimental testing of the effects of fine particles on the properties of the self-compacting lightweight concrete. Advances in Materials Science and Engineering, 2012.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. Pesquisa sobre pagamentos por serviços ambientais urbanos para gestão de resíduos sólidos: Relatório de pesquisa. Brasília, 2010. Disponível em:

<http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/100514_relatsau.pdf>. Acesso em: 10-janeiro 2019.

OKAMURA, H.; OUCHI, M. Self-compacting concrete. Development, present use and future. Kochi University of Technology, p. 1–14, 1999.

OKAMURA, H.; OUCHI, M. Self-Compacting Concrete. Journal of Advanced Concrete Technology, v. 1, n. 1, p. 5–15, 2003.

TUTIKIAN, B. F. Método para dosagem de concretos auto-adensáveis. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. Concreto auto-adensável / Bernardo Fonseca Tutikian, Denise Carpena Dal Molin. — São Paulo: Pini, 2008.

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. Decision-makers guide to solid waste management. N.º 530-R-95-023. 2. ed. Office of Solid Waste and Emergency Response, 1992.

VENZON; CHICATTO; VEGINI; TAVARES. Resíduos sólidos industriais e seu potencial para a produção de compósitos – uma revisão de literatura. Departamento de Engenharia Química. Centro de Ciências Tecnológicas. Universidade Regional de Blumenau/FURB, 2018.

7: ANEXO - FIGURAS E QUADROS

Figura 1: comparação visual entre o resíduo polimérico e a brita 0, utilizados neste pesquisa como agregados graúdos, pg 8.

Quadro 1: ensaios realizados na amostra de polímero, pg 5.

Quadro 2: ensaios estado fresco e endurecido para avaliação do CAA, pg 5.

Quadro 3: composição granulométrica do pedrisco, segundo a ABNT NBR 248:2003, pg 3.

Quadro 4: composição granulométrica do resíduo, segundo a ABNT NBR 248:2003, pg 8.

Quadro 5: composição granulométrica do resíduo, segundo a ABNT NBR 248:2003, pg 9.

Quadro 6: traços unitários em massa, massa específica e consumo de cimento, pg 10.

Quadro 7: resultado ensaios realizados para o estado fresco em CAA com adição de resíduo polimérico, pg 10.

Quadro 8: resistência à compressão, aos 7, 14, 28 e 91 dias, dos concretos autoadensáveis (CAA), segundo a ABNT NBR 5739:2007, pg 12.

Quadro 9: resultado resistência à tração aos 28 dias, pg 13.

Quadro 10: resultado massa específica aos 28 dias, pg 13.