

Influência da Cinza do Bagaço de Cana (CBC) em Propriedades Mecânicas de Concretos Autoadensáveis (CAA)

Lucas Dionísio Barros¹, Alex Mizael Martins²

Resumo

O concreto é o segundo material mais empregado no mundo, perdendo somente para a água. É composto por aglomerante, agregado miúdo, agregado graúdo e água, podendo também ter em sua composição aditivos e adições minerais, para a alteração de propriedades físicas e químicas. A produção de cimento libera gás carbônico (CO₂), pela queima dos combustíveis fósseis para a elevação de temperatura dos fornos. Esse gás intensifica o efeito estufa, elevando assim, a temperatura da Terra. Embasado nisso, essa pesquisa propõe a substituição parcial 10% e 20% de CBC em CAA analisando sua influência nas resistências à compressão e à tração em corpos de prova expostas em curas por imersão em temperatura ambiente durante 28 dias, e em temperatura alta (65°C) durante 3 e 7 dias. Os resultados comprovaram a eficácia da utilização de cura térmica para aceleração de obtenção de resistências finais, provando assim, a eficiência e economia sendo observado a importância do emprego de CAA em conjunto com método de cura térmica e reaproveitamento de CBC, provendo descarte deste material.

Palavras-chave: Cura térmica. Sustentabilidade. Concreto autoadensável.

1. Introdução

Muito se debate atualmente dos impactos ambientais gerados pela ação do homem vêm provocando consequências catastróficas, mas pouco se aborda o grande impacto gerado por indústrias de cimento, aglomerante responsável pela aglutinação de materiais agregados. O concreto é o material mais consumido no mundo, perdendo somente para a água, em contrapartida aumentando a quantidade de sua influência negativa ao meio ambiente. O mais interessante sobre isso é como a fabricação desse material é responsável por 7% da emissão de CO₂ (dióxido de carbono). Em face desta realidade pesquisas estão sendo realizadas para amenizar o efeito danoso ao meio ambiente (DEZEM, 2019).

Em virtude disto, estudos sobre o emprego de materiais com potencial pozolânico como substituição do cimento estão sendo realizados para a mitigação do consumo desse aglomerante ao diminuir parcialmente a quantidade empregada e em consequência sua produção. Materiais pozolânicos são materiais compostos por sílica que em contato de água

¹ lucasdiobar@gmail.com, Graduando, Estudante, UniRV-Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.

² ammecufg@gmail.com, Mestre, Professor, UniRV-Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.

juntamente com hidróxido de cálcio reagem criando componentes com propriedades ligantes (ABNT NBR 12653, 2014). Um desses materiais é a cinza do bagaço de cana de açúcar (CBC), subproduto de indústrias sucroalcooleiras, onde a cana de açúcar é levada à queima para a produção de energia na indústria, assim, produzindo uma grande quantidade de cinza, composta em sua maioria por sílica (BORLONI et al., 2006). Observando a produção nacional de cana de açúcar, a quantidade de massa de CBC é proporcional à 6% da massa de cimento Portland, e seu descarte causa uma série de adversidades ao meio ambiente (FAIRBAIRN *et al.*, 2012).

Entretanto, é observado que, mesmo com a evolução das técnicas construtivas há uma das maiores dificuldades encontradas nos canteiros de obra são os atrasos gerados pela falta de qualificação de mão de obras (JORNAL NACIONAL, 2010). Uma das opções indicadas por Pederiva (2009), é a do emprego de pré-moldados, que são peças confeccionadas para encaixe em estruturas, racionalizando o processo construtivo. Com as necessidades de entrega do concreto endurecido em tempo reduzido em obra aplica-se métodos de cura que aceleram sua resistência de dias para horas. O método aplicado é o de cura térmica que com o incremento de energia calorífica com a agitação das partículas dos elementos químicos existentes nos materiais componentes favorece a obtenção de resultados em menos tempo do que sem a utilização deste. Isso é explicado por Atkins (2012), descrevendo que em um meio possuindo uma temperatura constante, o incremento de calor em uma reação química provocará uma agitação de seus átomos, com isso, os resultados de sua reação são antecipados. Segundo a NBR 9062 (ABNT, 2017), são classificados como pré-moldados ou pré-fabricados os elementos que são confeccionados fora de seu local de emprego. Com o objetivo de também adiantar as datas de obtenção de resistência de projeto, uma das técnicas utilizadas é a cura térmica obtendo resistências que seriam finais nas primeiras idades (TERZIAN, 2005).

Para o aumento da trabalhabilidade e economia no emprego em obras, foi criado o concreto autoadensável que possui como maior característica, como o próprio nome diz, de se adensar entre as armaduras sem a necessidade do uso de vibradores mecânicos ou automáticos preenchendo todos os vazios. Seu principal emprego é em obras de concreto armado onde se necessita de um concreto que flua entre as armaduras (MEHTA; MONTEIRO, 2014). A NBR 15823 (ABNT, 2017) classifica concreto autoadensável como o concreto que através de seu peso próprio consegue fluir em armações, mantendo sua homogeneidade sem segregar e exsudar em todas suas etapas.

Para EFNARC (2002), as maiores vantagens do emprego do CAA são: aceleração da obra, redução de mão de obra, acabamento final, durabilidade, liberdade de design em projetos, esbeltez das seções estruturais, redução de ruídos e segurança no ambiente de

trabalho, isto valorizando a eficiência e economia e estética como fator consequente. Salienta que todas essas vantagens sejam obtidas seguindo os critérios como: habilidade de preenchimento de poros, habilidade passante e resistência à segregação.

Mesmo com todos esses fatores favorecendo a utilização deste concreto no Brasil há a dificuldade de se constatar o seu uso, já que há ainda uma barreira de conhecimento das técnicas de dosagem e controle. Isso advém de uma cultura que prioriza métodos mais antiquados de dosagem ou empíricos em obras do que métodos matemáticos e mais precisos pela falta de conhecimento e confiança dos responsáveis pelas obras, diferentemente do Japão e na Europa onde o CAA é mais comum (REVISTA TÉCHNE, 2008). Segundo Tutikian (2007), o concreto autoadensável é de grande interesse para fabricas de peças pré-moldadas por todas as vantagens que agregam pela facilidade de sua produção.

Pelo que foi exposto, esta pesquisa mostra-se muito importante pois, tem como objetivo geral analisar o comportamento mecânico do concreto autoadensável com diferentes substituições de CBC. Para complementar os estudos, foram realizadas em concretos expostos em cura por submersão de corpos de prova em água em temperatura ambiente e em cura térmica por submersão em 65°C, ao combinar as vantagens do concreto autoadensável com as de concreto pré-moldado, verificando a viabilidade da incorporando a substituição de CBC revertendo os impactos de descarte inadequado desse resíduo, melhorando eficiência, economia e estética.

2. Material e métodos

Na Figura 1 pode ser observado a ordem de execução da metodologia da pesquisa, e em seguida como cada uma delas foi realizada.



Figura 1 – Fluxograma das etapas de pesquisa.
Fonte: Próprio Autor (2019).

2.1. Seleção e caracterização dos materiais

Para esta pesquisa foi considerado a substituição parcial do cimento por CBC (cinza do bagaço de cana) e aditivo superplastificante. Os materiais como, agregados e CBC, foram levados a estufa à temperatura de 105°C retirando toda a umidade presente para haver na dosagem um controle favorável a relação a/c (água/cimento), sendo essa uma situação ideal, diferentemente do que comumente ocorre em obras que quando há um controle tecnológico sobre a dosagem de material há uma preferência pelo uso de técnicas de se calcular a dosagem através da diferença de umidade presente nos agregados,

O cimento Portland definido foi o CP V ARI (cimento *portland* de alta resistência inicial) que em apenas um dia de cura apresenta como resistência mínima de 14 MPa e aos 7 dias resistência mínima de 34 MPa (ABCP, 2002).

Foram escolhidos para agregados miúdo (areia fina quartzosa) e graúdo (brita 0).

A água em temperatura ambiente proveniente do sistema de distribuição de água da cidade de Rio Verde-GO.

A cinza do bagaço de cana foi coletada in situ em um local de armazenamento em uma usina sucroalcooleira na cidade de Quirinópolis – Go, na zona rural. Após sua secagem, ela foi peneirada em uma peneira de 150 μm , com o intuito de melhorar sua atuação em conjunto com o cimento, favorecendo seu efeito aglomerante.

O aditivo superplastificante utilizado foi o ADI-SUPER H50 Tipo II (ADITIBRAS, 2019) composto por éteres caboxílicos modificados, com ação dispersante, para concretos de alta fluidez, e que favorece a redução da proporção de água na quantidade de cimento. As vantagens que foram consideradas de seu uso para esta pesquisa foram: redução de a/c, melhor fluidez do concreto, melhor bombeamento, aumento de coesão.

Foram caracterizados os agregados e o aglomerante estabelecendo a dosagem e controle de qualidade dos materiais verificando a conformidade de cada um desses segundo suas normas. Foram realizados ensaios de massa unitária, massa específica e granulometria, respeitando os critérios normativos da espécie do material.

Caracterização do cimento

A amostra de cimento foi de CP V, peneirado em peneira 150 μm conforme a NM 23 (ABNT, 2000). Segundo a NBR 16697 (ABNT, 2018), este tipo de cimento possui essas características de resistência em idades iniciais, favorecendo seu emprego para execuções de peças de pré-moldados. Sua única desvantagem é que a velocidade de reação é causada pelo grande grau de agitação de suas moléculas, assim aumentando sua temperatura, e isso aumenta o calor de hidratação levando ao surgimento de fissuras em comparação com cimentos comuns. Os resultados desse ensaio podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização do cimento.

CARACTERIZAÇÃO	MÉTODO	RESULTADO	NORMA
Massa Específica	Frasco de Le Chatelier	3060 kg/m ³	ABNT NBR NM 23:2001
Finura do Cimento	Peneira 75 µm	0,86%	ABNT NBR 11579:1991

Fonte: Próprio Autor (2019).

Caracterização dos agregados

Os agregados foram coletados e reduzidos em amostras representativas para os ensaios de acordo com a NM 26 (ABNT, 2009). As amostras foram levadas à estufa à 105°C retirando após 24h quando já havia constância de massa. Os resultados desse ensaio podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização dos agregados.

CARACTERIZAÇÃO	RESULTADO		NORMA
	Ag. Miúdo	Ag. Graúdo	
Massa Específica	2650 kg/m ³	2728 kg/m ³	ABNT NBR NM 52:2009
Massa Unitária Agregado Solto	1587,97 kg/m ³	1599,2 kg/m ³	ABNT NBR NM 45:2006
Massa Unitária Agregado Compactado	1700,21 kg/m ³	1675,5 kg/m ³	

Fonte: Próprio Autor (2019).

Caracterização do bagaço da cana

Após a coleta, a cinza foi encaminhada para a estufa à 105°C durante 24 horas e constância da sua massa, retirando toda a presença de água. Para se adequar a granulometria do cimento, foi peneirada com uma peneira de 150 µm, para a compatibilização do material com o cimento nas substituições conforme a NM 23 (ABNT, 2001). Os resultados desse ensaio podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização do CBC.

CARACTERIZAÇÃO	MÉTODO	RESULTADO	NORMA
Massa Específica	Frasco de Le Chatelier	2502 kg/m ³	ABNT NBR NM 23:2001
Finura do Cimento	Peneira 75µm	22,42%	ABNT NBR 11579:1991

Fonte: Próprio Autor (2019).

O Índice de atividade pozolânica que determina a atividade pozolânica da amostra com a utilização de cimento Portland CP II F 32. Foram moldados dois tipos de argamassa, 6 para

cada tipo, uma referência e outro contendo substituição do cimento por 25% de CBC em corpos de prova de 50x100 mm, e após 28 dias os corpos de prova foram rompidos. O resultado desse ensaio comprovou que com a substituição do CBC os corpos de prova alcançaram 97,26% da resistência à compressão NBR 5752 (ABNT, 2014), onde este resultado valida seu uso como material pozolânico. Os resultados desse ensaio podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 – Dosagem de IAP

Traço	Materiais					Compressão
	Cimento	CBC	Ar. Normal	Água	Aditivo	
AR	624 g	-	1872 g	300 g	-	33,14 MPa
A25	468 g	156 g	1872 g	300 g	0,57%	32, 23 MPa

Fonte: Próprio Autor (2019).

2.2. Dosagem

A dosagem foi realizada a partir de estudos teóricos e empíricos para a adequação de um traço que não houvesse exsudação e segregação obtendo em 40 MPa aos 28 dias. O aditivo foi calculado com base na quantidade de massa do cimento do traço referência. O método utilizado foi o de Nan Su et al. (2001), descrito na Figura 2.

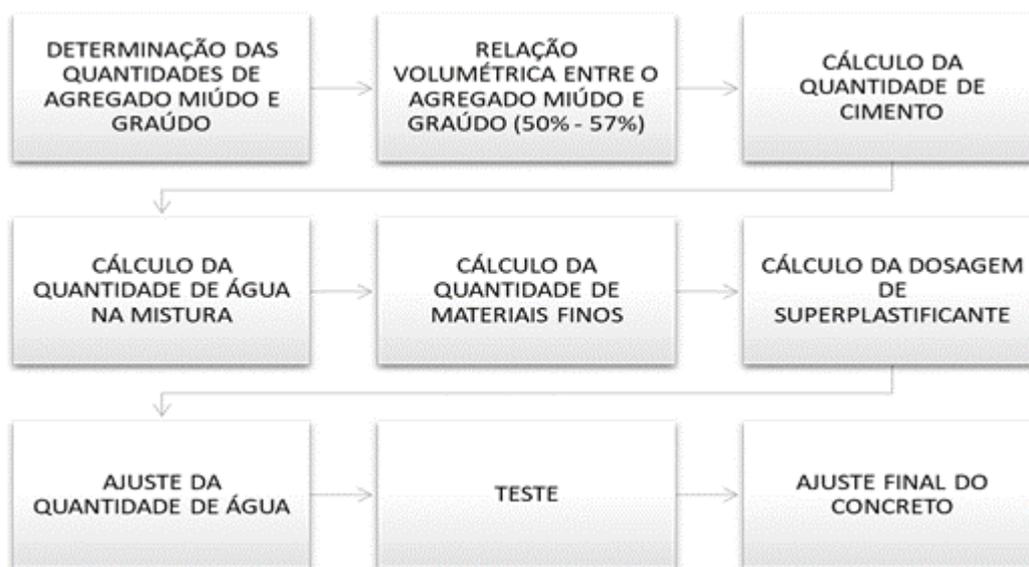


Figura 2- Método Nan Su et al. de dosagem para concreto autoadensável.

Fonte: Adaptado de Nan Su et al. (2001).

Foram escolhidos dois valores de substituição de CBC a partir do trabalho sobre utilização de mesma fonte de CBC, onde o valor de 20% de substituição pode-se notar excelentes resultados nesta dosagem (BARROS et al., 2019). Entretanto foi notado que, mesmo que o CBC houvesse sido colhido na mesma indústria, houve uma mudança significativa nos valores de IAP, onde a do trabalho anterior apresentou um IAP superior ao utilizado neste trabalho.

Com a definição de traço na dosagem da referência, os outros foram testados com maiores quantidades de aditivo superplastificante sem a necessidade de se alterar a relação a/c (água/cimento). Os valores finais do traço unitário estão apresentados na Tabela 5. Os testes também consideraram o teor de argamassa para o valor de 0,50, sabendo que a argamassa nesse concreto é responsável por facilitar sua fluidez, mantendo a coesão com o agregado graúdo.

Tabela 5 – Dosagem do CAA.

Traço	Cimento	Cinza	Ag. Miúdo	Ag. Graúdo	a/c	Aditivo
CR	1	0	1,90	1,88	0,4	0,75%
C10	0,9	0,1	1,90	1,88	0,4	1,8%
C20	0,8	0,2	1,90	1,88	0,4	1,5%

Fonte: Próprio Autor (2019).

Pode ser observado na dosagem, como já mencionado na caracterização de consistência de pasta, foi necessária uma dosagem maior de aditivo compensando a sua consistência favorecendo o ensaio de espalhamento nos traços onde houveram substituição. Contudo, diferentemente do resultado de consistência de pasta em que C20 houve mais dificuldade de se obter a consistência desejada, no caso da dosagem do concreto foi diferente. Isso proveniente da alta temperatura climática e a baixíssima umidade apresentada na região durante as dosagens do concreto. Segundo Campos Neto (2015), o concreto durante seu manuseio, fatores como temperatura e umidade devem ser consideradas, interferindo na consistência do concreto influenciando em todos os seus futuros resultados, causado pela perda de sua trabalhabilidade.

2.3. Definição do traço

Os traços foram dosados a partir do consumo de cimento de 401,79 kg/m³, valor definido em testes preliminares. O consumo definiu as quantidades necessárias para as amostras necessárias para os ensaios no estado fresco e estado endurecido.

2.4. Ensaio no estado fresco

Os ensaios realizados são os de classificação, controle e recebimento do concreto autoadensável, presentes na Figura 3, seguindo esta ordem de execução:

- Ensaio t_{500} por tempo de escoamento (ABNT NBR 15823-2:2017);
- Determinação do espalhamento por slump flow (ABNT NBR 15823-2:2017);
- Ensaio de índice de estabilidade visual (IEV) (ABNT NBR 15823-2:2017);
- Determinação da habilidade passante pelo método do anel j (ABNT NBR 15823-3:2017);
- Determinação da resistência à segregação pelo método da coluna de segregação (ABNT NBR 15823-6:2017);
- Determinação do teor de ar incorporado (ABNT NBR NM 47:2002);
- Determinação da massa específica (ABNT NBR NM 56:1996).

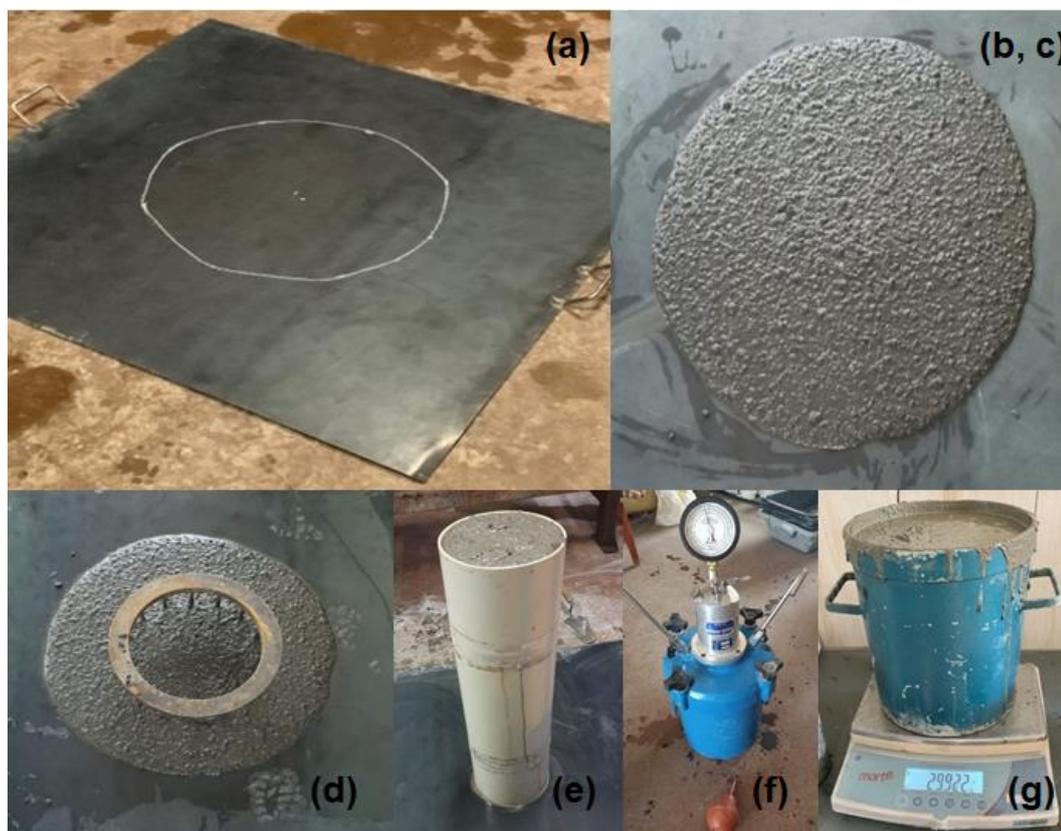


Figura 3 – Ensaio no estado fresco.
Fonte: Próprio Autor (2019).

Foram fixados faixas similares no ensaio de espalhamento de classe SF 2, de 660 mm a 750 mm, que é recomendado para peças de pré-moldados contendo alta densidade de armação (ABNT NBR 15823:2017). A utilização do controle dessa faixa favorece a similaridade entre os resultados de ensaio nos traços. Em seguida, foi observado o índice de

estabilidade visual, analisando a presença de exsudação, que é uma forma de segregação da água migrando para a superfície do concreto. E a presença de segregação, sendo a separação dos materiais da mistura de concreto (NEVILLE; BROOKS, 2013). Ao se observar a presença de uma “coroa de segregação”, que é a estagnação de uma quantidade de concreto onde antes estava posicionado o tronco de cone, averiguando isto avaliando a necessidade de alguma correção.

2.5. Moldagem dos corpos de prova

Foram moldados corpos de prova de formato cilíndricos com dimensões de aproximadamente 200 mm de altura e 100 mm de diâmetro exigidos na NBR 5738 (ABNT, 2015), seis para ensaio à compressão e seis para ensaio à tração por compressão na diametral.

2.6. Métodos de cura

Posteriormente, os corpos de prova foram separados e levados em seus procedimentos de cura, por imersão em água em temperatura ambiente e temperatura elevada seguindo os procedimentos da NBR 5738 (ABNT, 2015) e NBR 9062 (ABNT, 2017).

Os corpos de prova em cura térmica após 24 h de moldagem parte dos corpos foram encaminhados para a cura norma em água em temperatura ambiente, e o restante revestido por plástico filme evitando a perda de água, colocado em bacias onde a água os cobria e a bacia vedada com plástico filme para o fechamento do ciclo da água dentro do sistema, onde toda água evaporada voltava para a imersão. A temperatura escolhida foi a de 65°C, pois como a NBR 9062 (ABNT, 2017) exige que o limite de temperatura de exposição para peças de concreto seja inferior ou igual a 70°C, e foi constatado que a estufa onde as bacias foram levadas havia em alguns momentos em que a temperatura era extrapolada, e 65°C foi considerado uma temperatura mais segura para o tratamento (Figura 4). Eles ficaram dispostos em estufa por 48 horas e foram resfriados no ambiente.



Figura 4 – Metodologia da cura térmica dos corpos de prova.

Fonte: Próprio Autor (2019).

2.7. Ensaio no estado endurecido

Foram executados ensaios de resistência à compressão seguindo a NBR 5739 (ABNT, 2018) e à tração na flexão seguindo a NBR 7222 (ABNT, 2011). Foram definidas duas idades para os ensaios no estado endurecido, para as idades de 3 e 7 dias.

3. Resultados e discussão

3.1. Classificação, controle e recebimento do concreto autoadensável no estado fresco

Com o concreto produzido, foram avaliadas as propriedades no estado fresco já descritas na metodologia desta pesquisa. Com os resultados de cada foram buscadas na NBR 15823-1 (ABNT, 2017) e vistas suas classes para onde este concreto deveria ser empregado em situação de obra. As classes estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 6 – Classificação do concreto autoadensável segundo seu emprego.

Ensaio	Classificação					
	CR		C10		C20	
	Resultado	Classe	Resultado	Classe	Resultado	Classe
Espalhamento	710 mm	SF 2	713 mm	SF 2	705 mm	SF 2
IEV	-	IEV 0	-	IEV 0	-	IEV 0
T ₅₀₀	1s	VS 1	1s	VS 1	1s	VS 1
Anel J	675 mm	PJ 2	678 mm	PJ 2	678 mm	PJ 2
Coluna de Segregação	10,50%	SR2	12,60%	SR2	6,82%	SR2
Ar Incorporado	5,11%	-	2,70%	-	6,00%	-
Massa Específica	2275,56 kg/m ³	C	2439,18 kg/m ³	C	2363,92 kg/m ³	C

Fonte: Próprio Autor (2016).

A classificação do espalhamento, SF 2, afirma que esse concreto pode ser empregado em paredes, vigas, pilares e outras modalidades. No ensaio de índice de estabilidade visual, classe IEV 0, foi comprovado que o concreto não apresenta evidências de exsudação e segregação. No ensaio de viscosidade aparente, classe VS 1, recomendando o emprego em peças estruturais de alta densidade de armadura, paredes diafragmas, pilares-parede, pré-moldados e concreto aparente. O ensaio de anel J, com classificação de PJ 2, recomendam a aplicação em lajes, painéis e elementos de fundação. Sua resistência a segregação, classificação SR 2, a norma recomenda o emprego em elementos pré-fabricados, elementos estruturais complexos, elementos de fundação profundos e pilares-parede. Todas as classes foram verificadas na 15823 (ABNT, 2017).

3.2. Ensaio no estado endurecido

Ensaio no estado endurecido em cura por imersão em temperatura ambiente

Seguem os resultados referentes aos ensaios de resistência à compressão e tração pelo método da compressão diametral aos corpos de prova em curas por imersão em temperatura ambiente.

Resistência à compressão

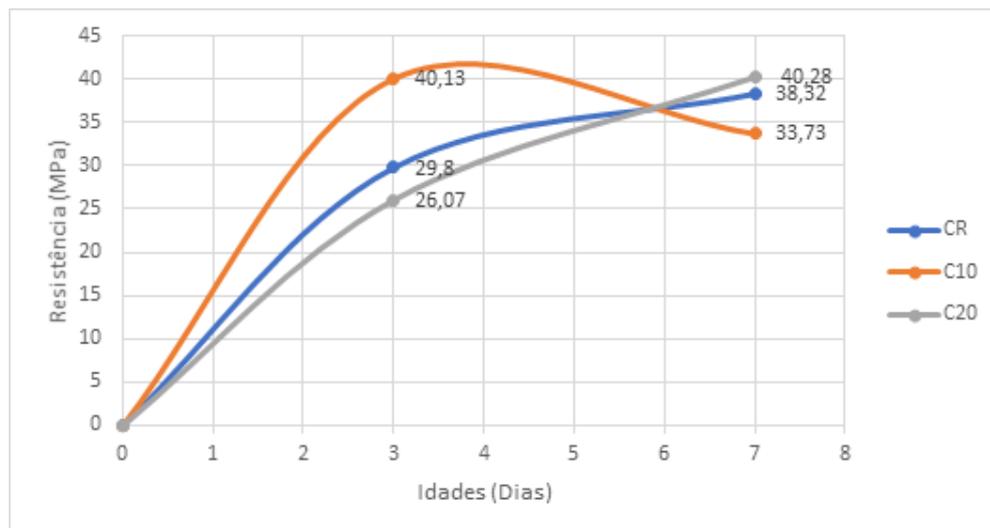


Figura 5 – Resistência à compressão em cura por imersão em temperatura ambiente.
Fonte: Próprio Autor (2019).

Pode ser observado na Figura 5, que as resistências de compressão foram viáveis na substituição de CBC, onde os resultados mostraram uma boa interação do CBC, considerando que como é de comum conhecimento, a atividade pozolânica ocorre apenas de início aos primeiros 28 dias de idade. Enfatizando isso, o efeito filer está em atividade, se dando pelo preenchimento de vazios no concreto favorecendo as resistências nessas primeiras idades. (MEHTA; MONTEIRO, 2014)

No estudo anterior com aplicação de CBC (BARROS et al., 2019) relacionando com essas análises, pode ser observado que houve sobreposição da resistência à compressão, isso pela diferenciação dos lotes do resíduo, onde o concreto com substituição de CBC de 20% sobrepôs ao concreto referência em apenas 7 dias.

Resistência à tração

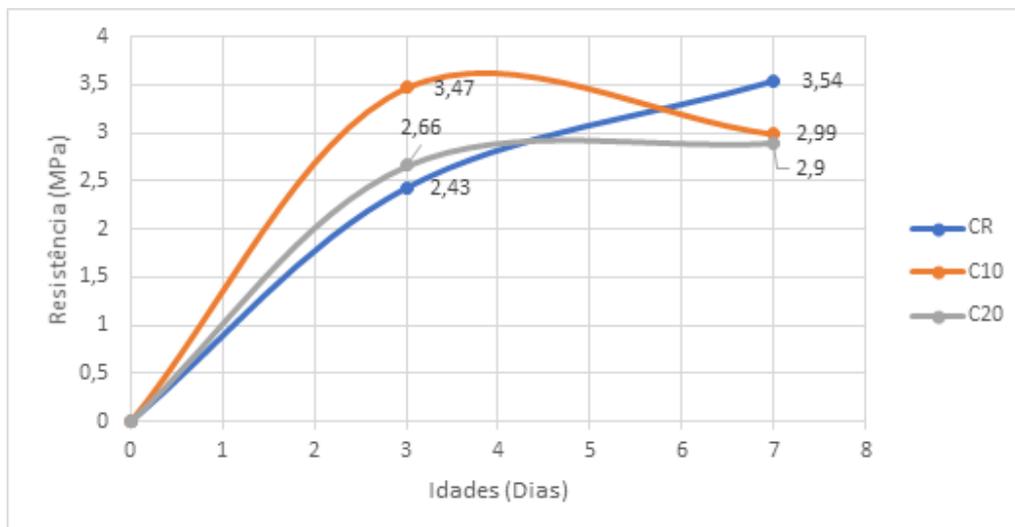


Figura 6 – Resistência à tração em cura por imersão em temperatura ambiente.
Fonte: Próprio Autor (2019).

Na Figura 6, as resistências de tração estão em constante aumento e pode-se considerar novas pesquisas para que se amplie as idades pois, neste caso pode-se haver um aumento considerável das resistências à tração nas futuras idades, percebida nos traços C10 e C20. E se estudada aos 90 dias, poderá ser considerado um aumento pelo efeito causado pelo efeito pozolânico. Para a dosagem de concretos com o objetivo de resistência à tração o traço CR é o mais viável, onde superou em 7 dias de cura por imersão em temperatura ambiente os traços com emprego de CBC.

Ensaio no estado endurecido em cura térmica

Seguem os resultados referentes aos ensaios de resistência à compressão e tração pelo método da compressão diametral aos corpos de prova em curas por imersão em alta temperatura.

Resistência à compressão

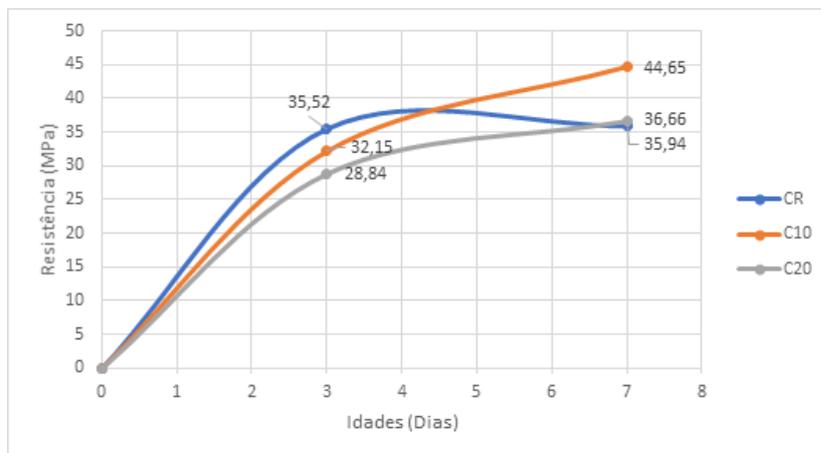


Figura 7 - Resistência à compressão em cura térmica.
Fonte: Próprio Autor (2019).

Na Figura 7, referente a cura térmica, pode ser observado que em apenas 3 dias CR obtém 35,52 MPa de resistência, acima dos valores de resistência à compressão dos concretos com 10% e 20% de substituição.

Entretanto, aos 7 dias é observado uma sobreposição dos valores de resistência dos concretos com substituição, onde o CR se manteve estabilizado nos valores de resistência enquanto os concretos com substituição continuaram em progresso. O valor neste caso que mais se sobressaiu foi o de C10, superando os valores estimados de método de dosagem aos 28 dias.

Resistência à tração

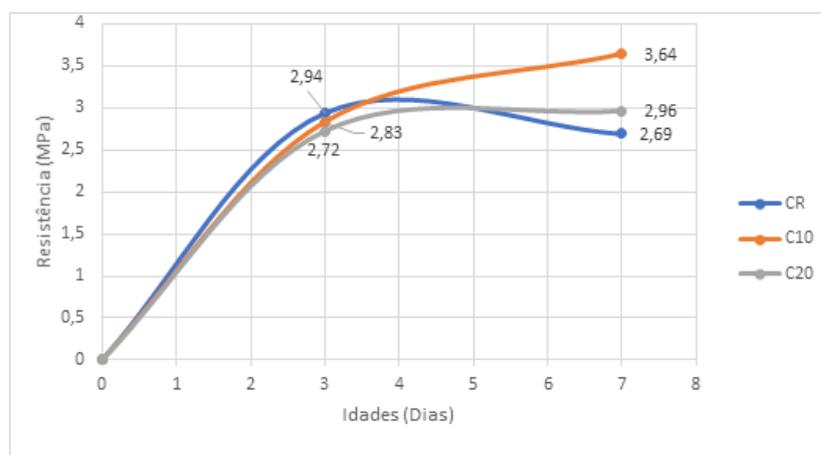


Figura 8 - Resistência à tração em cura térmica.
Fonte: Próprio Autor (2019).

De mesma forma, como mostrado na Figura 7, o mesmo comportamento é observado.

Na Figura 8, referente a cura térmica, pode ser observado que em apenas 3 dias CR obtém 2,94 MPa de resistência, acima dos valores de resistência à tração dos concretos com 10% e 20% de substituição.

Entretanto, aos 7 dias é observado uma sobreposição dos valores de resistência dos concretos com substituição, onde o CR se manteve estabilizado nos valores de resistência enquanto os concretos com substituição continuaram em progresso.

Ensaio no estado endurecido em cura térmica em relação aos em cura por imersão em temperatura ambiente

Seguem os resultados referentes aos ensaios de resistência à compressão e tração pelo método da compressão diametral aos corpos de prova em curas por imersão em temperatura alta temperatura e os em cura em temperatura ambiente, relacionando as idades de cura térmica com as idades de cura em temperatura ambiente.

Resistência à compressão

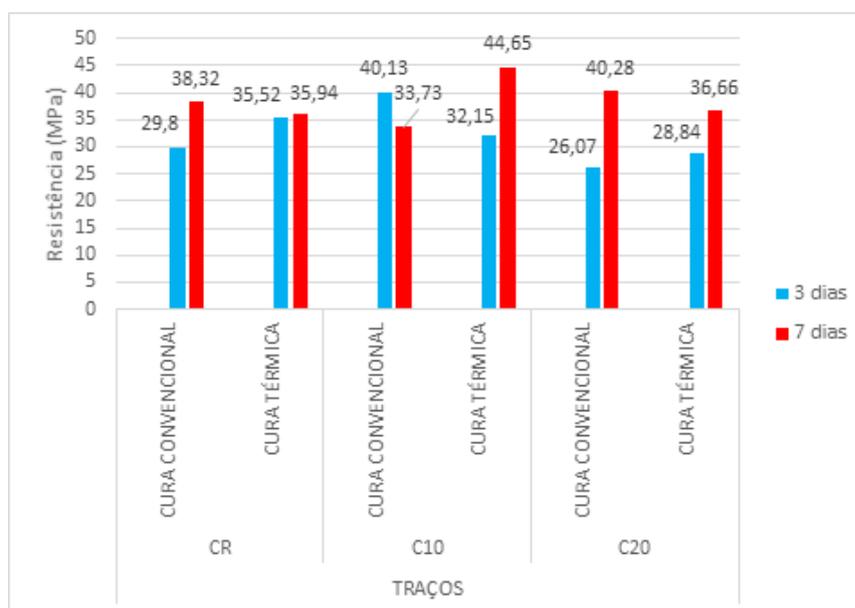


Figura 9 – Resistência à compressão.

Fonte: Próprio Autor (2019).

Em comparação geral:

- CR – Não é percebida a influência da cura térmica para a convencional na resistência à compressão em 7 dias, apenas havendo diferenciação na idade de 3 dias, em detrimento de um aumento de resistência nessa idade favorecendo a utilização do método de cura térmica neste caso;

- C10 – É constatado que a cura térmica em si influencia na idade de 7 dias, obtendo o maior valor de resistência entre todos os traços, favorecendo nesse caso a utilização da cura térmica;
- C20 – Nessa comparação houve em ambas as idades diferenciação de suas resistências, porém a cura convencional é a que obteve melhores resultados.

Resistência à tração

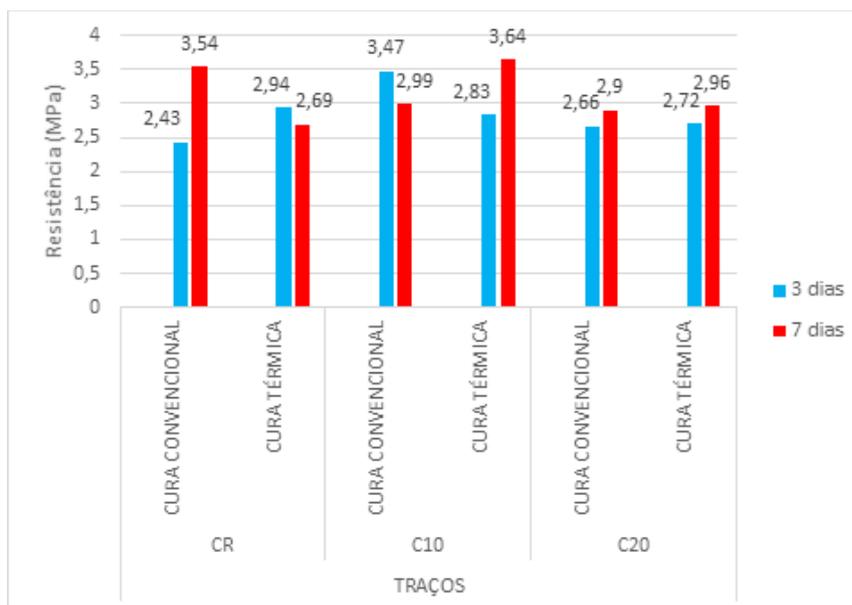


Figura 10 – Resistência à tração.

Fonte: Próprio Autor (2019).

Em comparação geral:

- CR – É percebido que a cura térmica não se mostra eficiente, podendo piorar os resultados de tração;
- C10 – Da mesma forma dos resultados obtidos de resistência à compressão, aos 7 dias se obtém melhores resultados de resistência em cura térmica;
- C20 – Nessa comparação não houve em ambas as idades diferenciação de suas resistências, não validando a utilização de cura térmica neste caso.

Nos resultados observados nas Figura 9 e Figura 10, é visto valores não tão distantes da cura térmica para os em temperatura ambiente, provando a viabilidade dessa aplicação.

Em análise final, os resultados de resistências, foram elevados em poucas idades, logo que, a escolha de CP V ARI que possui alta resistência nas primeiras idades e o excelente fator de empacotamento, que o CAA proporciona, valorizando sua resistência e durabilidade. Como Atkins (2012) afirma, os resultados de resistência dos concretos em cura térmica foram

atendidos em vista de como a energia calorífica no meio aumenta a interação dos átomos. Em vista disto, é proposto por Van Wylen, Borgnakke e Sonntag (2013), que em meios de temperatura elevada com o controle da pressão, a interação das partículas será maior, podendo acelerar mais as reações do material.

4. Conclusões

Fundamentando-se nos fatores de tempo responsáveis por eficiência da obra, pode se afirmar que há um favorecimento pela utilização de cura térmica para peças de pré-moldados à serem empregados em obra, logo que, em apenas 3 dias de moldagem pode-se alcançar valores consideráveis. Há uma necessidade maior de se abordar mais amplamente as dosagens de CBC no CAA, verificando mais parcialidades compatíveis com as necessidades de obra, como por exemplo, o C10, que em cura normal pode apresentar resistência à tração superior ao do concreto referência. Além da dosagem, deve-se melhorar o método de cura a ser empregado nesses corpos de prova, verificando a possibilidade de maior controle das velocidades de aumento e se estudar um meio de controle de resfriamento dos corpos de prova. Em geral, as vantagens comentadas neste trabalho foram atendidas, não houve há necessidade de maiores esforços para o adensamento deste material nos moldes.

A utilização de CBC se mostra importante em substituição por prover um método mais sustentável de descarte, de um material que quando não há descarte adequado, interfere na natureza.

É importante afirmar que o uso de concreto autoadensável nesta pesquisa em conjunto com o CBC e o método de cura térmico, favoreceram fatores de eficiência, economia e estética, ao se observar a falta de necessidade de emprego de maiores equipamentos para auxiliar a dosagem, com o autoadensamento favorecia o acabamento dos moldes de concreto, o CBC é um material descartado e doado das indústrias, havendo apenas gasto com o transporte da carga, e salientar que mesmo com o gasto energético necessário para a cura térmica, o tempo que se ganha ao utilizar este método é de extrema importância na construção civil.

Referências

ADITIBRAS (Duque de Caxias - RJ). ADI-SUPER: **Superplastificante do Tipo II**. 2019. Ficha técnica. Disponível em: <http://www.aditibras.com.br/uploads/fichas/FT---ADI-SUPER--REV01_13f4b.pdf>. Acesso em: 29 out. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND- **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7 ed. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 23. **Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR NM 26. **Agregados – Amostragem.** Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR NM 47. **Concreto – Determinação do teor de ar em concreto fresco – Método pressométrico.** Rio de Janeiro, 2002.

_____. NBR NM 45. **Agregado determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro, 2006.

_____. NBR NM 52. **Agregado miúdo – determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR NM 53. **Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR NM 56. **Concreto fresco – Determinação de massa específica, do rendimento e do teor de ar, pelo método gravimétrico.** Rio de Janeiro, 1996.

_____. NBR NM 248. **Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 5738. **Concreto – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto.** Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 5739. **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 5752. **Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias.** Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 7222. **Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 9062. **Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.** Rio de Janeiro, 2017.

_____. NBR 11579. **Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75 μ (n° 200).** Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR 12653. **Materiais pozolânicos - Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland - Índice de atividade pozolânica com cimento.** Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 13069. **Concreto projetado — Determinação dos tempos de pega em pasta de cimento Portland, com ou sem a utilização de aditivo acelerador de pega.** Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 15823. **Concreto auto adensável.** Rio de Janeiro, 2017.

_____. NBR 16606. **Cimento Portland — Determinação da pasta de consistência normal.** Rio de Janeiro, 2018.

_____.NBR 16697. **Cimento Portland — Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.

ATKINS, Peter William; JONES, Loretta. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

BARROS, Lucas Dionísio; SILVA, Lorena Araújo; NAHIME, Bacus de Oliveira; LIMA, Karen Lopes; SANTOS, Igor Soares. **Measurement and technological control of self-compacting concrete with partial replacement of Portland cement by ash from sugarcane bagasse**.XVIII BRAZILLIAN MATERIALS RESEARCH SOCIETY MEETING. Balneário Camboriú: Sbpmat, 2019.

Borloni, M.C.; Mendonça, J.L.C.C.; Pinatti, D.G.; Conte, R.A.; Vieira, C.M.F.; Monteiro, S.N. **Cerâmica com cinza de bagaço de cana de açúcar: avaliação da influência da cinza e de sua granulometria nas propriedades físicas e mecânicas – Anais do17º. CBECIMAT, 2033-2011, 2006**

CAMPOS NETO, Tiago Ferreira. **Efeitos da temperatura do concreto fresco na sua trabalhabilidade**. 2015. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

DEZEM, Vanessa. **Cement produces more pollution than all the trucks in the world**. 2019. Disponível em: <<https://economictimes.indiatimes.com/news/international/world-news/cement-produces-more-pollution-than-all-the-trucks-in-the-world/articleshow/69919005.cms>>. Acesso em: 14 out. 2019.

EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS (EFNARC). **Specification and Guidelies for Self-compacting Concrete**. In: EFNARC. London, fevereiro, 2002.

FAIRBAIRN, E. M. R.; PAULA, T. P.; CORDEIRO, G. C.; AMERICANO, B. B.; TOLÊDO-FILHO, R. D. (2012). Avaliação da substituição parcial de clínquer por cinza de bagaço de cana: redução de emissão de CO2 e potencial de créditos de carbono. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 5, p. 229–251.

JORNAL NACIONAL. **Reclamações contra imóveis novos aumentam mais de 40%**. Jornal Nacional, 2010. Disponível em: < <http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2010/11/reclamacoes-contrainmoveis-novos-aumentam-mais-de-40.html> >. Acesso em: 23 out. 2019

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto Microestrutura, Propriedade e Materiais**. 2ª Edição. Ed.: IBRACON.2014.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. Tecnologia do concreto. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PEDERIVA JUNIOR, P. F. **Comparação dos custos envolvidos na construção de pavilhões com estruturas pré-moldadas e moldadas in loco**. Trabalho de Conclusão (Graduação) Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2009. Disponível em: < <http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/2010/03/TCC-Paulo-Fernando-PederivaJ%C3%BAnior.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2019



REVISTA TÉCNICA. Artigo76078: **Solução Fluída**. Editora: Pini nº 132. São Paulo, 2008.

SU, N.; HSU, K.C.; CHAI, H.W. **A simple mix design method for self-compacting concrete**. In: Cement and Concrete Research, n. 31, p. 1799-1807, 2001.

TERZIAN, P. **Concreto: Ensino, pesquisa e realização** – Concreto para estruturas pré-fabricadas. V.2, ed. G. C. Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005. 1579p.

TUTIKIAN, B. F. **Proposição de um método de dosagem experimental para concretos auto adensáveis**. Dissertação de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

VAN WYLEN, Gordon John; SONNTAG, Richard Edwin; BORGNAKKE, C. **Fundamentos da termodinâmica clássica**. 8. ed. São Paulo: Blucher, 2013.