INSERÇÃO DE RESÍDUO DO VIDRO COMO AGREGADO RECICLADO EM COMPÓSITO DE PÓS SINÉRGICOS

JOÃO VICTOR DA CUNHA OLIVEIRA[1], FRANSKALE FABIAN DINIZ DE ANDRADE MEIRA[2], KENNEDY FLÁVIO MEIRA DE LUCENA[3], JOELSON SOUZA ISIDRO DOS SANTOS[4] e MIRIAM DE NORMANDO LIRA[5]

[1]Graduando de CST em Construção de Edifícios, IFPB, Campina Grande-PB, joaovictorwo@gmail.com;
[2]Dr. em Engenharia Civil, Prof. EBTT, IFPB, Campina Grande-PB, frankslale.meira@ifpb.edu.br;
[3]Dr. em Recursos Naturais, Prof. Titular, IFPB, Campina Grande-PB, kennedy.lucena@ifpb.edu.br;
[4]Estudante de Mineração, IFPB, Campina Grande-PB, joelsonisidro700@gmail.com;
[5]Graduanda de CST em Construção de Edifícios, IFPB, Campina Grande-PB, miriamnormando1@hotmail.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
Palmas/TO – Brasil
17 a 19 de setembro de 2019

RESUMO: A concepção de estudos de materiais ecoeficientes que envolvem concretos de ultra-alto desempenho, empregados em situações que demandem elevada durabilidade e resistividade mecânica, emerge potencialmente na busca por dirimir os impactos ambientais acarretados por subprodutos industriais. Objetiva-se diagnosticar o desempenho de concreto de pós sinérgicos a partir da incorporação do resíduo do vidro como agregado reciclado, comparando o uso das curas térmica e em temperatura ambiente, bem como do comportamento dos traços tratados termicamente possuindo microfibras de aço. As características físico-químicas da água de amassamento e o potencial pozolânico do resíduo também foram avaliados. Os resultados obtidos a partir o uso do agregado reciclado em 40%, apresenta desempenho satisfatório para a resistência à compressão utilizando cura por imersão em temperatura ambiente obtendo 163,80MPa aos 28 dias. A cura térmica reduz o poder resistivo do material aos 28 dias, com valores entre 108,84MPa e 116,00MPa mesmo adotando microfibras de aço. As propriedades da água salientaram adequada aplicabilidade diante do rigoroso controle tecnológico inerente ao tipo de concreto fabricado, da mesma forma que o resíduo não demonstra pozolanicidade de acordo com a NBR 5752/2014 por evidenciar índice de 45,72%, com mínimo de 75% estabelecido pela norma.
PALAVRAS-CHAVE: Concreto de ultra alto desempenho, resistência mecânica, resíduo do vidro.

GLASS WASTE INSERTION AS RECYCLED AGGREGATE IN SYNERGY POWDER COMPOSITE

ABSTRACT: The conception of studies of eco-efficient materials that involve ultra-high performance concrete, used in situations that demand high durability and mechanical resistivity, emerges potentially in the search for the to resolve environmental impacts caused by industrial by-products. The objective of this study was to diagnose the performance of synergistic powders concrete from the incorporation of the glass residue as a recycled aggregate, comparing the use of thermal cures and at room temperature, as well as the behavior of the thermally treated traces having steel microfibers. The physical-chemical characteristics of the kneading water and the pozzolanic potential of the residue were also evaluated. The results obtained from the use of the recycled aggregate in 40%, presented satisfactory performance for the compressive strength using curing by immersion at room temperature obtaining 163,80MPa at 28 days. The thermal curing reduces the resistive power of the material at 28 days, with values between 108,84MPa and 116,00MPa even adopting steel microfibers. The properties of the water showed adequate applicability in view of the strict technological control inherent in the type of concrete manufactured, in the same way that the residue does not show pozzolanicity according to NBR 5752/2014 because it shows an index of 45,72%, with a minimum of 75% established by the standard.
KEYWORDS: Ultra-high performance concrete, mechanical resistance, glass waste.

INTRODUÇÃO

O concreto de pós sinérgicos obedece aos aspectos gerais inerentes ao de pós reativos, diferenciando-se pela substituição do pó de quartzo, composto inerte, por uma segunda adição mineral, o metacaulim, em mesma distribuição granulométrica, produzindo um efeito sinérgico em conjunto com a microssílica a partir da liberação de hidróxido de cálcio (CH) mediante as reações de hidratação do cimento Portland. Acelera-se assim a produção de silicato de cálcio hidratado (C-S-H), mediante a pozolanicidade das adições incorporadas ao material (Sathawane et al., 2013).

Com distribuição granulométrica baseada em método teórico de empacotamento de partículas, a rede tortuosa de poros configurada através dos materiais inertes e produtos de hidratação da matriz cimentante, forma um esqueleto granular visivelmente isento de zona de transição (Tutikian et al., 2011), refinada mediante o uso de adições minerais e tratamento térmico para acelerar as reações de produção de hidratos, ganhando elevada resistividade mecânica nas primeiras horas após fabricado.

A problemática do descarte do resíduo do vidro em aterros sanitários fomenta ambientalmente o uso como matéria-prima complementar aos materiais de construção civil (Sauer, 2013), que em consonância com o avanço dos estudos realizados a partir da incorporação de resíduos sólidos no setor da construção civil, corrobora-se o uso do resíduo do vidro como agregado reciclado (Righi et al., 2012), pelo mesmo demonstrar na maioria dos casos, que os melhores resultados provêm da aplicação do mesmo na forma de pó, elevando as propriedades mecânicas da matriz cimentícia no qual esse resíduo está inserido (Jordoni, 2013).

Apesar da alta capacidade de carregamento que os concretos de ultra alto desempenho possuam, a habilidade de deformar-se uniformemente diante dos esforços recebidos é reduzida devido à alta resistência conferir fragilidade ao material quando endurecido (Alrekabi et al., 2017), e como alternativa para garantir a perfeita transmissão desses carregamentos, o uso equilibrado de microfibras de aço, em faixas de 1,5% até 3% de adição em volume, eleva a ductilidade e a tenacidade do elemento estrutural (Richard & Cheyrezy, 1995), produzindo um escoamento de cargas mais longo diante do módulo de Young e de sua configuração geométrica.

O tratamento térmico aplicado ao processo de fabricação de concretos de ultra alto desempenho possui a dupla função de obter resistências elevadas nas primeiras idades e produção rápida de peças estruturais pré-fabricadas, que confrontando com o processo de cura em temperatura ambiente, torna-se proficiente pela agilidade e redução de desperdícios no canteiro de obras. A qualidade da água torna-se outro fator preponderante na obtenção de resultados satisfatórios, atuando de forma decisiva na qualidade do concreto no estado endurecido.

Objetiva-se com este trabalho avaliar o comportamento mecânico do concreto fabricado a partir da inserção parcial do resíduo do vidro como agregado reciclado, utilizando dois tipos de procedimento de cura (cura ao ar e tratamento térmico), bem como a influência das microfibras de aço nas composições acometidas à cura acelerada. Fatores complementares como a composição físico-química da água e o índice de atividade pozolânico do resíduo do vidro foram avaliados para dar suporte na interpretação dos resultados.

MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliar o comportamento do material com uso do resíduo do vidro, a composição desenvolvida de forma empírica para o estudo encontra-se na Tabela 1, amparando-se no estudo de concreto de pós reativos realizado por Vanderlei (2004).

Tabela 1. Composição criada para análise de concreto de pós sinérgicos.

Cimento	Areia + Vidro	Microssílica	Metacaulim	Aditivo SP	Água (a/c)
1	1,050	0,110	0,060	0,080	0,202

O quantitativo de agregado reciclado incorporado ao traço foi de 40% em massa substituindo o agregado natural, ambos com mesma curva granulométrica e possuindo Diâmetro Máximo Característico (DMC) de 0,59mm, e Módulo de Finura (MF) de 1,468, adotando para os modelos fabricados, de dimensão 5x10cm, dois tipos de cura: em tanque saturado de cal hidratada à temperatura ambiente, e tratamento térmico, com auxílio de béqueres em estufa com circulação de ar forçada, com tempo de pré-cura térmica de 28 horas e tempo total de cura térmica de 40 horas, com isoterma por 36 horas à 60°C (±1 hora) + rampagem de aquecimento de 4 horas.

As microfibras de aço usadas nos traços que receberam a cura térmica adotada nesse estudo são de fabricante Dramix® da família 3D com comprimento de 30mm, diâmetro de 0,62mm, fator de forma (l/d) 45 e módulo de Young de ± 210.000MPa, adicionadas em percentuais de 1%, 2% e 2,5%, sendo destinados ao tanque de imersão ao final do tempo de isoterma de 36 horas.

Utilizou-se na fabricação argamassadeira planetária, água de amassamento com temperatura entre 1 e 3°C, e método de adensamento da pasta através de vibrador de imersão portátil em três camadas, cada uma recebendo vibração por 30 segundos. Os testes de resistência à compressão axial foram realizados nas idades de 7, 14 e 28 dias, comparando os tipos de cura adotados e a performance das microfibras de aço nos traços tratados termicamente.

A água empregada na fabricação das amostras foi obtida da rede de abastecimento público de água da cidade de Campina Grande-PB. Na Tabela 3 tem-se os parâmetros avaliados. O índice de atividade pozolânico (IAP), parâmetro que mensura a capacidade do resíduo de reagir com o hidróxido de cálcio (CH) para produzir silicato de cálcio hidratado (C-S-H), foi avaliado conforme a NBR 5752/2014.

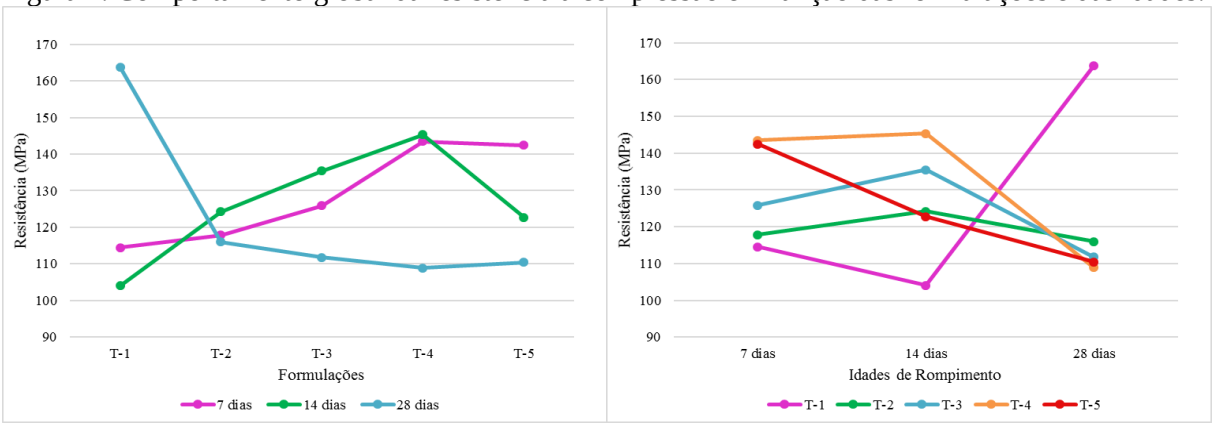
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliando o comportamento dos moldes diante do tipo de cura recebido e do percentual de microfibras de aço adotadas, observa-se na Tabela 2 os resultados alcançados para as cinco formulações idealizadas. A Figura 1 apresenta o desempenho global avaliado, tanto de acordo com a idade, quanto de acordo com a formulação fabricada.

Tabela 2. Valores de resistência à compressão axial obtidos para o compósito de pós sinérgicos.

Formulações	**Idades**		
	7 dias	**14 dias**	**28 dias**
T-1: Cura Ambiente	114,48 MPa	104,06 MPa	163,80 MPa
T-2: Cura Térmica	117,85 MPa	124,23 MPa	116,00 MPa
T-3: Cura Térmica + 1%	125,86 MPa	135,44 MPa	111,72 MPa
T-4: Cura Térmica + 2%	143,50 MPa	145,33 MPa	108,84 MPa
T-5: Cura Térmica + 2,5%	142,43 MPa	122,73 MPa	110,43 MPa

Figura 1. Comportamento global da resistência à compressão em função das formulações e das idades.



Nota-se que de forma geral, os traços que receberam tratamento térmico possuíram redução da resistência conforme o avanço da idade, com o traço isento de tratamento possuindo aumento considerável aos 28 dias. O traço T-1 superou em 29,18% o T-2, o melhor dentre as composições que recebeu cura térmica. As formulações T-3, T-4 e T-5 que receberam as microfibras em sua composição conseguiram superar marca do T-2, de forma crescente em função do aumento da quantidade das mesmas, para 7 e 14 dias, com queda aos 28 dias. O T-1 obteve a maior resistência final, que comparado ao valor de 190,70MPa atingido por Vanderlei (2004), o valor de 163,80MPa, apesar de inferior em 14,11%, torna-se admissível por adotar 40% de agregado reciclado e cura em temperatura ambiente, premissas ecoeficientes não utilizadas pelo autor.

Como o agregado natural é de origem cerâmica e cristalina, e o vidro além de deter estrutura amorfa possui uma morfologia dos grãos desigual, o empacotamento da mistura é desconfigurado

parcialmente e confere-se ao concreto o aspecto marcadamente frágil. Tutikian et al. (2011) enfatizam a fundamental atuação das forças de Van der Walls, que responsáveis pela criação de mecanismos em rede que transferem os carregamentos de forma uniforme por todo o corpo de prova decorrente da alta superfície específica dos grãos e do perfeito empacotamento granulométrico.

A alta densidade do material contribuiu para que, no momento do tratamento térmico das formulações T-2, T-3, T-4 e T-5, ocorresse um possível tensionamento interno devido ao confinamento das partículas de água que entraram em ebulição, expandido o material ao ponto de criar fissuras de ordem nanométrica, que em comparação com o T-1, observa-se o efeito benéfico da cura em temperatura ambiente por respeitar-se a criação de fases hidratadas que acompanham o processo de cura natural com o preenchimento dos vazios deixados pela água por gel coloidal predominante de C-S-H + CH, resultando em uma melhor habilidade resistiva e ascendente aos 28 dias em comparação com os traços tratados termicamente.

Outro ponto é a capacidade do resíduo do vidro de promover com que se ocorra reação álcali-sílica no interior da pasta, fator inerente a natureza do material pelo tamanho da maioria dos grãos de agregado serem superiores à 75µm, e essa reação derivada da incompatibilidade química com o cimento, cria no interior do concreto um gel expansivo que envolve o grão de agregado, provocando esforços internos que deterioram o arranjo empacotado das partículas (Santos, 2016). Isso reduz substancialmente a aderência na interface pasta de cimento/agregado, interferindo na rede tortuosa de poros, anteriormente refinada mediante cura térmica, e não propiciando com que exista uma perfeita ancoragem das microfibras de aço.

Com base na NBR 15900-1/2009, observa-se que os valores alcançados nos ensaios físico-químicos com a água utilizada não superaram, em nenhum parâmetro, os Valores Máximos Permitidos (VMP) (Tabela 3).

Tabela 3. Padrão físico-química da água do abastecimento público da cidade de Campina Grande-PB.

Parâmetros Analisados	**Água Potável**	**VMP**
Potencial Hidrogeniônico	7,19	≥ 5
Condutividade Elétrica (µS/cm)	636,0	
STD (ppm à 25°C)	313,0	
Alcalinidade (mg/L)	2,15	1500
Cloretos (mg/L)	16,72	500
Dureza Total (mg/L $CaCO_3$)	188,25	
Dureza de Cálcio (mg/L)	93,2	
Dureza de Magnésio (mg/L)	95,05	

O potencial hidrogeniônico enquadrou-se dentro do limite mínimo permitido pela norma, com valor superior em 43,8%, todavia, se o aumento for demasiadamente elevado potencia-se o fenômeno da corrosão em estruturas de concreto armado ou que adotem elementos metálicos em sua composição como as microfibras de aço, podendo interferir, inclusive, na produção da película γ-Fe_2O_3 que protege o elemento metálico (armadura e/ou microfibras) logo após o processo de concretagem, que o passiva e aumenta a durabilidade do mesmo. A alcalinidade mensurada denotou resultado extremamente baixo em relação ao máximo estabelecido pela NBR 15900-1/2009, e pela pouca existência de substâncias que neutralizam agentes ácidos, a correção do pH em casos que sejam necessários será mais dificultosa, todavia a variável permanece dentro do limite estabelecido pela normativa. O valor observado do teor de cloretos apresentou, da mesma forma, valor muito inferior ao valor máximo permitido pela norma. Para concreto protendido ou graute o limite máximo é de 500 mg/L, ao qual o concreto de pós sinérgicos se enquadra pelas características reológicas serem similares, bem como por ser um produto de granulometria diferenciada e dotada de aditivos químicos para melhoramento dessas propriedades, além do uso específico de microfibras de aço quando necessário.

Para a condutividade elétrica, o valor bastante elevado de 636 µS/cm^2 é característico da região no qual se encontra o reservatório que abastece a cidade de Campina Grande-PB, que em razão da geologia local, atesta enorme facilidade em conduzir eletricidade pela grande presença de sólidos dissolvidos em água. Além disso, para Morais (2008) apud Menezes et al. (2017) valores que superam a marca de 100 µS/cm^2 indicam que a água provém de ambiente impactado por intermédio de atividades antrópicas. Classificando a água perante a dureza total, ela enquadra-se como dura, e

vislumbrando as durezas de cálcio e magnésio, ambas estão incluídas dentro da margem de dureza média (Menezes et al., 2017), e conforme Costa (2018), as durezas atendem ao requisito normativo n° 5 de 2017, do Ministério da Saúde, por estar abaixo do limite de 500 mg/L de $CaCO_3$.

A partir da averiguação do potencial do resíduo em produzir C-S-H de baixa densidade, na presença de CH liberado pelo cimento Portland nas reações de hidratação, notou-se que a substituição de 25% do cimento por resíduo do vidro estipulada pela normativa não agrega pozolanicidade aos 28 dias de idade por não superar o índice mínimo de 75% da NBR 5752/2014, alcançando apenas 45,72%, podendo-se atestar que o resíduo não interfere na relação sinérgica do metacaulim + microssílica na produção de silicato de cálcio hidratado.

CONCLUSÃO

Conclui-se que o concreto de ultra alto desempenho fabricado com uso parcial de resíduo do vidro como agregado apresenta resultados satisfatórios, onde a cura em temperatura ambiente garante maior poder resistivo à compressão axial, com aumento de 30% frente ao processo de cura acelerada, preconizando uma economia energética em não ser necessário o uso de tratamento térmico, mesmo usando-se microfibras de aço para reduzir a fragilidade conferida ao material quando endurecido. A qualidade da água encontra-se adequada para uso, salvos os casos onde o emprego de água potável na fabricação do concreto seja inevitável. O IAP do resíduo do vidro adequa-se à sua aplicação como agregado na mistura por não requerer reatividade na presença de hidróxido de cálcio.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela concessão da bolsa, na modalidade PIBITI, ao primeiro autor. Ao IFPB – Campus Campina Grande pelo amparo laboratorial. Às empresas: Elizabeth Cimentos, BASF S.A., Belgo Bekaert & ArcellorMittal, Maia Macedo, e Tecnosil pelas doações das matérias-primas.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15900-1 – Água para amassamento do concreto – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5752 – Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014.

Alrekabi, T. Kh.; Cunha, V. M. C. F.; Barros, J. A. O. Reactive powder concrete reinforced with steel fibres exposed to high temperatures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v.246, 2017.

Costa, A. S. Avaliação da qualidade da água de poços artesianos no município de Magalhães de Almeida - MA. São Bernardo: UFMA, 2018. 35 f. Monografia (Graduação em Ciências Naturais).

Jordoni, L. S. Estudo da aplicação de resíduo de vidro laminado na produção de concretos. Vitória: UFES, 2013. 142f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).

Menezes, W. M. de S.; Bandeira, P. L.; Araújo, N. S. de; Silva Filho, E. D. da. Análise físico-química de água de um poço amazonas situado na zona rural do município de Itambé-PE. In: Encontro Internacional de Jovens Investigadores, 2017. Fortaleza. Anais... Fortaleza, 2017.

Richard, P.; Cheyrezy, M. Composition of reactive powder concretes. Cement and Concrete Research, v.25, n.7, p.1501-1511, 1995.

Righi, D.; Köhler, L.; Tabarelli, A.; Kirchhof, L.; Lima, R. Análise de concretos produzidos com vidro moído quando submetidos à elevadas temperaturas. In: Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural, 2012. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 2012.

Santos, D. P. Influência do resíduo de vidro nas propriedades de uma argamassa colante. Campos dos Goytacazes: UENF, 2016. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).

Sathawane, S. H.; Vairagade, V. S.; Kene, K. S. Combine Effect of Rice Husk Ash and Fly Ash on Concrete by 30% Cement Replacement. Procedia Engineering, v.51, p.35-44, 2013.

Sauer, A. S. Estudo do potencial de aplicação do resíduo de vidro laminado em argamassas de recuperação estrutural. Vitória: UFES, 2013. 180f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).

Tutikian, B. F.; Isaia, G. C.; Helene, P. Concreto de alto e ultra-alto desempenho. In: Isaia, G. C. Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011. Cap.36, p.1238-1325.

Vanderlei, R. D. Análise experimental do concreto de pós reativos: dosagem e propriedades mecânicas. São Carlos: USP, 2004. 168f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas).