

CONCRETO RESFRIADO PRODUZIDO COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO PARA USO EM BLOCOS DE FUNDAÇÃO¹

Izabela Queiroz Mathias – mathiasizabela@gmail.com

Rafaella Sickert Amparado – rafa_sickert@hotmail.com

Taciana Felipe Gonçalves – taciig25@gmail.com

Prof^a. Dr^a. Roberta Nunes Attili Franzin (Orientador) – roberta.franzin@mackenzie.br

RESUMO

O presente trabalho visa avaliar as propriedades físicas e mecânicas de concreto resfriado produzido com resíduos de construção civil (RCC), para uso em blocos de fundação. Neste tipo de concreto manifestações patológicas indesejadas, em razão das altas temperaturas do concreto durante a cura, são recorrentes, razão pela qual se utiliza concreto resfriado. Foram desenvolvidos seis traços de concreto, sendo dois para controle (um não refrigerado e outro refrigerado, sem adição de RCC) e quatro (2 não refrigerados e 2 refrigerados) com a adição de 20% e 30% de RCC. O resíduo utilizado é um resíduo de concreto Classe A, à base de cimento Portland. Foram realizados ensaios de caracterização dos agregados e de controle tecnológico dos diferentes traços de concreto nos estados fresco e endurecido. Como esperado, o agregado reciclado utilizado na substituição do agregado artificial apresentou maior teor de absorção de água e menor massa específica que o artificial. Todos os traços, inclusive o de referência não apresentaram bons resultados para a consistência, indicando que um estudo de dosagem e modificação da relação água/cimento precisam ser realizados. Os resultados da absorção de água no estado endurecido foram inferiores à 2,76%, com os melhores resultados para os traços refrigerados com RCC. Com relação à resistência média à compressão, os resultados obtidos aos 28 dias de idade foram superiores a 20 MPa, inclusive os traços com a adição de 30% de RCC, o que indica que tal substituição atende às exigências de resistência de concreto estrutural para blocos de fundação.

Palavras-chave: Concreto Resfriado. Resíduos da Construção Civil. Sustentabilidade.

COOLED CONCRETE PRODUCED WITH CONSTRUCTION WASTE FOR USE IN FOUNDATION BLOCKS

ABSTRACT

The present work aims to evaluate the physical and mechanical properties of cooled concrete produced with civil construction and demolition waste (CDW), for use in foundation blocks. In this

¹ Artigo do Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Civil, EE, UPM, São Paulo, 2022.

type of concrete, undesirable pathological manifestations, due to the high temperatures of the concrete during curing, are recurrent, reason why cooled concrete is used. Six concrete mixes were developed, two for control (one cooled and another not cooled, without CDW) and four (2 not refrigerated and 2 refrigerated) with the addition of 20% and 30% of CDW. The residue used is a Class A concrete residue, based on Portland cement. Tests were carried out to characterize the aggregates and technological control of the different concrete mixes in the fresh and hardened states. As expected, the recycled aggregate used to replace the artificial aggregate had a higher water absorption content and lower specific mass than the artificial one. All mixes, including the reference one, did not show good results for consistency, indicating that a study of dosage and modification of the water/cement ratio needs to be carried out. The water absorption results in the hardened state were less than 2.76%, with the best results for the CDW cooled mixes. Regarding the average compressive strength, the results obtained at 28 days of age were higher than 20 MPa, including the traces with the addition of 30% of CDW, which indicates that such replacement meets the strength requirements of structural concrete for foundation blocks.

Keywords: Refrigerated Concrete. Construction and Demolition Waste. Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil vem crescendo mais a cada ano, e as dimensões das estruturas crescem paralelamente. Sendo necessário, em alguns casos, projetar e produzir peças com um grande volume de concreto, situação que exige a adoção de algumas medidas importantes, a fim de evitar problemas futuros como manifestações patológicas indesejadas.

Quando a dimensão da peça de concreto a ser construída ultrapassa um tamanho considerado usual, o concreto deixa de ser considerado convencional e passa a ser definido como um concreto massa. De acordo com o *American Concrete Institut* (2005, apud COELHO, 2012, p. 1) “[...] o concreto massa é definido como um grande volume de concreto que apresenta dimensões grandes o suficiente para que algumas medidas sejam tomadas para reduzir a temperatura interna dessa estrutura”. E cuidados para evitar a aparição de fissuras e trincas futuras são imprescindíveis.

Assim, para evitar algum tipo de patologia e controlar o calor gerado pela hidratação do cimento, é possível utilizar o concreto resfriado. Nesse tipo de concreto, a água pode ser substituída parcialmente ou totalmente por gelo, água gelada ou nitrogênio líquido, sendo possível, também, trabalhar com o agregado resfriado.

Além disso, como o concreto é a base da maioria das construções, o impacto ambiental gerado pela indústria do cimento e pela exploração mineral para a obtenção dos agregados para sua composição, é significativo.

O setor também é responsável pela geração de grandes volumes de resíduos, além do mal aproveitamento da matéria-prima natural. No país, de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) (2020) foram gerados, em 2019, 44,5 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD), e o emprego desse resíduo como um agregado reciclado, ainda é um entrave técnico e cultural.

Segundo Carrijo (2005, p. 17),

Ao contrário do volume crescente dos resíduos de construção e demolição (RCD), as jazidas de agregados naturais para concreto estão se tornando mais escassas, fazendo com que se busque este material em lugares cada vez mais distantes, aumentando seus custos de produção, transporte e comercialização, conseqüentemente refletindo no custo total da obra.

Assim, considerando que a construção civil demanda práticas mais sustentáveis, tanto do ponto de vista ambiental, quanto econômico, a possibilidade de uso de resíduos de construção civil (RCC) na produção de concretos de grandes massas poderia contribuir com a sustentabilidade do setor, uma vez que, promoveria a reciclagem de resíduos gerados para uso como agregados na própria indústria da construção civil, evitando a exploração das reservas naturais e incentivando a economia circular.

O reuso de resíduos é algo conhecido no mercado, mas, trabalhar com isso é algo que visa novos meios de construção e caminhos a serem seguidos para as novas e antigas construtoras que queiram crescer no ramo. Sustentabilidade, hoje, é necessária para todo e qualquer novo negócio.

Considerando a atualização da norma ABNT NBR 15116 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021) que permite a utilização de RCC para fins estruturais, e levando em conta que para a produção de blocos de fundação são necessários grandes volumes de concreto e, conseqüentemente, grande volume de agregado, a possibilidade de uso de agregado reciclado é de grande interesse do setor.

Nesse contexto, este estudo visa contribuir com informações que possam verificar a viabilidade da aplicação deste tipo de concreto na produção de blocos de fundação, de forma que apresentem desempenho físico e mecânico de acordo com as normas estabelecidas pelas entidades competentes, sendo o objetivo deste trabalho analisar as propriedades físicas e mecânicas do concreto resfriado, produzido com RCC para fins de produção de blocos de fundação, bem como a viabilidade técnica de seu uso. Para isso, o concreto deve obter uma resistência à compressão satisfatória (mínimo de 20 MPa), trabalhabilidade e temperatura adequados, considerando a classe de agressividade em ambientes urbanos, como define a norma ABNT NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

2 REVISÃO DA LITERATURA

Sendo um dos setores mais importantes de um país, a construção civil é uma grande geradora de empregos, sendo responsável pelo crescimento do setor econômico e desenvolvimento social. Entretanto, acaba por gerar muitos resíduos, o que acaba por prejudicar o meio ambiente, causando assim, grandes impactos ambientais. Logo, a questão dos Resíduos Sólidos da Construção Civil (RCC) se torna algo preocupante, visto que tais materiais não tem na maioria das vezes um destino adequado, necessitando assim que o setor deixe de ser poluente, para se tornar um setor mais sustentável.

Sancionada em agosto de 2010 e regulamentada em 23 de dezembro do mesmo ano, pelo decreto número 7.204/2010. A lei número 12.305 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). Essa lei foi criada para se ter uma gestão adequada dos resíduos gerados por diferentes setores e para se determinar as responsabilidades, desde o poder público até os geradores.

A norma ABNT NBR 10.004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004) apresenta uma classificação geral sobre resíduos sólidos e semissólidos, de acordo com a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2002) que define

Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

A realização da correta gestão dos resíduos de construção civil, assim como o aprimoramento de técnicas para seu reaproveitamento, contribui para a preservação ambiental e para ações sustentáveis com reflexos positivos para a sociedade.

Sendo o concreto a base da maioria das construções, devido a sua alta resistência e grande durabilidade, é um material que causa um impacto ambiental grande, gerado pela indústria do cimento e pela exploração mineral para a obtenção dos agregados para sua composição.

Para a execução de peças de grandes dimensões, é adequado que seja adotado um concreto que tenha um cimento com baixo calor de hidratação e cimentos com adições. Em função dos grandes volumes de concreto necessários à execução dessas peças, esse concreto é denominado concreto massa, o qual carece de certa atenção quando lançado à concretagem, pelo fato de seu interior ter a temperatura elevada consideravelmente, o que ocasiona o aparecimento de futuras manifestações patológicas, podendo revelar-se brevemente após o término do período de cura ou demorar anos, e até décadas.

Um dos mecanismos de ocorrência de fissuração é a retração térmica do concreto no estado fresco, onde nas primeiras horas de hidratação do cimento há intensa liberação de calor e conseqüentemente, ocorre a dilatação da estrutura. Conforme o concreto resfria gradualmente, surge um gradiente de temperatura entre o interior da estrutura, de maior temperatura e as camadas mais externas (perdem calor para o ambiente), de menor temperatura, gerando-se tensões de tração internas causadas pela restrição de movimento, que podem provocar fissuras ao longo da estrutura (LEONHARDT, 1987; NEVILLE; BROOKS, 2013).

Segundo Gambale (2017, p. 21) “As fissuras podem reduzir a capacidade de resistência da peça estrutural afetada e, ainda, tendem a diminuir a durabilidade do concreto, já que permitem a entrada de agentes agressivos com mais rapidez e facilidade.”. Seria muito improvável prever as fissuras ou trincas que podem se manifestar no concreto, tanto as ocorridas nas primeiras idades, quanto as que se apresentam depois de anos, como a etringita tardia, visto que as combinações de possibilidades de avarias dos fenômenos químicos, térmicos e mecânicos são imensas.

Assim, como afirma Coelho (2012, p. 1), há alguns recursos e técnicas para evitar essas avarias, dentre elas pode ser utilizado o concreto compactado com rolo (CCR), ou o lançamento do concreto feito em camadas, ou ainda, sendo este o foco deste trabalho, o uso de concreto resfriado.

Com o intuito de utilizá-lo para diminuir a temperatura em lugares críticos de peças com um alto volume de cimento, o concreto resfriado pode ser aplicado substituindo (parcial ou totalmente) a água que faz parte do traço adotado, pela adição de gelo, adição de água gelada, de agregados resfriados, ou ainda, o resfriamento com nitrogênio líquido. Ele ajuda a reduzir a temperatura de lançamento e redução das tensões térmicas, com a diminuição do calor de hidratação que acontece nas primeiras horas após a concretagem.

A técnica do resfriamento do concreto já tem sido aplicada e utilizada em grandes obras como na construção de elementos estruturais. Para uma aplicação de sucesso deste método construtivo, é necessária também uma logística bem aplicada para que atrasos ou falhas não sejam cometidos. Oliveira (2017, p.33) aborda sobre as condições climáticas, que têm o poder de interferir no dia do processo por meio da evaporação, fazendo necessário o acompanhamento especial da temperatura, fabricação e execução da concretagem.

De acordo com a ABNT NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), os blocos auxiliam a transferência de cargas da fundação para as estacas e tubulões, podendo os blocos ser rígidos ou flexíveis. Sendo assim, o objetivo principal desse componente construtivo é sustentar e espalhar para o solo a carga gerada.

Blocos de fundação são utilizados apoiados sobre uma ou duas estacas, quando são aplicados em obras de pequeno porte como casas ou galpões, já que a carga resultante do pilar é de baixa intensidade. Podendo também ser empregados quando essas solicitações são robustas, lidando assim

com no mínimo três estacas, ou, além das estacas os blocos se escoram ainda em tubulões. Conforme explicado por Carvalho (2018, p. 25) a diferença entre estacas e tubulões está na maneira de transferência de carga ao terreno, o qual o primeiro é realizado via lateral, e o segundo principalmente através da base.

Conforme apresentado por Oliveira (2017), foi realizada uma pesquisa comparando a utilização do concreto resfriado com o concreto convencional, os quais tiveram suas temperaturas comparadas em intervalos de tempo durante os primeiros dias após o lançamento, com horário de medições distinto. Como resultado, nos dois primeiros dias, apesar do pico de temperatura de ambos terem se aproximado, a mistura com presença do gelo ainda se manteve abaixo da mistura convencional em todas as medições. Após cinco dias de concretagem essa diferença era quase nula, e nos dias subsequentes a variação que existia podia estar relacionada com o clima.

Ainda observado por Oliveira (2017), foi possível perceber a diferença das temperaturas entre o meio da peça, o qual possuía medidas consideravelmente maiores, e suas extremidades, onde tinham maior contato com o ambiente e por isso dissipavam mais calor. Portanto o autor chegou à conclusão de que o concreto resfriado realmente possui vantagens térmicas quando relacionado ao concreto convencional.

Em um estudo apresentado por Nogueira (2013), cujo objetivo era reutilizar o RCC em substituição aos agregados, obteve-se como resultado que o concreto com os agregados reciclados atingia valores consideráveis. Podendo assim, ser considerado na fabricação de concreto estrutural, quando se diz respeito às suas propriedades mecânicas.

Este trabalho propõe realizar a pesquisa sobre o comportamento do concreto resfriado com a utilização do RCC. Porém não foram encontrados estudos com o uso de resfriamento em concreto com agregado de RCC, sendo assim não se conhece como os materiais que compõe o concreto resfriado se comportam com o agregado oriundo de resíduo de construção civil. O que reflete na necessidade de realizar mais estudos e pesquisas sobre o assunto, visando a utilização dos concretos com RCC para fins estruturais, desde que atendam as devidas propriedades.

Entende-se que, a forma com que os materiais que compõe o concreto massa se relacionam e a forma com que os grãos de cimento se aglomeram no agregado podem modificar a cinética da sua reação de hidratação, sendo necessário avaliar se os agregados originários de resíduos de construção civil de peças de pré-moldados podem ser fator determinante na liberação do calor e possíveis fissurações.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foi efetuada uma pesquisa experimental, onde foram analisadas as propriedades físicas dos agregados e as propriedades físicas e mecânicas do concreto resfriado sem e com RCC.

Buscou-se um traço comercial de referência que atendesse às características de um concreto massa. Para a composição dos traços foi utilizado o cimento CPIII-32, por ser um cimento com baixo calor de hidratação, maior impermeabilidade e durabilidade, areia fina como agregado miúdo e brita 0 como agregado graúdo (artificial e reciclado).

O traço de referência foi dosado conforme a relação 1:2,75:2,68:0,632. Em três dos traços definidos, foram substituídos 80% da água de mistura por gelo em cubos e, em quatro dos traços, o agregado graúdo artificial (brita 0) foi substituído por agregado graúdo reciclado (RCC), em diferentes teores, conforme mostrado na Tabela 1. Na respectiva tabela, também estão indicadas as quantidades de material, em massa, e o consumo de cimento para cada traço.

Tabela 1 – Traços de concreto.

Tipo de concreto	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	RCC (kg)	Água (kg)	Gelo (kg)	Consumo de cimento (kg/m³)
Traço 1 (referência)	6,00	16,5	16,08	-	3,78	-	335,00
Traço 2 (natural e 80% gelo)	6,00	16,5	16,08	-	0,75	3,03	333,12
Traço 3 (20% RCC)	6,00	16,5	12,86	3,22	3,78	-	333,12
Traço 4 (30% RCC)	6,00	16,5	11,24	4,84	3,78	-	333,12
Traço 5 (20% RCC e 80% gelo)	6,00	16,5	12,86	3,22	0,75	3,03	330,30
Traço 6 (30% RCC e 80% gelo)	6,00	16,5	11,24	4,84	0,75	3,03	327,49

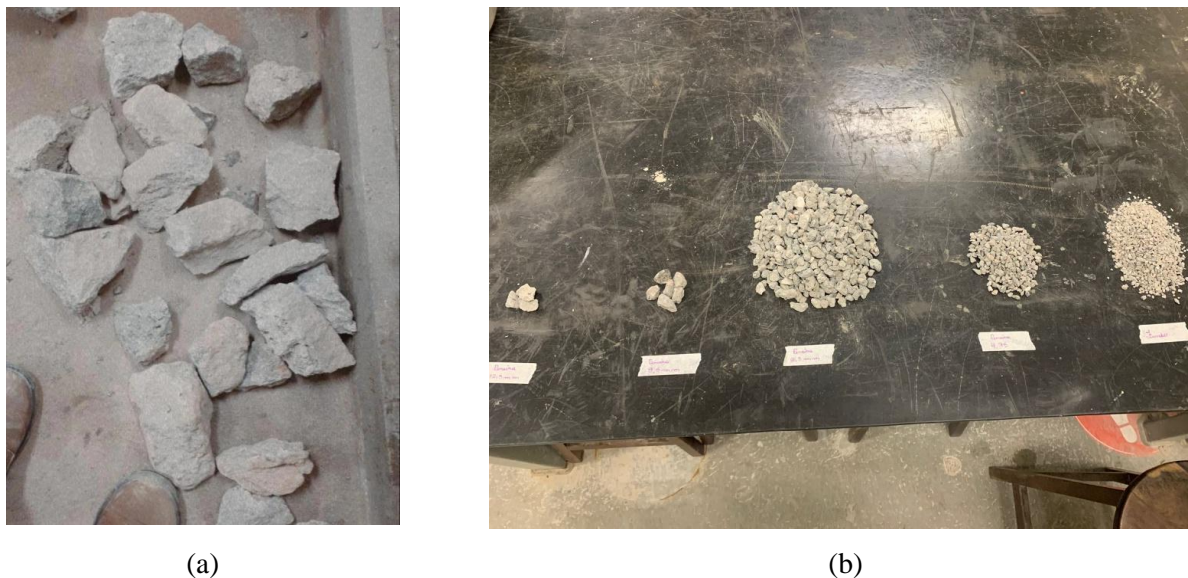
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Com relação ao consumo de cimento, de acordo com Barboza (2016), sua diminuição colabora não só com a sustentabilidade, mas também favorece a peça concretada com um menor calor de hidratação, diminuindo a retração e a fissuração. Os valores mostrados na Tabela 1 estão em concordância com a norma ABNT NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022), considerando a classe de agressividade em ambientes urbanos (Classe II) que indica que o consumo mínimo de cimento deve ser maior que 280 kg/m³.

O resíduo de construção civil utilizado nesta pesquisa é proveniente de pré-moldados de concreto e foi doado pela empresa Leonardi Construção Industrializada. Este resíduo é definido como Classe A – tipo C, e classificado como reutilizável ou reciclável como agregado, por ser um resíduo proveniente do processo de fabricação ou demolição de peças pré-moldadas em concreto, de acordo com a norma ABNT NBR 15113 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004) e, em conformidade com a Resolução nº 307 do CONAMA (BRASIL, 2002).

O resíduo foi disponibilizado em forma de pedregulho (Figura 1a), prensado para fins de redução de tamanho e, em seguida, triturado em um britador para se obter a brita 0. Após a britagem, o material que se torna um agregado artificial, foi lavado e seco para uso na produção dos traços (Figura 1b).

Figura 1 – (a) Pedregulho de resíduo de construção civil de pré-moldado; (b) RCC pós britagem e lavagem.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Para todos os agregados foram realizados ensaios de granulometria e massa específica, enquanto, somente para os agregados graúdos foram realizados também ensaios de absorção de água.

Os ensaios de granulometria foram realizados por meio de sedimentação e peneiramento, de acordo com a norma ABNT NBR NM 248 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

A massa específica do agregado miúdo foi determinada pelo método do frasco de Chapman e normatizada pela ABNT NBR NM 52 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003). Para o agregado graúdo foi utilizado os métodos descritos na norma ABNT NBR NM 53 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006), tanto para a determinação da massa específica, quanto para a medida do teor de absorção de água.

Para o concreto em seu estado fresco foi realizado o ensaio de trabalhabilidade, determinação da massa específica e aferida a temperatura durante mistura e moldagem, com a utilização de um termômetro digital tipo espeto.

A trabalhabilidade do concreto, determinada em seu estado fresco, indica a facilidade com que esse concreto pode ser misturado e manuseado, e a homogeneidade. O ensaio adotado para determinar a trabalhabilidade do concreto foi o ensaio de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (*slump test*) que segue a norma ABNT NBR 16889 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020).

A avaliação da massa específica do concreto no estado fresco é um fator determinante para garantir uma satisfatória execução da peça a ser concretada e foi realizada pelo método gravimétrico, normatizado pela ABNT NBR 9833 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009).

Para cada traço de concreto foram moldados 8 corpos de prova cilíndricos conforme a ABNT NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016).

No estado endurecido foram realizados ensaios de resistência à compressão, ultrassom e absorção de água.

Para os ensaios de resistência à compressão, nas idades de 7,14 e 28 dias foi utilizada uma prensa hidráulica com acionamento manual da marca AMSLER, que possui capacidade máxima de 60 toneladas, seguindo a norma ABNT NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018).

O ensaio de propagação de ondas ultrassônicas foi realizado para todos os corpos de prova na idade 28 dias conforme a norma ABNT NBR 8802 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019). Foi utilizado o equipamento Ultrasonic Pulse Velocity – Pundit Lab do fabricante Proceq, constituído por dois transdutores, sendo cada um posicionado em uma das faces dos corpos de prova cilíndricos, onde foram aplicados pulsos ultrassônicos (transmissão direta), para a determinação da velocidade de propagação das ondas no material.

Já os ensaios de absorção de água por imersão para os corpos de prova na idade de 28 dias foram realizados de acordo com as diretrizes da norma ABNT NBR 9778 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados, a seguir, os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados para os agregados naturais, artificiais e reciclados. Assim como os resultados de ensaios feitos com o concreto em seu estado fresco e endurecido.

Para a produção dos traços, foi utilizado como substituto do agregado graúdo artificial, um material reciclado que pode ser considerado como nobre, visto que sua origem é de pré-moldados. De acordo com o estudo de Buttler (2007), não se deve utilizar agregado miúdo reciclado, ainda que de boa qualidade, já que seu uso interfere consideravelmente na resistência da peça e, em determinados casos, é possível causar até mesmo o aparecimento de fissuras e prejuízo na textura.

Em vista disso, foram definidas as substituições de apenas 20% e 30 % do agregado graúdo por RCC no traço do concreto.

Os resultados dos ensaios de granulometria tanto para o agregado miúdo natural e graúdo artificial, quanto para o agregado graúdo reciclado, podem ser observados na Tabela 2 e nas Figuras

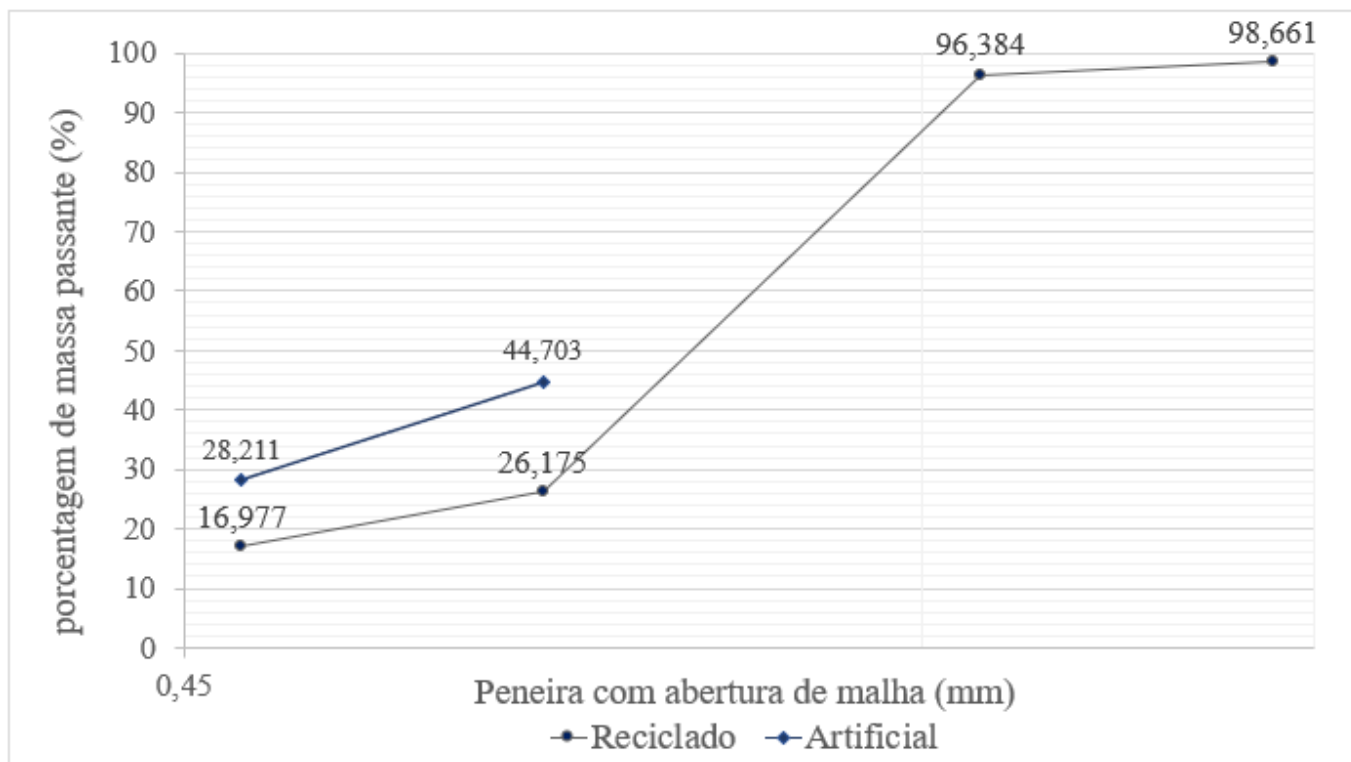
2 e 3. Na Tabela 2 também é possível observar a dimensão máxima característica (DMC) e o módulo de finura (MF) dos agregados.

Tabela 2 - Resultados dos ensaios de granulometria dos agregados miúdo e graúdo

Abertura das peneiras (mm)	Porcentagem retida acumulada (%)		
	Agregado miúdo	Agregado graúdo Artificial	Agregado graúdo Reciclado
12,500	-	0,0%	1,0%
9,500	-	0,0%	4,0%
6,300	-	56,4%	73,0%
4,750	0,3%	73,3%	82,0%
2,360	2,3%	-	-
1,180	8,9%	-	-
0,600	29,6%	-	-
0,300	71,7%	-	-
0,152	93,1%	-	-
Fundo < 0,152	100,0%	100,0%	100,0%
	DMC = 2,3mm	DMC = 9,5mm	DMC = 9,5mm
	MF = 2,06	MF = 4,40	MF = 4,96

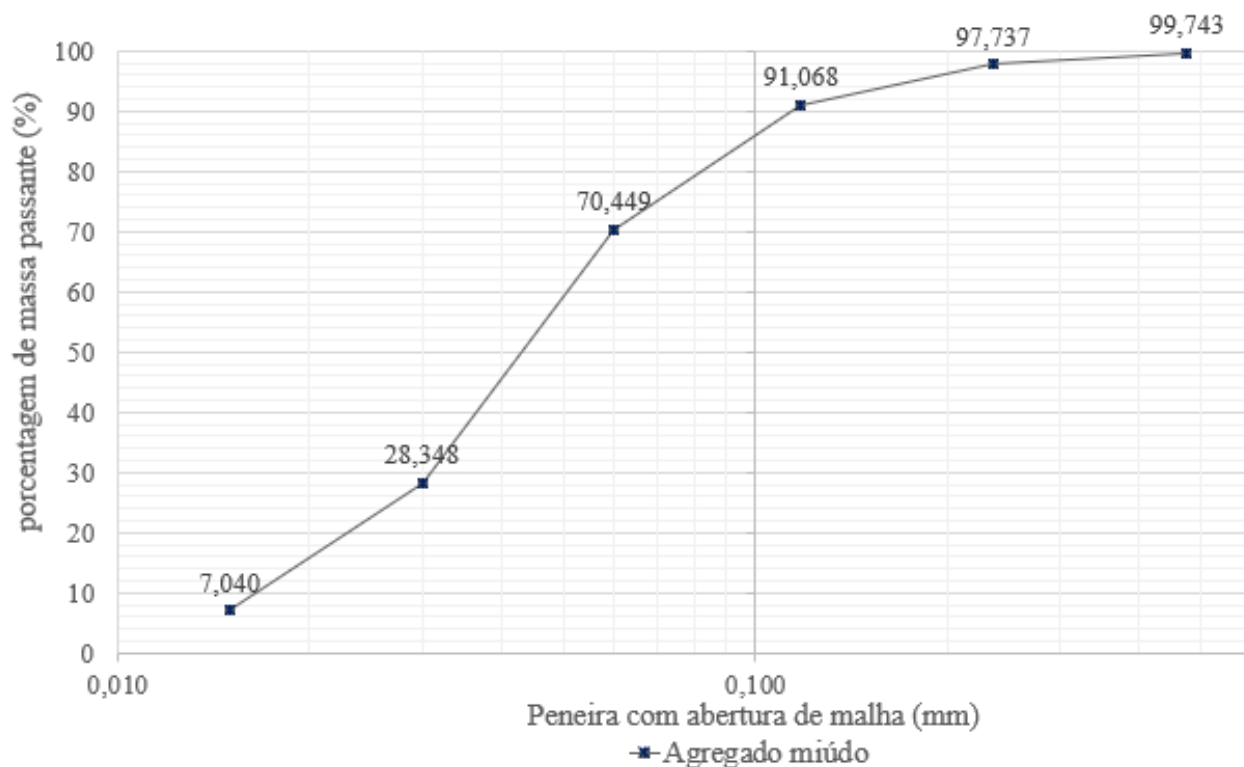
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Figura 2 – Curva granulométrica - Agregados graúdos



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Figura 3 – Curva granulométrica - Agregado miúdo



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Segundo Bauer (2019, p. 113) a dimensão da brita que costuma ser utilizada na mistura do concreto varia entre 31,5 mm e 4,75 mm. As britas utilizadas neste trabalho, artificial e reciclada, apresentam granulometria dentro desta faixa. Para ambas, a dimensão máxima característica é igual a 9,5mm.

Percebe-se, de acordo com a Figura 2, que a curva granulométrica do agregado artificial teve pouca variação na sua dimensão, tendo sido a maioria de seus agregados retidos principalmente em apenas duas peneiras da série. Isso ocorreu pela razão de ser uma brita comercial e, portanto, ter quase todos os grãos do mesmo tamanho. Enquanto para o agregado reciclado, em decorrência da britagem, a curva apresenta outras granulometrias. Apesar disso, as curvas granulométricas dos agregados graúdos foram semelhantes, isto é, indicando que o comportamento foi similar quanto à granulometria. Nos dois casos a maior porcentagem retida ficou na peneira de 6,3 mm, o que aponta também a pequena variação no módulo de finura (MF). O resultado do agregado artificial em comparação com o reciclado foi levemente superior, com valores iguais a 4,40 e 4,96 respectivamente, tendo o processo de britagem do agregado como explicação para essa diferença.

O agregado miúdo analisado pode ser considerado como uma areia média fina (zona 2). Segundo *Besser Company* (2006, apud BUTTLER, 2007, p. 122) é aconselhável para a produção de blocos o valor de 15% de finos do valor total do material miúdo. O uso de pequenas porcentagens pode interferir no aumento da porosidade e absorção de água do concreto produzido, assim como uma porção maior que 20% podem prejudicar sua resistência, afetando assim a qualidade da peça.

Sabendo disso, e analisando a composição granulométrica obtida, nota-se que o agregado miúdo possui uma quantidade considerável de finos (material passante na peneira 0,30 mm) de aproximadamente 28%, o que pode ter interferido na resistência dos corpos de prova moldados, como será visto adiante.

A Tabela 3 mostra os resultados da massa específica dos agregados. Observa-se que os valores obtidos para o agregado miúdo e graúdo artificial são iguais. A massa específica obtida para o agregado graúdo reciclado é aproximadamente 5% menor, mas dentro da faixa entre 2000 kg/m³ e 3000 kg/m³ para a massa específica seca, considerada por Priszkulnik *et al.* (2016, p. 30), para agregados normais. O resultado inferior obtido para a massa específica do agregado reciclado está coerente com os resultados do estudo de Aitcin (2000, apud BUTTLER, 2007, p. 126), que atribui à queda da densidade à argamassa aderida ao agregado, que colabora também para o aumento da sua porosidade.

Tabela 3 – Resultados de massa específica dos agregados

Agregado	Massa específica (kg/m³)
Miúdo	2 630
Graúdo artificial	2 630
Graúdo reciclado (RCC)	2 500

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

De acordo com Leite (2001, apud BUTTLER, 2007, p. 71) a dosagem dos agregados reciclados deveria ser feita em volume, já que sua massa específica é menor. No entanto, no presente trabalho foi realizada em massa. Portanto, o volume da mistura com agregado reciclado foi maior quando comparado ao agregado artificial, para a realização de um traço equivalente deveria ter sido utilizado uma maior quantidade de água e cimento, o que também não foi realizado e pode ter afetado a resistência mecânica do concreto.

A absorção de água dos agregados usados é importante, pois tem relação direta com a definição da quantidade de água utilizada no traço de concreto e, conseqüentemente, com sua resistência. Sendo assim, foi medido e analisado o percentual de absorção de água do agregado reciclado usado em comparação ao agregado artificial utilizado como referência. Conforme demonstrado na Tabela 4, o agregado reciclado tem maior percentual de absorção, como também esperado, uma vez que esse material apresenta maior porosidade.

Tabela 4 – Resultados da absorção de água dos agregados graúdos

Agregado graúdo	
Artificial (%)	Reciclado (%)
5,00%	13,00%

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Segundo Angulo *et al.* (2011, p. 16) a principal diferença entre um agregado convencional e o agregado reciclado é a porosidade, pois os agregados reciclados podem ser constituídos por fragmentos de diversos materiais, entre eles concretos e argamassas. A porosidade ainda varia de acordo com cada tipo de material presente, sendo para partículas cimentícias um alcance de até 15%.

Na Tabela 5 são apresentados os resultados dos ensaios de consistência do concreto por abatimento do tronco de cone, que refletem a trabalhabilidade do material.

Tabela 5 – Resultados do ensaio de consistência do concreto por abatimento do tronco de cone (*Slump*)

Traço de concreto	<i>Slump</i> (± 0,1 cm)
Traço 1 (referência)	0,0
Traço 2 (artificial com gelo)	2,0
Traço 3 (20% RCC)	0,0
Traço 4 (30% RCC)	0,0
Traço 5 (20% RCC e gelo)	1,0
Traço 6 (30% RCC e gelo)	0,0

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A trabalhabilidade da mistura de concreto é característica importante para a produção dos blocos de fundação, uma vez que misturas com baixo abatimento podem ser responsáveis por falhas e bicheiras na estrutura, se a vibração durante a concretagem não for possível e adequada.

Para todos os traços os resultados da consistência dos concretos estudados, não mostraram um bom abatimento, uma vez que sua deformação variou apenas entre 0 e 2 cm. O ideal seria que o abatimento fosse de, no mínimo, 4 cm considerando o uso em blocos de fundação (PEREIRA, 2019).

Sabendo-se que o abatimento pode ter relação com a porosidade do agregado, uma vez que agregados mais porosos absorvem mais água, faltando água na mistura para que sua trabalhabilidade seja boa. No entanto, é possível observar que o abatimento não foi bom nem mesmo para o traço com agregado artificial, que apresenta menor porosidade.

A trabalhabilidade poderia ser melhorada com o aumento da relação água/cimento ou com a adição de aditivos ao traço. No entanto, isso não foi realizado.

A Tabela 6 mostra a massa específica para os diferentes traços de concreto no estado fresco.

Tabela 6 – Resultado do ensaio de massa específica no estado fresco do concreto

Traço de concreto	Massa específica (kg/m³)
Traço 1 (referência)	2337±31
Traço 2 (artificial com gelo)	2324±31
Traço 3 (20% RCC)	2324±31
Traço 4 (30% RCC)	2324±31
Traço 5 (20% RCC e gelo)	2304±31
Traço 6 (30% RCC e gelo)	2285±30

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Conforme os resultados obtidos, é possível observar que não houve uma diferença significativa nos valores das massas específicas dos traços de concreto no estado fresco. Segundo Fonseca (apud PADOVAN, 2013, p. 62) a massa específica do concreto no estado fresco varia de acordo com a massa específica dos seus componentes.

Oliveira (2017, p.33) esclarece que o interesse central do resfriamento do concreto é impossibilitar o aparecimento de patologia construtiva através da diminuição das tensões térmicas no centro da peça concretada. A autora, além disso, aborda sobre as condições climáticas, que têm o poder de interferir no dia do processo por meio da evaporação. Considerando a importância do resfriamento do concreto foram medidas as temperaturas dos corpos de prova na moldagem, sendo os valores médios apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Temperatura média dos traços na fase de moldagem

Traço de concreto	Valor médio ($\pm 0,1$ °C)
Traço 1 (referência)	22,8
Traço 2 (artificial com gelo)	15,8
Traço 3 (20% RCC)	23,6
Traço 4 (30% RCC)	23,9
Traço 5 (20% RCC e gelo)	15,1
Traço 6 (30% RCC e gelo)	12,9

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Observa-se que os traços 2, 5 e 6, que tiveram gelo em sua composição, mostram temperaturas bem inferiores às temperaturas dos traços 1, 3 e 4.

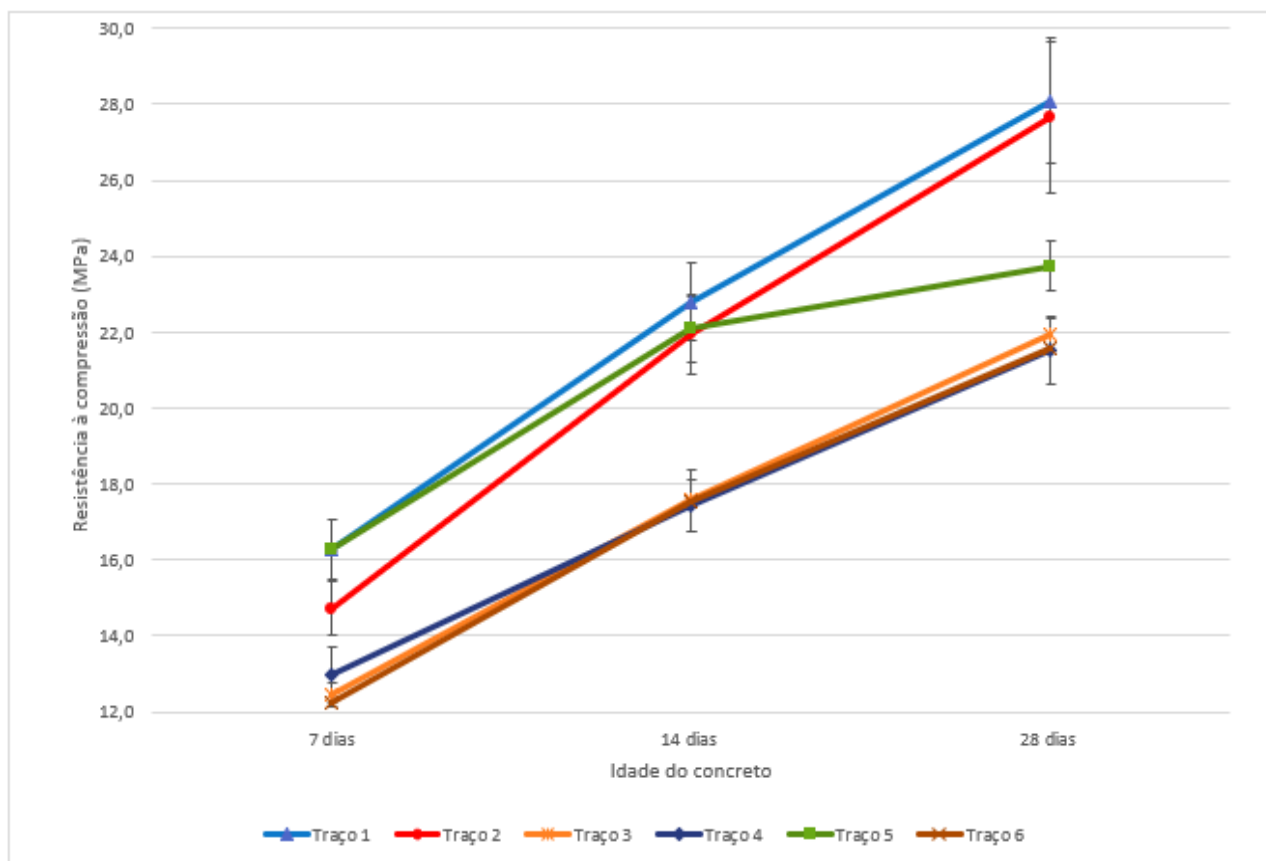
Os valores médios para a resistência à compressão dos corpos de prova em todas as idades, com os seus respectivos desvios padrão, são apresentados na Tabela 8 e Figura 4. Nesta Tabela, também é possível observar os coeficientes de variação para os corpos de prova de 28 dias de idade.

Tabela 8 – Resistência média à compressão

Traço de concreto	Resistência à compressão			CVe (%) 28 dias
	7 dias	14 dias	28 dias	
Traço 1 (referência)	16,3 \pm 0,1	22,8 \pm 1,0	28,1 \pm 1,6	5,8
Traço 2 (artificial com gelo)	14,7 \pm 0,7	21,9 \pm 1,0	27,6 \pm 2,0	7,2
Traço 3 (20% RCC)	12,4 \pm 0,3	17,6 \pm 0,8	21,9 \pm 0,4	1,9
Traço 4 (30% RCC)	13,0 \pm 0,8	17,4 \pm 0,7	21,5 \pm 0,9	4,1
Traço 5 (20% RCC e gelo)	16,3 \pm 0,8	22,1 \pm 0,9	23,7 \pm 0,6	2,7
Traço 6 (30% RCC e gelo)	12,3 \pm 0,3	17,5 \pm 0,1	21,6 \pm 0,8	3,5

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Figura 4 – Resistência média à compressão para as idades de 7, 14 e 28 dias



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Nas Figuras 5(a) e 5(b) é possível visualizar um corpo de prova rompido, ainda posicionado na prensa e 3 corpos de prova do mesmo traço (traço 5, com idade de 14 dias) rompidos, demonstrando os tipos de ruptura, consecutivamente.

Figura 5 – (a) corpo de prova rompido na prensa; (b) corpos de prova rompidos



(a)



(b)

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

É importante ressaltar que para todos os traços, com exceção do traço 6, observa-se um aumento da resistência à compressão de forma linear para as idades 7, 14 e 28 dias. Sendo que, aos 28 dias, todos os traços atingiram a resistência mínima para concreto estrutural de 20 MPa, classe C20, de acordo com a norma ABNT NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

Conforme pode ser observado, o traço 2 apresentou menor resistência inicial em comparação ao traço 1, utilizado como referência, e ainda assim alcançou uma resistência aproximada aos 28 dias.

O traço 5 apresentou resistência inicial elevada, porém a resistência não aumentou linearmente, alcançando aos 28 dias uma resistência menor, em comparação ao traço 1 e ao traço 2. Vale dizer que dentro do intervalo considerado pelos desvios-padrão para a resistência média aos 14 e 28 dias, a resistência praticamente não se alterou para o traço 5, não sendo possível identificar, a princípio, o motivo. Faz-se necessário refazer os ensaios para verificar os resultados obtidos.

Os demais traços com utilização de RCC (traços 3, 4 e 6) apresentaram resistência inicial aproximada, concluindo assim que a utilização do gelo para resfriamento do concreto, não trouxe aumento significativo na resistência do concreto, o que era esperado, já que a intenção da substituição da água pelo gelo é evitar, principalmente, o aparecimento de fissuras ou trincas e apenas manter a resistência do concreto, contribuindo com a durabilidade da peça.

Analisando os traços 3 e 4 em comparação com o traço 1, pode-se identificar resistências iniciais menores do concreto com utilização de RCC em relação ao traço de referência, o que já era previsto, devido às propriedades do agregado utilizado, considerando a absorção de água do agregado, que tem relação direta com a resistência do concreto, pois quanto maior a porosidade do agregado, maior será a absorção de água, interferindo na resistência do concreto. Comparando os concretos dos traços 3 e 4, e traços 5 e 6, é possível verificar que a variação resistência levando em consideração o teor de substituição de 20% e 30% do agregado graúdo natural pelo reciclado, não é significativa, sendo possível considerar a substituição de 30% vantajosa, pois se utiliza maior percentual de agregado reciclado, mantendo resistência satisfatória

Para todas as idades, antes dos ensaios de resistência à compressão, foram feitos ensaios de ultrassom nos corpos de prova. O ensaio realizado determina a velocidade média de propagação de ondas longitudinais, geradas através de pulsos ultrassônicos, através do corpo de prova analisado. Por meio do ensaio, analisa-se a compacidade do concreto considerando que, quanto maior a velocidade, menor a quantidade de vazios do material. Se a velocidade média for alta, o concreto tem boa compacidade e deve apresentar satisfatória resistência à compressão. A Tabela 9 mostra as faixas de velocidades e suas respectivas classes de qualidade, de acordo com Whitehurst (1966, apud BAUER, 2019, p. 391).

Tabela 9 – Qualidade do concreto em função da velocidade média do pulso ultrassônico

Velocidade ultrassônica (m/s)	Condições do concreto
Superior a 4500	Excelente
3500 a 4500	Boa
3000 a 3500	Regular (duvidosa)
2000 a 3000	Geralmente ruim
Inferior a 2000	Ruim

Fonte: Whitehurst (1966, apud BAUER, 2019, p. 391).

Na Tabela 10 é possível verificar as velocidades médias obtidas e seus respectivos desvios padrão para os corpos de prova na idade 28 dias.

Tabela 10 – Velocidade média de pulso ultrassônico para os corpos de prova de idade 28 dias

Traço de concreto	Velocidade média (m/s)
Traço 1 (referência)	5307 ± 55
Traço 2 (artificial com gelo)	5325 ± 46
Traço 3 (20% RCC)	5221 ± 94
Traço 4 (30% RCC)	5187 ± 104
Traço 5 (20% RCC e gelo)	4342 ± 24
Traço 6 (30% RCC e gelo)	4262 ± 57

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Para os traços de concreto 1, 2, 3 e 4, a qualidade do concreto apresentada pelo ensaio de ultrassom é considerado excelente, e para os traços 5 e 6 a qualidade do concreto é considerada ótima.

Observa-se que para os traços 3 e 4, que possuem RCC (agregado mais poroso), as velocidades médias de propagação são pouco menores (em média 2%), em relação ao traço de referência. Para os traços 5 e 6, que são os traços refrigerados com RCC, as velocidades médias são menores, tanto em relação ao traço 1 (referência), quanto em relação aos traços 3 e 4. É possível imaginar que durante a moldagem havia, ainda, pequenos cristais de gelo na mistura que, ao derreterem tardiamente deixaram espaços vazios, contribuindo para uma menor compacidade do concreto.

Como é sabido, existe uma correlação entre a resistência à compressão e a velocidade média de propagação da onda de ultrassom no concreto, embora não exista uma relação teórica para tal. Até porque, essa relação é afetada pelas propriedades dos materiais constituintes do concreto, além das suas proporções. No caso, observa-se coerência entre as resistências obtidas para cada traço e as respectivas velocidades, com exceção do traço 5.

A capacidade do concreto de absorver a água é um fator determinante quando se trata de durabilidade do concreto, pois a água transporta agentes que podem trazer dano ao material. Quanto maior a sua capacidade de absorção de água, maior será a absorção de agentes corrosivos que podem influenciar diretamente na durabilidade e resistência do concreto, podendo causar danos tanto no concreto, quanto na armadura. É ideal que os traços utilizados em blocos de fundação tenham um

baixo teor de absorção de água, pois são elementos estruturais enterrados, sendo suscetíveis a agentes corrosivos. Assim, foi medido o teor de absorção de água para todos os traços de concreto aos 28 dias, e os respectivos valores são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Percentual médio da absorção de água por imersão aos 28 dias

Traço de concreto	Valor médio (%)
Traço 1 (referência)	2,59%
Traço 2 (artificial com gelo)	1,70%
Traço 3 (20% RCC)	2,76%
Traço 4 (30% RCC)	2,13%
Traço 5 (20% RCC e gelo)	1,49%
Traço 6 (30% RCC e gelo)	1,74%

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Analisando os traços sem utilização de gelo (traços 1, 3 e 4), em comparação com os traços com substituição de 80% da água por gelo (traços 2, 5 e 6), é possível verificar que a utilização do gelo contribui para a redução da absorção de água do concreto, há diferenças significativas entre eles. Os valores de absorção observados foram baixos, indicando baixa permeabilidade, podendo resultar em boa durabilidade.

É importante salientar que, embora seja necessário um estudo mais aprofundado, os resultados mostram a viabilidade dos traços propostos para fins estruturais e, portanto, para uso em blocos de fundação. Ainda mais, após a atualização recente da norma ABNT NBR 15116 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021), que passa a admitir a utilização de agregados reciclados para fins estruturais, desde que seja da Classe A e no mínimo 90% da sua composição à base de cimento Portland.

No entanto, para um resultado mais conclusivo, seria importante fazer um estudo de dosagem para melhorar a consistência do concreto, refazer o ensaio do Traço 5, para verificar os resultados de resistência à compressão obtidos, avaliar a variação da temperatura durante a cura de blocos de fundação de concreto não refrigerado e refrigerado, sem e com RCC, para verificar a relação entre a temperatura e o surgimento de fissuras durante o processo de cura do concreto.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou analisar o comportamento do concreto resfriado, com resíduos de construção civil da indústria de pré-moldados, para que pudesse ser utilizado na construção de blocos de fundação, atendendo às normas técnicas de desempenho e algumas das principais características necessárias a um concreto, para ser usado com esta finalidade.

Vale ressaltar que os resíduos da indústria de pré-moldados possuem um grande potencial para serem utilizados como agregados e, apesar de possuírem propriedades diferentes dos agregados

naturais, se bem utilizados e combinados a outros materiais, se tornam interessantes, tanto do ponto de vista técnico, quanto econômico.

Foram definidos seis traços de concreto, com diferentes teores de RCC e gelo, para avaliação de algumas propriedades físicas e mecânicas do concreto produzido.

As propriedades dos agregados reciclados são fortemente influenciadas pelas características do resíduo utilizado, ou seja, a escolha do material se deve não só a sua extração, mas também a sua qualidade. Foi possível analisar nesta pesquisa que os agregados reciclados, provenientes dos resíduos sólidos Classe A - tipo C, apresentaram um valor maior de teor de absorção de água, e um valor menor da massa específica, e que sua granulometria é afetada pelo processo de britagem.

Os concretos reciclados têm suas propriedades influenciadas pelo nível de substituição dos materiais naturais pelos reciclados, tendo menor massa específica e maior absorção de água que o concreto convencional. O que ocorre também com os agregados reciclados, quando comparados aos artificiais.

O principal objetivo da utilização do gelo para resfriamento do concreto é evitar o aparecimento de fissuras. Considera-se a possibilidade de o tipo de gelo influenciar no resfriamento. O gelo em escamas poderia ser melhor, pois sua dissolução no concreto acabaria sendo mais rápida, enquanto em cubos mais lenta, reduzindo a formação de vazios durante a cura.

Em relação a resistência à compressão, a resistência mínima de 20 MPa para concreto estrutural foi atendida, mesmo para os traços contendo RCC. Um estudo mais aprofundado de dosagem do concreto, inclusive realizando a substituição do agregado reciclado em volume, ao invés da substituição em massa, pode melhorar a resistência, conforme exposto anteriormente.

Sabendo-se que esta foi uma pesquisa preliminar sobre o assunto, é importante considerar que deve haver um estudo experimental mais aprofundado, para assim, se estabelecer correlações mais precisas. Com relação aos resultados obtidos neste estudo, são sugeridos alguns trabalhos futuros para a consolidação das conclusões, a fim de se recomendar ou não o uso deste tipo de concreto para blocos de fundação:

- a) refazer os traços e os ensaios de resistência à compressão e absorção de água para uma confirmação dos resultados, principalmente para o traço 5, que apresentou resultados inconsistentes;
- b) refazer os traços de concreto utilizando gelo em escamas e os ensaios de resistência à compressão, absorção de água e ultrassom;
- c) moldar blocos de fundação sem e com gelo e RCC, uma vez que não foi possível produzir os blocos neste trabalho. Além disso, monitorar a temperatura ao longo da fase de cura, verificar possíveis manifestações patológicas, principalmente nas idades

mais avançadas de até 60 dias, e efetuar os ensaios de resistência à compressão e absorção de água;

- d) para obter uma melhor trabalhabilidade é indicado dosar um novo traço, com uma nova relação água/cimento.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. 52 f. Associação, Abrelpe, São Paulo, 2020.
- ANGULO, Sérgio C.. CONCRETO COM AGREGADOS RECICLADOS: antônio d. de figueiredo. In: ANGULO, Sérgio C.; FIGUEIREDO, Antônio D. de; WOLLE, Claudio M.. **CONCRETO: CIÊNCIA E TECNOLOGIA**. São Paulo: Isbn, 2011. Cap. 47, p. 2. Disponível em: <https://www.creago.org.br/uploads/pagina/3948/XnxkpgGzeiPSGWQioC6GZYYOGL0HnaSN.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022. 22 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15113**: Resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 54 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 21 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16889:2020**: Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. 5 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9833:2008 VERSÃO CORRIGIDA:2009**: Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. 7 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738**: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 9 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 9 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014, 238p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8802**: Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8953**: Concreto para fins estruturais — Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 16 p.

BAUER, L.A. F. **Materiais de Construção - Vol. 1.**: Grupo GEN, 2019. 9788521636632. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521636632/>. Acesso em: 05 Jun 2022

BRASIL. Decreto-lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, P. 2. 03 ago. 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 307, 5 de Julho de 2002. Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. CONAMA – Conselho Nacional do meio Ambiente.

BARBOZA, Lucas da Silva. Estudo sobre o impacto da redução do consumo de cimento no comportamento mecânico do concreto autoadensável. 143 p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de São Carlos, UFSCAR, São Carlos, 2016.

BUTTLER, Alexandre Marques. Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural. 2007. Tese (Doutorado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2007. doi:10.11606/T.18.2007.tde-16102007-111106. Acesso em: 01 jun. 2022.

CARRIJO, Priscila Meireles. Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto. 2005. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: Versão final.PDF (usp.br). Acesso em: 10 nov. 2021.

CARVALHO, Matheus Lopes de. Análise de confiabilidade de modelos de capacidade resistente de blocos de fundação. 2017. 177 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Estrutural, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: ESTUDO DE BLOCOS EM CONCRETO ARMADO (usp.br). Acesso em: 10 nov. 2021.

COELHO, N. A.; Um Estudo Numérico do Efeito Térmico em Concreto Massa. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil. 152p. Publicação E.DM006A/12, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília – UnB. Brasília, DF, 152p. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/11251>. Acesso em: 25 out. 2021.

GAMBALE, Patricia Guedes Estudo do Calor de Hidratação do Concreto Massa e Contribuição ao Cálculo Térmico e à Previsão de Fissuras de Retração [manuscrito] / Patricia Guedes Gambale. - 2017. 120 f. Acesso em: 15 nov. 2021.

LEONHARDT, F.. Cracks and Crack Control in Concrete Structures, Proceedings of the International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE). Zurich, Switzerland, 1987, p.109. Acesso em: 17 nov. 2021.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J.. Tecnologia do concreto. Tradução: Rui Alberto Cremonini. Bookman: Porto Alegre, 2ª ed., 2013. Acesso em: 17 nov. 2021.

NOGUEIRA, Luis Gustavo da Silva. Utilização de RCD na confecção de um concreto sustentável. 2013. 117 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – Fatecs, Brasília, 2013. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/235/6363>. Acesso em: 17 nov. 2021.

OLIVEIRA, Naiede Batista de. Concreto resfriado: uma análise comparativa entre as temperaturas do concreto resfriado e o convencional. 2017. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros-Rn, 2017. Disponível em: <http://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/6164>. Acesso em: 12 nov. 2021.

PANDOVAN, Rafaela Gava. **Influência da pré-moldagem nas propriedades de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto**. 2013. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/3270/Rafaela%20Gava%20Padovan.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 30 maio 2022.

PEREIRA, Caio. O que é Slump do concreto e como fazer o teste?. Escola Engenharia, 2019. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/slump-test/>. Acesso em: 10 de junho de 2022.
PRISZKULNIK, Simão et al. Materiais de construção I – Materiais pétreos. Apostila Universidade Presbiteriana Mackenzie, Escola de Engenharia Civil, São Paulo, 2016.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Presbiteriana Mackenzie e aos professores que tivemos, essenciais no nosso processo de formação profissional. Em especial, gostaríamos de agradecer ao técnico de laboratório José Adão Alves, por todo o suporte que nos foi dado. A empresa Leonardi Construção Industrializada, por fornecerem um dos materiais principais de estudo dessa pesquisa.

Aos nossos familiares e amigos, por todo incentivo, apoio e amor que nos foi dado ao longo desses anos. E a todos que estiveram do nosso lado nessa jornada, que participaram e contribuíram, direta ou indiretamente no desenvolvimento deste trabalho de pesquisa.