

ANÁLISE DA CARBONATAÇÃO DO CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO NATURAL POR AGREGADO RECICLADO MISTO

MENDES, Ana¹
PAGANIN, Ricardo²

RESUMO: O concreto armado é um dos materiais mais utilizados na construção civil, portanto há vários estudos que buscam utilizar materiais recicláveis para o desenvolvimento do concreto. Porém além de se preocupar com a utilização de materiais recicláveis e com a resistência do concreto, é importante também levar em consideração os agentes agressivos presentes no meio em que o concreto será inserido, visto que, de acordo com as características dos materiais de um elemento estrutural pode se ter o processo de deterioração da estrutura, com o por exemplo a carbonatação. Esse trabalho teve como objetivo geral a análise da carbonatação do concreto com substituição do agregado graúdo por concreto reciclado, além disso foi obtida a resistência à compressão e determinado a porosidade dos corpos de prova, além de verificado as características do ambiente de exposição. Utilizou-se três traços, contendo percentuais de substituição diferentes, sendo eles, 0%, 50% e 100%, de substituição do agregado graúdo natural por agregado reciclado, após a moldagem dos corpos de prova, os mesmos foram levados expostos em ambientes de agressividade, para que posteriormente fosse realizado o ensaio de profundidade de carbonatação, com a utilização do indicador de pH, fenolftaleína. A partir dessa pesquisa foi possível analisar que a profundidade média de carbonatação nas amostras foi de 8,2mm para as amostras de referência, 13,2mm, para as amostras com 50% de substituição e de 14,7mm para as amostras com substituição total do agregado. Pode se observar o aumento da carbonatação proporcional ao aumento da substituição do agregado graúdo natural.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Patologia, Corrosão, Deterioração.

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: analuersenmendes@hotmail.com.

²Docente, Mestre em Engenharia de Energia da Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR. E-mail: engpaganin@gmail.com.

1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade, sempre houve a busca por abrigo, para proteção e posteriormente foram aprimoradas as técnicas construtivas, trazendo também conforto e melhor qualidade de vida aos moradores. Hoje há uma variedade de métodos e materiais para a execução dessas estruturas, mas com isso há também uma grande quantidade de resíduos provenientes dessas construções (LOURENÇO e BRANCO, 2012).

A construção civil causa grandes impactos negativos ao meio ambiente, por meio da utilização de recursos renováveis ou não renováveis, modificação do espaço e a geração de resíduos. Segundo a Associação Brasileira Para Reciclagem de RCD - ABRECON (2011), os resíduos de construção civil são responsáveis por 60% de todo o lixo gerado por ano, o material volumoso, ocupa grande parte dos aterros, ou podem ficar espalhados pelas cidades causando envenenamento do solo e dos rios, decorrente de alguns compostos. Ainda segundo o autor, apesar dessa grande quantidade de resíduos a construção civil tem a capacidade de absorver 70% de todo o resíduo que produz, podendo economizar 8 bilhões de reais por ano.

Atualmente muitos desses resíduos não são recolhidos e descartados de maneira adequada, no entanto, os resíduos gerados que recebem o descarte e tratamento adequado, podem ser utilizados para construção de novos projetos, ocasionando em um ciclo de reciclagem. O ciclo se inicia na geração de resíduos pelas edificações, então ocorre a coleta desses resíduos, que são destinados a empresas especializadas que processam esse material, em seguida é feita a separação do que será reciclado e o que ganha outro destino. Com o material escolhido, ocorre a britagem, que o transforma em novo produto, e assim ele pode ser utilizado em novas obras, como por exemplo no concreto, dando início ao ciclo novamente.

O concreto é um elemento alcalino, com o pH (potencial hidrogeniônico) variando de 12 a 13, quando ele entra em contato com a armadura, há uma reação entre os dois devido a essa alcalinidade, formando uma película de proteção na armadura chamada de passivação da armadura. No meio ambiente há grande concentração de dióxido de carbono (CO_2), ele penetra no concreto poroso e reage com a água e com o hidróxido do concreto (OH), formando o ácido carbônico, a perda desse hidróxido torna o concreto menos alcalino, fazendo com que camada passivadora acabe,

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: analuersenmendes@hotmail.com.

²Docente, Mestre em Engenharia de Energia da Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: engpaganin@gmail.com.

deixando a armadura exposta, essa ação recebe o nome de carbonatação (WERLE, KAZMIERCZAK e KULAKOWSKI, 2011).

A carbonatação é um processo muito comum, pois o CO₂ está presente em todos os ambientes, logo ela ocorre naturalmente em estruturas de concreto, ocasionando mudanças na microestrutura do elemento deixando o concreto mais poroso e diminuindo o pH do concreto. Com a perda da alcalinidade e conseqüentemente, a perda da película protetora da armadura, a peça de concreto fica mais exposta, o que acarretará um futuro problema de corrosão, causando danos mais sérios à estrutura (WERLE, KAZMIERCZAK e KULAKOWSKI, 2011).

Com essas informações, a justificativa para a realização dessa pesquisa refere-se à possibilidade de utilização de material reciclado em substituição ao agregado graúdo natural no concreto. Considerando que no Brasil já existem recomendações de uso de material reciclado para aplicação em pavimentação e concretos sem função estrutural e que em outros países há uma aplicabilidade maior dessa tecnologia.

Além disso, sabendo que as estruturas em concreto estão expostas a processos patológicos, como a carbonatação, justifica-se essa pesquisa pela necessidade de observação do comportamento de um concreto executado com agregados graúdos reciclados frente a um processo de carbonatação. Dessa maneira, poderá ser observada tanto as diferenças de resistência das misturas, assim como seu comportamento frente ao processo de carbonatação do concreto.

Para tanto, a pergunta a ser respondida com a realização dessa pesquisa será a seguinte: como é o comportamento do concreto em relação a carbonatação, quando se tem a substituição do agregado graúdo natural por agregado reciclado misto (ARM)?

Esse estudo foi limitado ao levantamento da Resistência a compressão das amostras aos 28 dias de cura, levantamento da porosidade das mesmas, e do ensaio de identificação da profundidade de carbonatação das peças com a utilização de uma solução de fenolftaleína após os corpos de prova serem expostos por 06 meses a um ambiente de agressividade elevada (garagem).

De acordo com todas as informações expostas anteriormente, este trabalho teve como objetivo geral, analisar a carbonatação do concreto com substituição do agregado graúdo por agregado reciclado misto.

Salienta-se que para que este trabalho científico possa ter pleno êxito, os seguintes objetivos específicos foram propostos:

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: analuersenmendes@hotmail.com.

²Docente, Mestre em Engenharia de Energia da Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR. E-mail: engpaganin@gmail.com.



- a) Obter a resistência à compressão dos corpos de prova moldados;
- b) Determinar a porosidade dos corpos de prova moldados;
- c) Verificar as características do ambiente de exposição das peças ensaiadas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Concreto na construção civil

Almeida (2002), define o concreto como sendo um material de construção civil que resulta da mistura em quantidades específicas de aglomerante, agregados e água, após a mistura se constitui de um material plástico que possibilita o manuseio, e com o passar do tempo adquire resistência e coesão devido a reações entre os componentes. Almeida ainda cita as características essenciais de um concreto e os fatores que influenciam nessa qualidade.

Os fatores que influenciam diretamente na sua qualidade são principalmente a boa qualidade dos materiais, e a proporcionalidade adequada entre os mesmos, ele também deve ter uma manipulação adequada, tanto na sua confecção, transporte e lançamento, cuidando também do adensamento que pode prejudicar de forma significativa a estrutura. Outro fator importante é a cura desse concreto, sendo indicado a hidratação da peça, durante alguns dias após a confecção da estrutura, esses cuidados com o material possibilitam que o concreto tenha facilidade de manuseio ainda no estado fresco, durabilidade, resistência mecânica e alta impermeabilidade quando endurecido (ALMEIDA, 2002).

Segundo Sousa (2009), “o concreto é uma pedra artificial que se molda à inventividade construtiva do homem”, sendo amplamente disseminado e versátil, que por ano são consumidas cerca de 11 bilhões de toneladas de concreto para as mais diversas atividades. O autor ainda destaca duas características do concreto que se destacam, sendo elas sua resistência a água, e sua plasticidade, que possibilita a criatividade e formas construtivas inusitadas a se transformarem em obras admiráveis.

Apesar da grande diversidade de opções e o grande número de obras, o setor da construção civil é um dos setores que mais geram resíduos no Brasil, sendo a maior parte dele destinado de forma incorreta, acarretando diversos problemas para o meio ambiente, por esse e outros motivos o

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: analuersenmendes@hotmail.com.

²Docente, Mestre em Engenharia de Energia da Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR. E-mail: engpaganin@gmail.com.



CONAMA, estabeleceu obrigações aos geradores dos resíduos e também aos municípios. Grande parte desses resíduos se ocorrer o descarte correto podem ser reciclados gerando novos produtos que podem ser utilizados para novas obras (LIMA, 2018).

2.2 Agregados

A NBR 9935 (ABNT, 2011), define agregados como “geralmente, granular, sem forma e volume definidos, com dimensões características e propriedades adequadas para a preparação de argamassas e concretos”, podem ser agregados graúdos e miúdos, e suas características são essenciais ao concreto. A NBR 6118 (ABNT, 2014), estabelece estimativa do módulo de elasticidade dos agregados graúdos, diferindo entre eles os coeficientes de acordo com a origem do agregado, confirmando a influência dos mesmos nas características do concreto.

Para que possa ser utilizado no concreto, os agregados devem seguir algumas normas para garantir o desempenho da sua função e otimizar suas características, por tanto eles devem limpos, duros, resistentes, duráveis, com partículas livres de substâncias. Os agregados influenciam diretamente nas características do concreto, interferindo no módulo de resistência, sendo o agregado mais poroso menor sua resistência (NETO, OLIVEIRA e RAMOS, 2012).

2.3 Agregado graúdo natural

As jazidas para retirada dos agregados graúdos são abundantes no Brasil, no entanto existem fatores que limitam o quantitativo dessas reservas, como a resolução do CONAMA nº 369 de 2006, que diz que é necessário reduzir ao máximo a distância entre a extração e o mercado consumidor, tendo em vista que a maior parte das regiões não estão presentes em um raio de 100 km das jazidas elas se tornam inviáveis economicamente (SERNA e REZENDE, 2013).

Serna e Rezende (2013), também destacam que além do fator econômico a mineração dos agregados gera impactos como poluição sonora e do ar. A forma do agregado é importante para composição do concreto, pois pode prejudicar o adensamento, impedindo a interpenetração dos grãos,

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: analuersenmendes@hotmail.com.

²Docente, Mestre em Engenharia de Energia da Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR. E-mail: engpaganin@gmail.com.



os agregados de forma mais cúbica apresentam resistência mais elevada e trabalhabilidade melhor, logo essa forma do agregado é a melhor para ser incorporado ao concreto, com mínimo de partículas lamelares (SILVA, 2018).

2.4 Agregado graúdo reciclado misto

Fernandes e Amorim (2014), relatam que a construção civil demanda de uma grande quantidade de agregado, que comumente é abastecido pela extração dos minérios, que geram problemas no meio ambiente, pois altera e desestabiliza o espaço. Por esses motivos a substituição desses agregados naturais por agregados de reciclados provenientes de resíduos de demolição, vem apresentando vantagens, em relação a aquisição de matéria prima e ao desgaste do meio ambiente, além da preservação das reservas naturais.

No entanto o material reciclado não apresenta as mesmas características do agregado natural, podem ser percebidas alterações em relação a porosidade e resistência mecânica do concreto. Apesar das diferenças de características, o material de resíduos reciclados é capaz de ser aplicado em praticamente todos os setores da construção civil, pois análises voltadas para esse material têm apresentado qualidade satisfatória de que podem ser aplicados nos mais diversos destinos (FERNANDES e AMORIM, 2014).

Segundo Brasileiro e Matos (2015), os agregados reciclados mistos apresentam custo de produção menores que os agregados naturais. Porém sua utilização está sendo travada por questões culturais, pois há a desconfiança tanto dos construtores quanto dos clientes sobre o bom desempenho do material, a falta de normativas sobre o produto também dificulta a aceitação no mercado. Matos (2015), ainda determina campanhas e políticas que incentivem o uso dos agregados de resíduos mistos, junto a implantação de um controle de qualidade rígido na produção, garantindo a excelência do agregado, são essenciais para que o material tenha maior aceitação e uso na sociedade.

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: analuersenmendes@hotmail.com.

²Docente, Mestre em Engenharia de Energia da Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR. E-mail: engpaganin@gmail.com.



2.5 Carbonatação do concreto

O processo de carbonatação é a neutralização do hidróxido de cálcio e outros compostos alcalinos presentes na pasta de concreto, decorrente da penetração de gás carbônico. A presença de umidade no local é fundamental para a ocorrência do processo, pois o grande nível de umidade nos poros restringe a entrada do dióxido de carbono, já em situações de baixa umidade a carbonatação é insignificativa. Em relação a isso a intensidade de chuva dificulta o processo de entrada de gás carbônico na estrutura devido a saturação dos poros (SILVA, 2007).

Segundo Ferreira (2013), a baixa alcalinidade gera a despassivação da armadura, quebra da camada protetora, ficando mais susceptível a corrosão da mesma, além da redução do pH do concreto, a carbonatação intensifica a porosidade da peça, gerando micro fissuras. Essas microfissuras intensificam a corrosão da armadura devido a umidade e a presença de oxigênio, em decorrência disso a vida útil da peça será bastante comprometida, podendo gerar grandes problemas de estabilidade em grande extensão da peça.

Essa manifestação patológica também está diretamente ligada a quantidade de gás carbônico presente no meio que a estrutura se encontra. Outros condicionantes são a temperatura e a cura. A substituição do agregado graúdo natural, por agregado de resíduo misto, gera um aumento na porosidade da estrutura, mas podem haver meios para que essa porosidade não altere, como a menor relação entre água/cimento, que proporciona uma readequação dos poros na pasta, sendo assim a profundidade de carbonatação será menor (WERLE, KAZMIERZAK e KULAKOWSKI, 2011).

3. METODOLOGIA

3.1 Tipo de estudo

Trata-se de uma pesquisa de laboratório e de campo, a parte laboratorial foi realizada nos laboratórios de construção civil do Centro Universitário Assis Gurgacz. Já a parte de campo, onde os corpos de prova foram expostos a um ambiente agressivo, o qual foi uma garagem subterrânea de um

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: analuersenmendes@hotmail.com.

²Docente, Mestre em Engenharia de Energia da Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR. E-mail: engpaganin@gmail.com.

edifício residencial localizado na cidade de Cascavel – PR, escolhido devido a alta concentração de CO_2 e contém vários elementos em concreto armado que podem sofrer carbonatação constantemente.

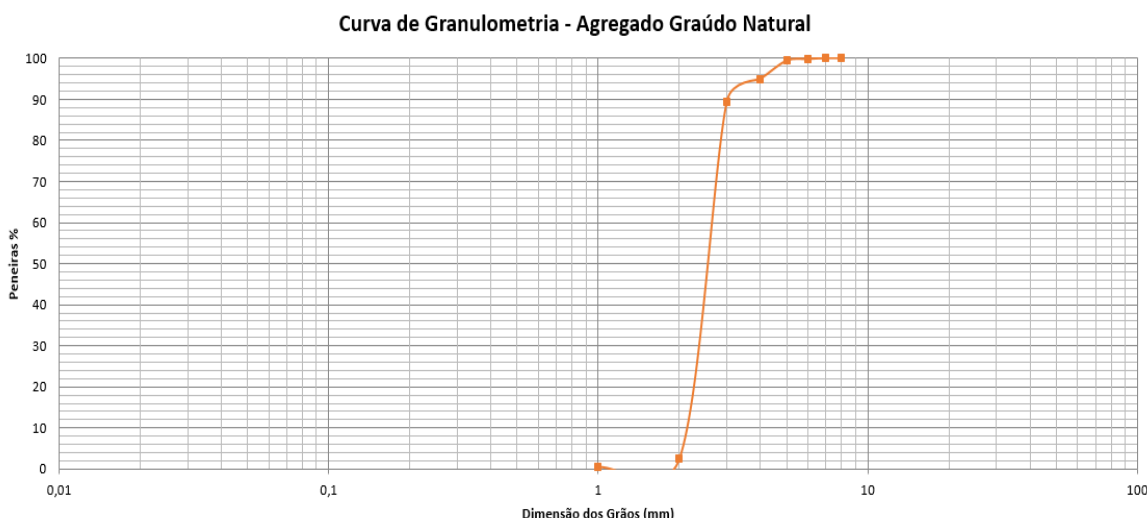
No laboratório foram realizados os ensaios de granulometria dos agregados (natural e reciclado misto) e a moldagem de 45 corpos de prova cilíndricos de 10 centímetro de diâmetro por 20 centímetros altura. Após o período de 28 dias de cura em câmara úmida os corpos de prova foram ensaiados para verificação da resistência à compressão e levados para exposição em ambiente agressivo. Ainda foi realizado um ensaio de verificação da porosidade do concreto e também a verificação da profundidade de carbonatação com uma solução de fenolftaleína após a exposição dos corpos de prova por 06 meses em ambiente agressivo.

3.2 Caracterização da amostra

3.2.1 Agregado graúdo natural

Foi utilizado o agregado graúdo natural, sendo considerada a brita 01, encontrada no comércio local de Cascavel – PR e disponibilizada pelo Centro Universitário Assis Gurgacz. A curva granulométrica do material pode ser observada na Figura 1.

Figura 1: Curva granulométrica do agregado graúdo natural.



Fonte: Autora, (2020).

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: analuersenmendes@hotmail.com.

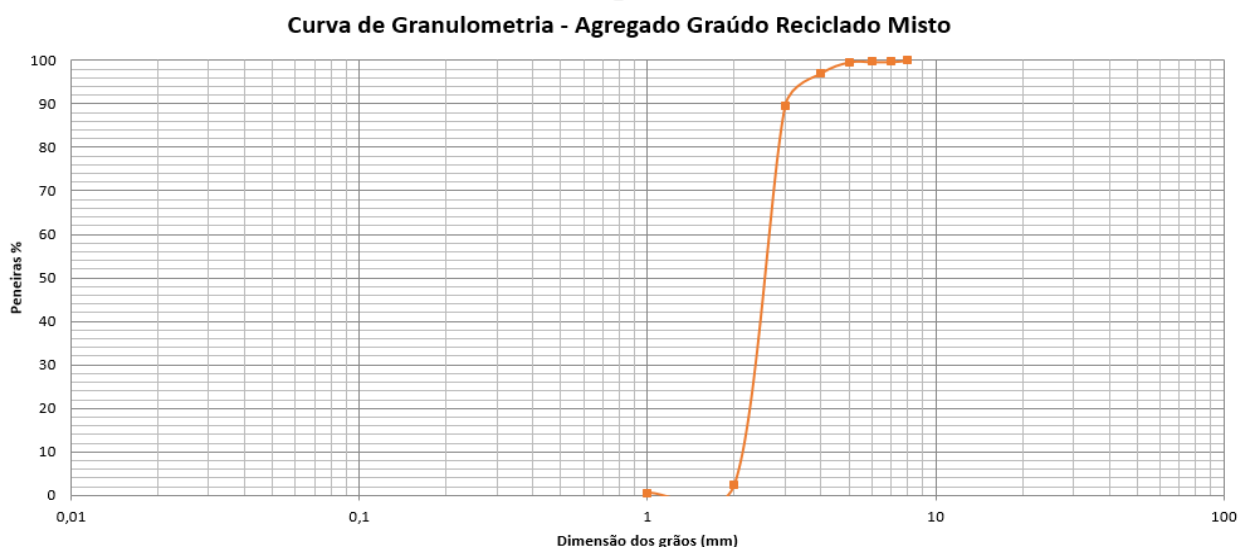
²Docente, Mestre em Engenharia de Energia da Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR. E-mail: engpaganin@gmail.com.

O ensaio para identificação da curva granulométrica seguiu as recomendações da NBR NM 248 (ABNT, 2003).

3.2.2 Agregado reciclado misto

Como agregado reciclado misto foi utilizado o material fornecido por uma empresa localizada na cidade de Cascavel – PR. O agregado refere-se a granulometria de brita 01 (Figura 2, oriunda da trituração de materiais de demolição, contendo, concreto, argamassa, cerâmica e rochas. Antes de passar pelo processo de trituração, a empresa realiza a seleção do material, retirando todo o tipo de resíduos que não pertençam ao produto, como vidros, papelões, metais e madeiras. Após isso a trituração primária, ainda são retirados agregados com diâmetro maior que 25 milímetros, para que assim seja feita trituração secundária. O ensaio para identificação da curva granulométrica seguiu as recomendações da NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Figura 2: Curva granulométrica do agregado graúdo reciclado.



Fonte: Autora, (2020).

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: analuersenmendes@hotmail.com.

²Docente, Mestre em Engenharia de Energia da Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR. E-mail: engpaganin@gmail.com.

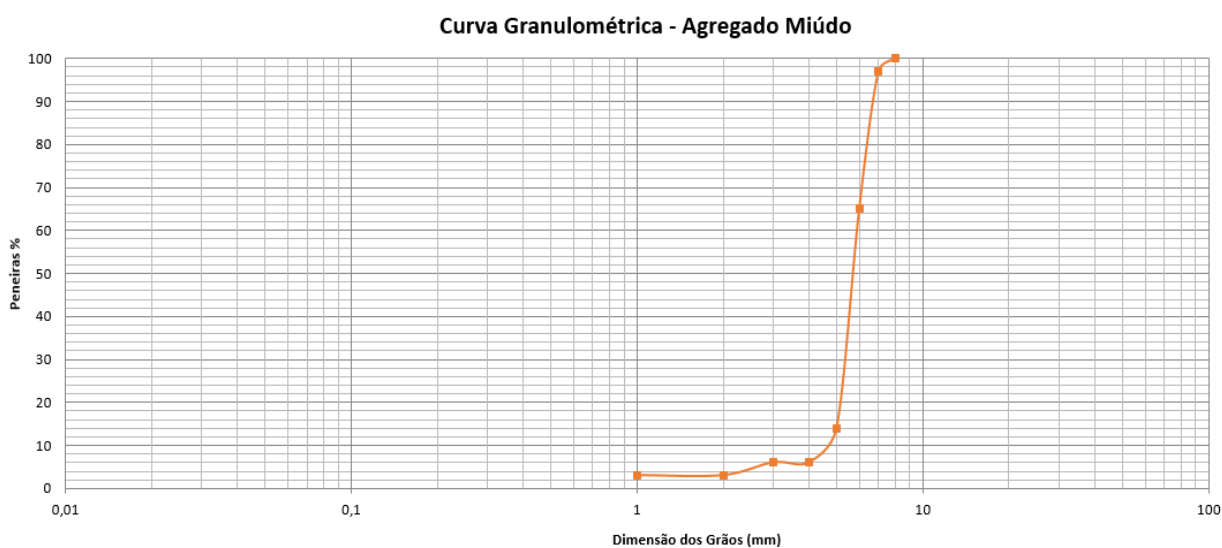
3.2.3 Cimento

Para moldagem dos corpos de prova foi utilizado o cimento do tipo CP I-25. Esse tipo de cimento de acordo com a NBR 16697 (ABNT, 2018), durante a fabricação leva a adição de uma ou mais formas de sulfato de cálcio.

3.2.4 Agregado miúdo

Foi utilizado como agregado miúdo para confecção dos corpos de prova, areia média, adquirida em lojas de material de construção da cidade de Cascavel – PR. A curva granulométrica do material pode ser observada na Figura 3.

Figura 3: Curva granulométrica do agregado miúdo.



Fonte: Autora, (2020).

O ensaio para identificação da curva granulométrica seguiu as recomendações da NBR NM 248 (ABNT, 2003).

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: analuersenmendes@hotmail.com.

²Docente, Mestre em Engenharia de Energia da Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR. E-mail: engpaganin@gmail.com.

3.2.5 Água

Para a confecção do concreto foi utilizada a água fornecida pela concessionária, SANEPAR, a qual segue os padrões de qualidade estabelecidos. A água é capitada da rede hidráulica predial do laboratório de construção civil do Centro Universitário Assis Gurgacz.

3.3 Moldagem dos corpos de prova

Foram moldados 45 corpos de prova (Figura 4), com traços de concreto distintos, sendo o traço de referência 1:2:3, recomendado por Ferreira (2013). Foram moldados dois traços de concreto com a utilização de agregado reciclado misto, um com a substituição de 50% e outro de 100% do agregado graúdo natural pelo agregado misto reciclado, como pode ser observado no Tabela 1.

Figura 4: Corpos de prova moldados para a realização dos ensaios.



Fonte: Autora, (2020).

Tabela 1: Quantidade de corpos de prova.

NOMENCLATURA	TEOR DE AGREGADO RECICLADO MISTO (%)	ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL AOS 28 DIAS	ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA
REF50	0	3 CP	3 CP
50T50	50	3 CP	3 CP
50T100	100	3 CP	3 CP
NOMENCLATURA	ENSAIO DE CARBONATAÇÃO (Câmara Úmida)	ENSAIO DE CARBONATAÇÃO (Garagem Fechada)	ENSAIO DE CARBONATAÇÃO (Garagem Semifechada)
REF50	3 CP	3 CP	3 CP
50T50	3 CP	3 CP	3 CP
50T100	3 CP	3 CP	3 CP

Fonte: Autora, (2020).

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: analuersenmendes@hotmail.com.

²Docente, Mestre em Engenharia de Energia da Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: engpaganin@gmail.com.

Para a moldagem dos corpos de prova foi levado em consideração as recomendações da NBR 5738/2015, foram utilizados moldes para a sua confecção, a betoneira para preparar os concretos, carrinho de mão, pá, haste para adensamento, colher de pedreiro e baldes.

A NBR 5738 (ABNT,2015), antes da moldagem dos corpos de prova, os moldes foram revestidos com óleo mineral, que não reage com o cimento. A norma ainda complementa que após a homogeneização do concreto na betoneira o material deve ser colocado dentro do molde de forma simétrica e em movimento circular, sendo necessário ainda nivelar o concreto antes do adensamento.

De acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015), o adensamento foi realizado com uma haste, que penetrou no concreto atravessando a primeira camada, sempre evitando golpear a base do molde. A norma ainda recomenda que os golpes devem ser uniformes e bem distribuídos por toda a seção transversal do molde. O número de camadas e de golpes pode ser observado na Figura 5.

Figura 5: Número de camadas para moldagem dos corpos de prova.

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	–	–
Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450 ^b	3	–	–

Fonte: NBR 5738, (ABNT, 2015).

A NBR 5738 (ABNT, 2015), recomenda que todas as camadas devem ser adensadas em toda sua espessura e penetrar cerca de 20 mm na camada anterior. A última camada deve conter uma quantidade em excesso de concreto, sendo que após o adensamento o excesso de material deve ser retirado.

Após moldados os corpos de prova foram armazenados em uma superfície horizontal rígida livre de vibrações, durante as primeiras 24 horas, em um local protegido de intempéries, seguindo a

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: analuersenmendes@hotmail.com.

²Docente, Mestre em Engenharia de Energia da Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR. E-mail: engpaganin@gmail.com.

NBR 5738 (ABNT, 2015). Após serem desmoldados, os corpos de prova ficaram em câmara úmida por 28 dias para serem realizados os ensaios.

3.4 Ensaios realizados

Foram realizados os ensaios de granulometria, ensaio de abatimento do concreto, compressão axial em corpo de prova cilíndrico, porosidade e de profundidade de carbonatação com a utilização de uma solução com fenolftaleína.

3.4.1 Ensaio de granulometria do agregado graúdo

O ensaio de granulometria foi utilizado para obter a curva granulométrica dos agregados graúdos utilizados nas misturas dos concretos (Figura 6). O ensaio realizado seguiu as recomendações da NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Figura 6: Ensaio de granulometria do agregado misto.



Fonte: Autora, (2020).

Para a realização do ensaio seguiu a NBR NM 248 (ABNT, 2003), que recomenda que sejam utilizados um agitador, uma balança, um jogo de peneiras e um cronometro. A mesma norma

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: analuersenmendes@hotmail.com.

²Docente, Mestre em Engenharia de Energia da Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR. E-mail: engpaganin@gmail.com.

recomenda que primeiramente separar a quantidade de material a ser utilizada, após isso, o material foi colocado na primeira peneira no agitador, o qual foi ligado pelo tempo de 10 minutos, após esse tempo a quantidade retida em cada peneira foi pesada para e obteve da curva granulométrica dos agregados. Foram utilizadas as peneiras de 25 mm, 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 6,3 mm, 4,8 mm, 3,8 mm e o fundo.

3.4.2 Ensaio de compressão axial

O ensaio de compressão axial foi realizado no laboratório de Construção Civil do Centro Universitário Assis Gurgacz, e a partir dele foi obtido a resistência a compressão axial da peça. A realização do ensaio seguiu as recomendações da NBR 5739 (ABNT, 2018), os corpos de prova passaram por um processo de retificação da sua base, antes do ensaio de compressão, para que a mesma ficasse plana, como pode ser observado na Figura 7.

Figura 7: Equipamento utilizado para planificar o topo dos corpos de prova.



Fonte: Autora, (2020).

Seguiu-se as recomendações da NBR 5739 (ABNT, 2018), e após a realização da planificação do corpo de prova, foram medidas as dimensões dos corpos de prova para a realização do ensaio de compressão axial. A norma ainda recomenda que o ensaio seja realizado em idades específicas, sendo que para esse trabalho foi adotada a idade de 28 dias a partir do dia da moldagem dos corpos de prova.

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: analuersenmendes@hotmail.com.

²Docente, Mestre em Engenharia de Energia da Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: engpaganin@gmail.com.

Após a normatização do corpo de prova o mesmo será ensaiado em uma prensa (Figura 8), sendo recomendado pela NBR 5739 (ABNT, 2018), que as superfícies devem ser limpas e o corpo de prova deve ser posicionado centralmente no equipamento.

Figura 8: Prensa utilizada para o ensaio de compressão axial.



Fonte: Autora, (2020).

Após o início do ensaio de compressão axial, a prensa exerceu uma força contínua sobre o corpo de prova, sem choques, e de velocidade constante. Após a ruptura do corpo de prova, o carregamento da amostra cessa e o sistema utilizado forneceu dados relativos ao ensaio realizado.

3.4.3 Ensaio de absorção de água

O ensaio de absorção de água em corpos de concreto seguiu as recomendações da NBR 9778 (ABNT, 2005), sendo dividido em três etapas, sendo elas a secagem em estufa, a saturação em temperatura ambiente e a saturação em água fervente. Na primeira etapa, após 49 dias de cura em câmara úmida, os corpos de prova foram colocados em estufa com temperatura entre 100 °C e 110 °C (Figura 9), e é determinada a massa após 24, 48 e 72 horas de permanência na estufa, após esse tempo a amostra foi retirada e deixada resfriar em temperatura ambiente.

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: analuersenmendes@hotmail.com.

²Docente, Mestre em Engenharia de Energia da Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: engpaganin@gmail.com.

Figura 9: Corpos de prova em estufa.



Fonte: Autora, (2020).

Na segunda etapa a amostra foi colocada em imersão sendo nas primeiras quatro horas em 1/3 de seu volume imerso, 2/3 nas quatro horas subsequentes, e totalmente imerso nas próximas 64 horas. as amostras devem ser pesadas em 24, 48 e 72 horas de imersão. Por fim a amostra é deixada em imersão em água que é levada a ebulição progressivamente durante cinco horas, então a água perde calor naturalmente por pelo menos 14 horas, então a amostra foi pesada.

Ao final das pesagens em todas as etapas foram determinados os seguintes valores, a absorção após imersão em água à temperatura de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$, a absorção após imersão e fervura, o índice de vazios após saturação em água, o índice de vazios após saturação e fervura, a massa específica da amostra seca, a massa específica da amostra após saturação, massa específica da amostra após saturação e fervura e a massa específica real.

3.4.4 Ensaio da profundidade de carbonatação

Após a moldagem dos corpos de prova, as amostras foram levadas ao locais onde foram expostos, foram escolhidos três locais para exposição, sendo o primeiro deles a câmara úmida que se trata de um local fechado que tem constante presença de água, e pouca concentração de CO_2 , o segundo ambiente trata-se de uma garagem subterrânea fechada, que devido ao escapamento dos veículos estão constantemente liberando CO_2 , que intensifica a carbonatação. O terceiro ambiente

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: analuersenmendes@hotmail.com.

²Docente, Mestre em Engenharia de Energia da Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR. E-mail: engpaganin@gmail.com.

também se trata de uma garagem, no entanto ela é fechada de um lado, e do outro possui um vão que possibilita a circulação mais intensa de ar, quando comparada ao ambiente anterior.

Ao final do prazo estipulado de oito meses de exposição ao ambiente agressivo, com concentração de gás carbônico, as amostras foram submetidas a ruptura e em seguida, realizado a medição de profundidade de carbonatação na amostra, para haver comparação foram deixadas pelo mesmo tempo amostras na câmara úmida com o mínimo de agentes agressivos. A solução para indicação do pH das amostras seguirá a recomendação de Rilem (1988), que consta em aplicar uma solução com fenolftaleína, na qual recomenda-se 1% de fenolftaleína, 70% de álcool etílico e 29% de água destilada.

A fenolftaleína é um composto orgânico de fórmula química $C_{20}H_{14}O_4$, usado em forma de um líquido incolor e inodoro. Utilizado como indicador de pH, para medir a carbonatação nas amostras, caso fique rosado o pH é superior a 8,3, caso fique incolor é possível afirmar houve carbonatação e o pH está baixo. A solução então foi borrifada na parte interna das amostras rompidas (Figura 10), onde se observou, na parte não carbonatada uma coloração vermelha-carmim, e na região em que ocorreu a carbonatação a estrutura permaneceu incolor.

Figura 10: Corpos de prova que foram aplicados a solução de fenolftaleína.



Fonte: Autora, (2020).

Após a aplicação da solução é necessário que ela seque, por cerca de uma hora, após isso, então foram tiradas fotos das amostras, é importante que na foto, tenha um parâmetro de medida, para que caso haja dúvidas quanto a escala seja possível realizar a leitura de profundidade novamente. Para a realização da leitura inicial será utilizado um paquímetro digital devidamente calibrado.

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: analuersenmendes@hotmail.com.

²Docente, Mestre em Engenharia de Energia da Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR. E-mail: engpaganin@gmail.com.

Para a medição foram consideradas as laterais das amostras, descartando as extremidades, tendo em vista que as mesmas dispersam as profundidades de carbonatação. Foi realizada a medição da parte incolor da amostra (da borda até o início da seção não carbonatada). É importante fazer a análise em mais de um ponto, conseguindo então identificar a maior distância carbonatada (Figura 11).

Figura 11: Corpos de prova medindo a profundidade carbonatada.



Fonte: Autora, (2020).

3.5 Análise dos dados

Após a coleta dos dados através dos ensaios realizados, os mesmos foram tabulados e apresentados em forma de tabelas e gráficos representados nas Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4.

Tabela 2: Modelo para a análise dos dados do ensaio de compressão axial.

AMOSTRA DE REFERÊNCIA	AMOSTRA COM 50% DE SUBSTITUIÇÃO	AMOSTRA COM 100% DE SUBSTITUIÇÃO
RESISTÊNCIA EM MPa	RESISTÊNCIA EM MPa	RESISTÊNCIA EM MPa
CP 1	CP 1	CP 1
CP 2	CP 2	CP 2
CP 3	CP 3	CP 3

Fonte: Autora, (2020).

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: analuersenmendes@hotmail.com.

²Docente, Mestre em Engenharia de Energia da Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: engpaganin@gmail.com.



Tabela 3: Modelo para a análise dos dados do ensaio de absorção de água.

% DE ABSORÇÃO	% DE ABSORÇÃO	% DE ABSORÇÃO
Amostra	Amostra	Amostra
0%	50%	100%

Fonte: Autora, (2020).

Tabela 4: Modelo para a análise de dados do ensaio de profundidade de carbonatação.

AMOSTRA DE REFERÊNCIA	AMOSTRA COM 50% DE SUBSTITUIÇÃO	AMOSTRA COM 100% DE SUBSTITUIÇÃO
PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO (mm)	PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO (mm)	PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO (mm)
CP 1	CP 1	CP 1
CP 2	CP 2	CP 2
CP 3	CP 3	CP 3

Fonte: Autora, (2020).

Os dados foram analisados baseando-se na composição dos corpos de prova, na resistência a compressão e no comportamento dos mesmos em relação a absorção de água e ao processo de carbonatação. A partir dos resultados obtidos foi possível verificar o desempenho do material analisado e qual a suas características, além de identificar se é possível sua utilização e para qual finalidade.

4. ANÁLISES E DISCUSSÕES

4.1 RESISTENCIA A COMPRESSÃO AXIAL

Após a realização dos ensaios de compressão axial foram obtidos os resultados referentes a resistência a compressão axial, dos corpos de prova cilíndricos, moldados com os traços especificados anteriormente. Os resultados dos ensaios podem ser observados na Tabela 5.

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: analuersenmendes@hotmail.com.

²Docente, Mestre em Engenharia de Energia da Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR. E-mail: engpaganin@gmail.com.



Tabela 5: Análise dos dados do ensaio de compressão axial.

AMOSTRA DE REFERÊNCIA		AMOSTRA COM 50% DE SUBSTITUIÇÃO		AMOSTRA COM 100% DE SUBSTITUIÇÃO	
RESISTÊNCIA EM Mpa		RESISTÊNCIA EM Mpa		RESISTÊNCIA EM Mpa	
CP 1	21,0	CP 1	18,9	CP 1	17,2
CP 2	20,3	CP 2	18,6	CP 2	17,9
CP 3	19,0	CP 3	19,1	CP 3	16,0

Fonte: Autora, (2020).

Observando os resultados, e realizando a média entre os valores de mesma porcentagem e substituição, pode-se definir que com o aumento do percentual de substituição a resistência teve diminuição de 6,12 %, nas amostras com 50% de substituição e de 15,27% nas amostras com substituição total do agregado.

4.2 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Após a realização dos ensaios de absorção de água, foram realizadas a análise dos dados para obter a porcentagem de absorção de água das amostras com os três traços definidos anteriormente. Os resultados estão expostos na Tabela 6.

Tabela 6: Análise dos dados do ensaio de absorção de água.

% DE ABSORÇÃO		% DE ABSORÇÃO		% DE ABSORÇÃO	
Amostra	6,027	Amostra	8,504	Amostra	10,031
0%		50%		100%	

Fonte: Autora, (2020).

Após a coleta dos dados eles foram submetidos a comparação com a tabela elaborada por Helene, 1983 (Figura 12), que determina a durabilidade do concreto em função do índice de absorção de água.

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: analuersenmendes@hotmail.com.

²Docente, Mestre em Engenharia de Energia da Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: engpaganin@gmail.com.

Figura 12: Durabilidade do concreto em função do índice de absorção de água.

Classificação do concreto	Teor de absorção de água (a)
Durável – Alto desempenho	$\leq 4,2\%$
Convencional	$4,2\% \leq a \leq 6,2\%$
Deficiente	$\geq 6,2\%$

Fonte: Helene, (1983).

Após a comparação com a tabela de Helene, 1983, pode-se constatar que o concreto com traço de referência é classificado como convencional, já as amostras com 50% e 100% de substituição em encaixam na categoria de concreto deficiente. Tais amostras apresentam grande porcentagem de absorção, que consequentemente são concretos com elevada porosidade, que junto a grande concentração de CO₂, aceleram consideravelmente o processo de carbonatação.

4.3 PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO

Após os corpos de prova ficarem expostos pelo período seis meses, nos três ambientes pré definidos anteriormente, os mesmos foram rompidos e foi realizado o ensaio de carbonatação. Nas Tabela 7, Tabela 8 e Tabela 9, é possível observar os resultados de profundidade de carbonatação nos corpos de prova de acordo com a exposição dos mesmos, nos diferentes ambientes.

Tabela 7: Análise de dados de carbonatação – câmara úmida.

AMOSTRA DE REFERÊNCIA		AMOSTRA COM 50% DE SUBSTITUIÇÃO		AMOSTRA COM 100% DE SUBSTITUIÇÃO	
PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO (mm)		PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO (mm)		PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO (mm)	
CP 1	1,8	CP 1	1,7	CP 1	1,5
CP 2	1,4	CP 2	1,4	CP 2	1,6
CP 3	1,5	CP 3	1,5	CP 3	1,8

Fonte: Autora, (2020).

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: analuersenmendes@hotmail.com.

²Docente, Mestre em Engenharia de Energia da Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR. E-mail: engpaganin@gmail.com.



Tabela 8: Análise de dados de carbonatação – garagem fechada.

AMOSTRA DE REFERÊNCIA		AMOSTRA COM 50% DE SUBSTITUIÇÃO		AMOSTRA COM 100% DE SUBSTITUIÇÃO	
PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO (mm)		PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO (mm)		PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO (mm)	
CP 1	8,0	CP 1	13,0	CP 1	14,0
CP 2	8,0	CP 2	13,0	CP 2	13,0
CP 3	8,0	CP 3	17,0	CP 3	17,0

Fonte: Autora, (2020).

Tabela 9: Análise de dados de carbonatação - garagem semifechada.

AMOSTRA DE REFERÊNCIA		AMOSTRA COM 50% DE SUBSTITUIÇÃO		AMOSTRA COM 100% DE SUBSTITUIÇÃO	
PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO (mm)		PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO (mm)		PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO (mm)	
CP 1	8,0	CP 1	11,0	CP 1	11,0
CP 2	8,0	CP 2	11,0	CP 2	12,0
CP 3	9,0	CP 3	14,0	CP 3	21,0

Fonte: Autora, (2020).

Após a coleta de dados, para a análise foi considerado o maior valor de profundidade de carbonatação para os corpos de prova expostos nos diferentes ambientes. No ambiente da câmara úmida observou-se que os valores de carbonatação foram inferiores que os valores constatados nos outros ambientes, assim como os valores de todos os traços analisados foram próximos. Para os corpos de provas expostos na câmara úmida pode-se justificar a profundidade de carbonatação reduzida pelo fato de que o ambiente não é agressivo, logo não possui agentes de carbonatação.

Por outro lado, os corpos de prova que ficaram expostos no ambiente denominado de garagem fechada, percebeu-se que a profundidade de carbonatação foi superior para as amostras com substituição de 100% do agregado graúdo natural por agregado reciclado. O corpo de prova com 100% e 50% tiveram a mesma profundidade máxima de carbonatação de 17mm, sendo que esse valor foi 112% maior que a amostra de referência, que foi de 8mm. Essa carbonatação elevada pode ser justificada pela maior porosidade do concreto e pelo ambiente possuir maior emissão de poluentes, como o CO₂, que acelera o processo de carbonatação.

Também foi observado os corpos de prova que foram expostos no ambiente de garagem semifechada e pode-se observar que a amostra de 100% de substituição do agregado natural, possuiu uma profundidade de carbonatação de 21mm, chegando a 133% da amostra de referência, que obteve

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: analuersenmendes@hotmail.com.

²Docente, Mestre em Engenharia de Energia da Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR. E-mail: engpaganin@gmail.com.



a carbonatação de 9mm, já a amostra de 50% de substituição foi inferior, chegando a uma profundidade de 14mm, um acréscimo de 55,5% da carbonatação em relação ao traço de referência. Apesar desse ambiente não ser totalmente fechado, as amostras ficaram expostas mais próximas aos veículos e com sequentemente mais próximas a liberação de CO₂, justificando assim as amostras apresentarem profundidade de carbonatação maior que o ambiente fechado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos ensaios foi observado que os corpos de provas moldados com traço de referência obtiveram uma resistência de compressão axial média de 21,1MPa, os corpos de prova com substituição de 50% do agregado natural, 18,87 MPa e a de 100% de substituição, 17,03MPa, pode-se concluir que houve uma redução de 15,27% na resistência do concreto, dificultando o uso do material no concreto estrutural, porém não impossibilita o seu uso para outras finalidades, como base de uma rodovia ou contrapiso.

Foram calculados a partir do ensaio de absorção de água, a porcentagem de absorção de água, obtendo para o traço de referência 6,027% de absorção, a amostra com 50% de substituição do agregado natural, 8,504% de absorção e a amostra com a substituição total 10,031% de absorção. Esses porcentagem influência diretamente na carbonatação, tendo em vista que quanto maior a porcentagem de absorção, mais poroso é a amostra.

Após a análise dos resultados do ensaio de carbonatação, que apresentaram para a câmara úmida os resultados para a amostra de referência de 1,8mm, amostra de 50%, 1,7mm de profundidade de carbonatação e para a amostra com substituição total 1,8mm. No ambiente denominado garagem fechada apresentaram os seguintes valores de profundidade de carbonatação, para a amostra de referência 8mm de carbonatação, já as porcentagens de 50% e 100% de substituição apresentaram o mesmo valor de profundidade de carbonatação de 17mm, já no garagem semifechada, o traço de referência apresentou carbonatação de 9mm, o traço de 50% de substituição do agregado 14mm de carbonatação e o traço de 100% apresentou 21mm de profundidade de carbonatação.

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: analuersenmendes@hotmail.com.

²Docente, Mestre em Engenharia de Energia da Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR. E-mail: engpaganin@gmail.com.



No ambiente da câmara úmida a carbonatação foi menor pois provavelmente a concentração de agentes agressivos no local seja muito baixa, não levando ao carbonatação acelerado, já nas garagens além de serem locais em que há presença frequente de veículos liberando CO₂, os ambientes são em sua maioria fechados preservando essa concentração elevada de CO₂, sem muita ventilação, que impossibilita a saída desse gás, acelerando a carbonatação nos elementos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 5738: **Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 15116: **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil -Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural**. Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 5739: **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

_____. NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 7211 (ABNT, 2005). **Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 16697 (ABNT, 2018). **Cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.

_____. NBR NM 67 (ABNT, 1998). **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

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

ALMEIDA, L C. **Departamento de Estruturas Concreto** - Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Civil, agosto, 2002.

BRASILEIRO L. L.; MATOS, J. M. E. **Reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. 2015.

FERNANDES, A V B; AMORIM, J R R. **Concreto Sustentável aplicado na construção civil**, Aracaju, março, 2014.

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: analuersenmendes@hotmail.com.

²Docente, Mestre em Engenharia de Energia da Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR. E-mail: engpaganin@gmail.com.



FERREIRA, M B. Estudo da carbonatação natural de concreto com diferentes adições minerais após 10 anos de exposição. Goiânia, 2013.

HELENE, Paulo Roberto do Lago. La Agressividad del Medio y la Durabilidad del Hormigón. Hormigón, AATH, n. 10, p. 25-35, 1983

LA SERNA, H A; REZENDE, M M. Agregados para a Construção Civil.

LIMA, T. Gestão de resíduos na construção civil: economia e preservação ambiental.

LOURENÇO, P.; BRANCO, J. Dos abrigos da pré-história aos edifícios de madeira do século XXI.

POMPEU, B.B.; OLIVEIRA, D.R.C; RAMOS, D. Efeitos do tipo, tamanho e teor de agregado graúdo no módulo de deformação do concreto de alta resistência; Belém.

SANCHO, L. Reciclagem de resíduos da construção civil e demolição – Porto Alegre, junho de 2011.

SILVA, D A. Análise e classificação da forma do agregado graúdo britado para concreto. Dezembro, 2018.

SILVA, L C, FELIX, L P; SANTOS, T M. Influência dos agregados reciclados de resíduos de construção nas propriedades mecânicas do concreto. Goiânia, 2014.

SILVA, V M. Ação da carbonatação em vigas de concreto armado em serviço, construídas em escala natural e reduzida. São Paulo, 2007.

SOUZA, J L, Concreto e Construções - IBRACON, instituto Brasileiro do Concreto. Março, 2009.

VALVERDE, F M. Agregados para construção civil – Anepac.

WERLE, A P, KAZMIERCZAK, C S e KULAKOWSKI, M P. Carbonatação em concretos com agregados reciclados de concreto.

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: analuersenmendes@hotmail.com.

²Docente, Mestre em Engenharia de Energia da Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR. E-mail: engpaganin@gmail.com.