

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIA, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

RAFAELA BUENO DA SILVA

**ESTUDO DA RECICLAGEM CÍCLICA DO RESÍDUO DE CONCRETO PARA
ANÁLISE DE EFICIÊNCIA COMO AGREGADO MIÚDO**

PONTA GROSSA

2023

RAFAELA BUENO DA SILVA

**ESTUDO DA RECICLAGEM CÍCLICA DO RESÍDUO DE CONCRETO PARA
ANÁLISE DE EFICIÊNCIA COMO AGREGADO MIÚDO**

Trabalho apresentado à disciplina de OTCC como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Civil, da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Prof.^a Dra. Patricia Kruger

PONTA GROSSA

2023

RAFAELA BUENO DA SILVA

**ESTUDO DA RECICLAGEM CÍCLICA DO RESÍDUO DE CONCRETO
PARA ANÁLISE DE EFICIÊNCIA COMO AGREGADO MIÚDO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa.

BANCA EXAMINADORA:

Prof.^a Dra. Patricia Kruger

Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof. Dr. Eduardo Pereira

Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof. Dr. Rafael Jansen Mikami

Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Ponta Grossa, 12 de junho de 2023

RAFAELA BUENO DA SILVA

Este trabalho é todo dedicado aos meus pais,
pois é graças a sua ajuda que conquistei tudo o
que tenho hoje.

AGRADECIMENTOS

À minha professora Dra Patricia Kruger, gostaria de expressar minha sincera gratidão pela sua orientação, conhecimento e dedicação ao longo deste processo de pesquisa. Suas orientações valiosas, sugestões perspicazes e encorajamento constante me ajudaram a aprimorar meu trabalho e expandir meus horizontes acadêmicos. Sou grata pela sua paciência em responder às minhas dúvidas, pelo seu incentivo constante e pelo seu compromisso em me fazer alcançar todo o meu potencial. Obrigada por ser uma professora excepcional e por ter desempenhado um papel fundamental na minha jornada acadêmica.

Aos meus queridos pais, Luiz e Rosilda, neste momento especial da minha jornada acadêmica, quero expressar minha profunda gratidão a vocês. O apoio, amor e incentivo constantes que me proporcionaram ao longo desses anos foram fundamentais para o meu sucesso. Sua dedicação incansável em me ajudar a superar os desafios e alcançar meus objetivos tornaram possível a conclusão deste TCC. Sou imensamente grata pela paciência, sabedoria e confiança que depositaram em mim. Obrigada por serem os melhores pais que alguém poderia ter.

Aos meus amigos, agradeço por cada palavra de encorajamento, por ouvirem minhas preocupações e por sempre acreditarem em mim, mesmo quando eu duvidava das minhas próprias habilidades.

A pesquisa é criar conhecimento e não apenas encontrar respostas.

(Neil Armstrong)

RESUMO

O setor da construção civil é um dos maiores produtores de resíduos do mundo. Para que haja maior sustentabilidade neste setor, atualmente, são utilizados métodos de coleta seletiva dos resíduos gerados em canteiro de obra, majoritariamente produzidos em reformas e demolições. No presente, muitos estudos apontam a reutilização desses resíduos como uma forma de minimizar o descarte incorreto e sobrecarga de aterros desenvolvidos para esse fim. Entretanto, mesmo com a reutilização desse material, ele retornará para aterros no fim de sua vida útil. Este trabalho tem como objetivo conhecer as propriedades técnicas dos agregados submetidos a reciclagem cíclica, para analisar a possibilidade de aumentar a vida útil desse material. Nesta pesquisa, foi determinado 3 ciclos de reciclagem, a fim de analisar a eficiência técnica apresentada por argamassas produzidas a partir destes resíduos. As características analisadas foram a granulometria, massa específica, massa unitária, absorção e teor de argamassa aderida em agregados. Para as argamassas foram analisados a consistência, resistência mecânica e absorção por imersão. Os agregados reciclados apresentaram alteração em suas propriedades, em que nos agregados reciclados ocorreu a diminuição da massa específica e massa unitária no decorrer dos ciclos, aumento da absorção de água e do teor de argamassa aderida conforme o agregado foi submetido a uma nova reciclagem. Houve aumento da absorção de água e não houve diferença notável na resistência à compressão nas argamassas produzidas durante os ciclos. Houve também o aumento da relação água/ cimento para a produção das argamassas devido à alta absorção de água dos agregados reciclados.

Palavras-chave: Reciclagem cíclica, ciclo de vida, agregado reciclado.

ABSTRACT

The construction sector is one of the largest waste producers in the world. To promote greater sustainability in this sector, methods of selective waste collection are currently employed for the waste generated on construction sites, which are predominantly produced during renovations and demolitions. Many studies today suggest the reuse of this waste as a way to minimize improper disposal and the overload of landfills designed for this purpose. However, even with the reuse of this material, it will eventually end up in landfills at the end of its useful life. This work aims to understand the technical properties of aggregates subjected to cyclic recycling in order to analyze the possibility of extending the lifespan of this material. In this research, three recycling cycles were determined to assess the technical efficiency of mortar produced from these waste materials. The characteristics analyzed included particle size distribution, specific gravity, bulk density, water absorption, and the content of mortar adhered to the aggregates. For the mortars, consistency, mechanical strength, and immersion absorption were analyzed. The recycled aggregates exhibited changes in their properties, with a decrease in specific gravity and bulk density in the recycled aggregates as the cycles progressed, an increase in water absorption and the content of mortar adhered as the aggregate underwent additional recycling. There was an increase in water absorption, and there was no noticeable difference in compressive strength in the mortars produced during the cycles. There was also an increase in the water/cement ratio for mortar production due to the high water absorption of recycled aggregates."

Keywords: Mortar, life cycle, recycled aggregate.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - A geração de RCD estimada para as regiões brasileiras.....	17
Figura 2 - Agregado reciclado de concreto	19
Figura 3 - Concreto produzido com ARCO	21
Figura 4 - Fluxograma de reciclagem cíclica	27
Figura 5 - Fluxograma do programa experimental.....	28
Figura 6 - Análise granulométrica do agregado natural graúdo.....	30
Figura 7 - Análise granulométrica do agregado natural miúdo	31
Figura 8 - Fluxograma da produção de agregados.....	32
Figura 9 - Relação água/cimento das argamassas.....	35
Figura 10 - Análise granulométrica dos agregados miúdos.....	36
Figura 11 - Massa unitária dos agregados miúdos	38
Figura 12 - Análise da absorção por imersão em argamassas	42
Figura 13 - Análise do ensaio de resistência à compressão	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Número de ciclos de reciclagem	25
Quadro 2 - Ensaio de agregados naturais para concreto	29
Quadro 3 - Caracterização dos agregados naturais	31
Quadro 4 – Caracterização granulométrica dos agregados miúdos.....	37
Quadro 5 - Análise de teor de argamassa aderida	39
Quadro 6 – Massa específica do agregado miúdo	40
Quadro 7 – Absorção de agregado miúdo	40
Quadro 8 - Comparação dos resultados	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ARCO	Agregado Reciclado de Concreto
ARCI	Agregado Reciclado Cimentício
ARM	Agregado Reciclado Misto
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
RCD	Resíduo de Construção e Demolição

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivo geral	14
1.1.2	Objetivos específicos	14
1.2	JUSTIFICATIVA	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	GERAÇÃO DE RCD	16
2.2	PROPRIEDADES DOS AGREGADOS DE ARCO	19
2.3	INFLUÊNCIA DO ARCO EM ARGAMASSAS E CONCRETOS	22
2.4	RECICLAGEM CÍCLICA.....	24
3	METODOLOGIA	27
3.1	PROGRAMA EXPERIMENTAL	27
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS.....	28
3.2.1	CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS NATURAIS	30
3.2.2	PROCESSO DE BRITAGEM	31
3.3	CONCRETO	33
3.4	ARGAMASSA.....	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1	PRODUÇÃO DO CONCRETO INICIAL	35
4.2	PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS	35
4.3	CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS.....	36
4.3.1	Granulometria	36
4.3.2	Massa unitária.....	38
4.3.3	Teor de argamassa aderida	39
4.3.4	Massa específica	39
4.3.5	Absorção dos agregados	40

4.3.6	Análise dos agregados.....	41
4.4	ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO.....	42
5	CONCLUSÕES	45
	REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil tem grande influência na economia, na sociedade e no meio ambiente, gerando empregos, movimentando o mercado imobiliário, na alta geração de resíduos sólidos e extração de matéria prima. Sendo assim, desde a retirada de matéria prima, processamento, utilização e a demolição, faz com que esse setor seja um dos que mais prejudicam o meio ambiente, gerando cerca de 30% de todos os resíduos sólidos no mundo (LOPES *et al.*, 2023).

Segundo ABRELPE (2021), no ano de 2020 no Brasil foram coletados aproximadamente 47 milhões de toneladas de RCD, indicando um crescimento de 5,5%. A média coletada foi de 221,2 kg por habitante/ano. O aumento da geração de resíduos está ligado intimamente com o aumento da população, já que nos países em desenvolvimento, é fundamental criar uma considerável demanda por empreendimento para acomodar o aumento da população e está atrelado também ao desenvolvimento do país (FERREIRA; SOUZA, 2023).

Nesse contexto, grande parte dos resíduos gerados acabam sendo destinados incorretamente, poluindo o meio ambiente e causando problemas socioeconômicos nas cidades. Para extinguir as disposições irregulares, houve a implementação da Resolução CONAMA 307 (2002), estabelecendo diretrizes para a gestão do RCD, classificação dos resíduos e implementação do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.

O aumento de usinas de reciclagem de resíduos têm sido um reflexo do estabelecimento de normas de destinação dos resíduos. Em 2019, o Brasil atingiu 360 unidades de usinas de reciclagem, chegando a uma produção que oscila entre 16 e 21 milhões de toneladas por ano de agregados reciclados. Atingindo o marco de processamento de 48% do resíduo gerado no Brasil (ANGULO; OLIVEIRA; MACHADO, 2022).

Ainda assim, a coleta, reciclagem e reintrodução do concreto reciclado em outras estruturas, também gera impactos econômicos e ambientais. Segundo Almeida (2014), o uso de RCD faz com que haja redução no gasto e consumo de agregados naturais, entretanto, deve-se atentar-se ao preço, já que o custo de um material reciclado pode ser mais elevado que o de agregados naturais devido ao processo de fabricação. A autora também aponta que o uso de RCD diminui a

quantidade de material enviado para aterro de resíduos e de descarte incorreto, indicando a vantagem ambiental de se utilizar RCD.

No final da vida útil, o RCD é descartado, o que levanta questões sobre o impacto ambiental gerado durante todo o processo de reciclagem e reutilização desse material. Deste modo, propõe-se a análise da reciclagem do RCD em vários ciclos, para que seja observada suas propriedades químicas e mecânicas ao longo dos ciclos, com o intuito de mitigar seu descarte reduzindo o volume de resíduos gerados.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a eficiência técnica de um agregado reciclado de concreto submetido a vários ciclos de britagem por meio do levantamento das características físicas e mecânicas das argamassas produzidas do RCD em cada ciclo.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Desenvolver traço de concreto para que seja possível gerar um resíduo de concreto com características conhecidas e controladas a fim de ser usado como agregado de referência;
- b) Definir o traço de argamassa utilizando agregado miúdo reciclado de concreto, bem como definir uma consistência constante para a produção dos corpos de prova de argamassa de referência;
- c) Analisar as propriedades físicas e mecânicas da argamassa de referência para posterior comparação com as futuras argamassas que serão produzidas com os agregados das ciclagens;
- d) Desenvolver metodologia de britagem dos corpos de prova de argamassa visando uma maior eficiência em relação a perdas e aproveitamento de resíduo;
- e) Analisar as características físicas e mecânicas dos agregados e das argamassas produzidas em cada ciclo de reciclagem estabelecendo comparações entre si e com as amostras de referência.

1.2 JUSTIFICATIVA

O consumo de matéria prima para a construção civil vem crescendo exponencialmente há muitos anos. A extração de agregados gera um grande impacto ambiental e segue impactando até seu descarte, que eventualmente ocorre de maneira incorreta e prejudicial ao meio ambiente. A partir da resolução CONAMA 307 (2002), foi disseminada a reutilização de concretos para a produção de RCD, incentivando, regulamentando e orientando a forma correta de uso e descarte destes materiais.

Deste modo, levanta-se o questionamento sobre a viabilidade da reciclagem do concreto, já que em dado momento de sua vida útil, será demolido e destinado a um aterro de resíduos de construção, retomando o ciclo de descarte. Sendo assim, há a possibilidade de utilizar mais vezes o concreto tratado com RCD, criando ciclos de utilização evitando o descarte após o fim da vida útil da edificação. Gonçalves (2001a) afirma em sua pesquisa que foi possível manter características de resistência e trabalhabilidade em sucessivos ciclos, recorrendo a pequenas alterações na dosagem de cimento. Gonçalves (2001a) também aponta que há um grande potencial econômico e ambiental, pois houve aproveitamento dos resíduos de concreto para produção de agregados graúdos reciclados de concreto (AGRC) entre 60% e 70%.

Entretanto é necessário analisar, a partir de revisões bibliográficas e ensaios laboratoriais, a viabilidade de implantar este método. O ciclo de vida busca aumentar a presença de consciência ambiental em empresas, possibilitando a matéria prima a retornar como produto após acabar o primeiro ciclo de vida na construção civil. Para a implantação deste sistema, deve-se traçar um plano de estratégia e conscientização afim de garantir que os resíduos sejam separados e encaminhados corretamente, diminuindo o custo de separação na indústria e, conseqüentemente, diminuindo o valor da venda do RCD, aumentando sua viabilidade econômica (ALMEIDA, 2014).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GERAÇÃO DE RCD

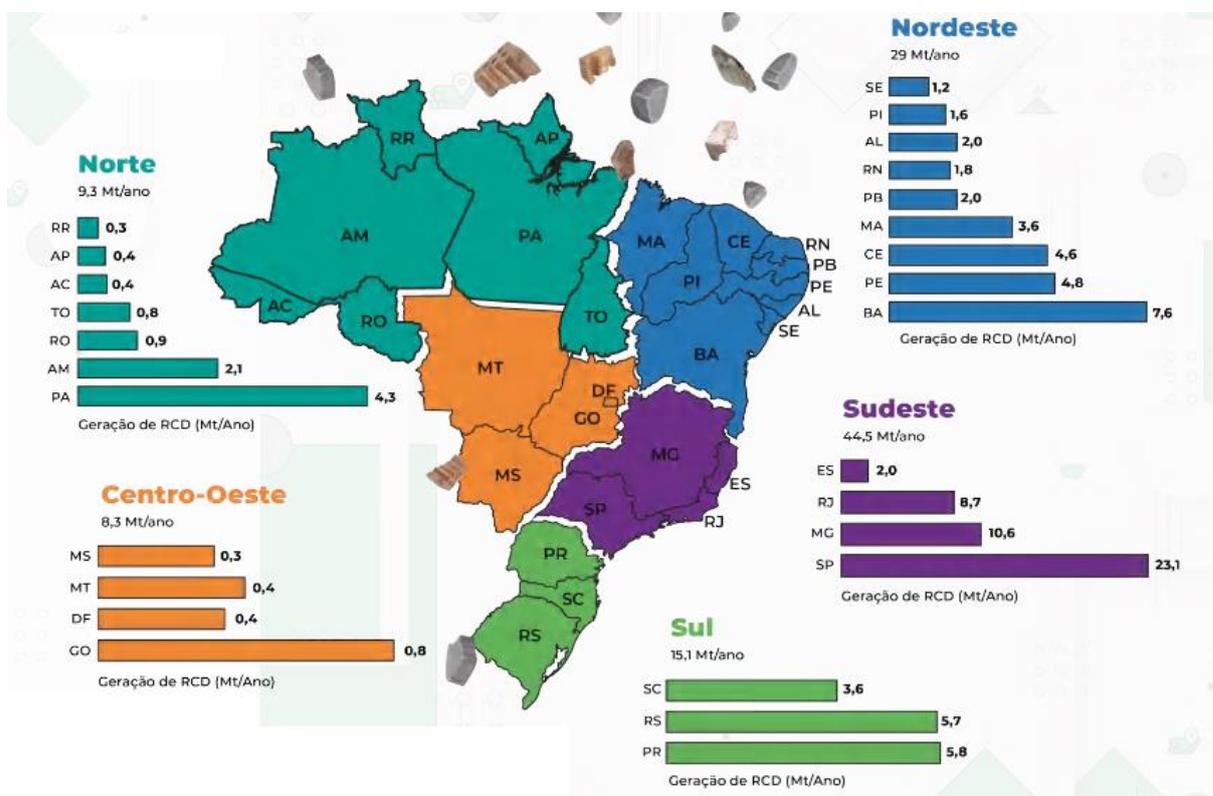
A extração de agregados é uma atividade essencial e muito utilizada em todo o planeta. Agregados desempenham um papel fundamental na construção civil, que aumenta conforme os anos. No Brasil, a extração aumenta conforme o crescimento urbano se intensifica e teve um aumento considerável com a geração de programas governamentais, criados em 2005, como “Minha Casa Minha Vida” que demandam diariamente um grande volume de materiais em todo o país (PINHEIRO; MENDES; OLIVEIRA, 2018).

Segundo ANEPAC (2022), foi extraído cerca de 660 milhões de toneladas de agregados no ano de 2021, crescendo 9% em relação ao ano anterior. Essa extração de matéria prima gera impactos ambientais. Grasback (2016) cita como possíveis impactos ambientais causados pela extração de agregados, o efeito estufa, a contaminação do solo, ar e água, erosão do solo e alteração da biodiversidade.

A fim de minimizar os impactos causados pela extração de agregados e evitar o descarte incorreto de resíduos de obras, a utilização de resíduos de construção civil se tornou uma boa opção nesta área. A geração de agregado a partir de resíduos de construção é uma forma de minimizar seus impactos no meio ambiente, já que este material, geralmente é destinado a lugares incorretos, causando danos ambientais e a saúde pública.

Em 2020 no Brasil, era produzido cerca de 500 kg/hab.ano de RCD, sendo grande parte dos resíduos sólidos gerados nas grandes cidades e aglomerados urbanos (ANGULO; MACHADO; OLIVEIRA, 2022). Uma pesquisa setorial da ABRECON do ano de 2019/2020, aponta o Sudeste como o maior gerador de resíduo de construção e demolição do Brasil, com 44,5% do total produzido no país, seguido pela região Nordeste, Sul, Norte e Centro-Oeste, conforme a Figura 1.

Figura 1 - A geração de RCD estimada para as regiões brasileiras



Fonte: ANGULO; MACHADO; OLIVEIRA (2022)

A Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (2002) foi criada afim de estabelecer diretrizes, orientação, critérios e os procedimentos para gerir os resíduos provenientes da construção civil. A resolução define resíduos da construção civil, conhecidos popularmente por entulhos de obra, como provenientes de construções, reformas, reparos e demolições, sendo eles tijolos, blocos cerâmicos, concretos em geral, solos, rochas, metais, resinas, madeiras, entre outros.

A Resolução nº 307 ainda classifica os resíduos e sua forma de reciclagem ou reutilização. Pertence a Classe A, de modo geral, resíduos de construção, demolição e reformas e reparos de pavimentação e terraplanagem, componentes cerâmicos, argamassa, concreto e peças pré-moldadas em concreto. Resíduos da Classe A devem ser reutilizados ou reciclados como agregado, ou encaminhados a aterros de resíduos da sua respectiva classe (CONAMA, 2002).

A Classe B é composta por resíduos recicláveis que possuem outras destinações, como plásticos, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso. Devendo ser encaminhados para áreas de armazenamento temporário, para que fiquem à

disposição de reutilização ou uma reciclagem futura. Pertence a Classe C, resíduos que não há tecnologia ou não são economicamente viáveis para que haja reciclagem. Devendo ser transportados e armazenados conforme as normas técnicas específicas.

Por fim, a Resolução nº 307 (2002), disserta sobre a Classe D, que abrange materiais perigosos, como tintas, solventes, óleos, materiais radioativos, com presença de amianto e materiais contaminantes. Devem ser armazenados e transportados seguindo as normas técnicas específicas para cada caso.

Deste modo, é possível observar que o resíduo da Classe A torna-se mais viável para aproveitamento dentro da construção civil. Brasileiro e Matos (2015) concluem que há um empecilho cultural na utilização do RCD, já que ainda há muita desconfiança dentro do mercado acerca da qualidade do produto. Cita também, a falta de políticas e campanhas de conscientização, para que estas ações alcancem uma escala maior.

Os resíduos de construção civil podem ser utilizados em diversas áreas, seguindo as diretrizes e regulamentações locais e também seguindo as orientações para descarte conforme a Resolução do Conama nº307 (2002) e para a reutilização e reciclagem, seguindo a orientação da NBR 15116 (ABNT, 2021a), atualizada recentemente.

Uma das áreas de aplicação é na pavimentação, podendo ser utilizado como base e sub-base de pavimentos e como substituição de agregados naturais na produção do concreto asfáltico (LEAL, 2021). O autor também cita a utilização em aterros e terraplanagem, para nivelamento de terrenos ou criação de barreiras de contenção. Há também a reutilização do resíduo para a produção de concretos e agregados, utilizando resíduos da Classe A, conforme citado anteriormente na Resolução do Conama nº 307 (2002).

Segundo Zotti (2022), os materiais que possuem maior concentração de alvenaria podem ser utilizados em preenchimento de valas, aterros e em camadas de pavimentos. Enquanto resíduos com maiores teores de argamassa e concreto conseguem desenvolver uma eficiência técnica mais adequada para produção de concretos, apresentando comportamento químico mais semelhante ao permitido.

Para que esses materiais sejam reciclados e reutilizados da forma mais eficiente, a NBR 15116 (ABNT, 2021a) é responsável pela orientação dos requisitos de produção e recepção dos agregados reciclados provenientes da Classe A, não

podendo conter material que afetem a hidratação e endurecimento do cimento, proteção da armadura, podendo levar a corrosão e a durabilidade da mesma. Um ponto importante na alteração dessa norma, é a possibilidade de utilização em concretos de função estrutural, limitado a substituição de até 20% da massa de agregados totais pela subclasse ARCO.

Além de diretrizes para produção de concreto para uso estrutural, a NBR 15116 (ABNT, 2021a) também orienta que para usos não estruturais, artefatos pré-fabricados sem função estrutural e argamassa de assentamento, revestimento e para contrapiso, é recomendado a utilização de ARCO, ARCI e ARM, podendo utilizar 100% de substituição de agregados naturais.

2.2 PROPRIEDADES DOS AGREGADOS DE ARCO

O agregado reciclado é um material proveniente do beneficiamento do concreto, onde ocorre o processo de britagem de uma peça de concreto, que pode se tornar agregados miúdos ou graúdos (Figura 2). Este agregado apresenta argamassa aderida em sua superfície, fazendo com que aumente a porosidade, podendo alterar sua resistência mecânica (ANGULO *et al.*, 2022).

Figura 2 - Agregado reciclado de concreto



Fonte: A Autora

Deste modo, a britagem do material também pode influenciar em suas características, como o tipo de britador utilizado. Buttler (2003) conclui em sua pesquisa que o processo de britagem influenciou a granulometria e a quantidade de argamassa aderida no agregado. Sendo assim, para cada tipo de aplicação, haverá um tipo de britador ideal.

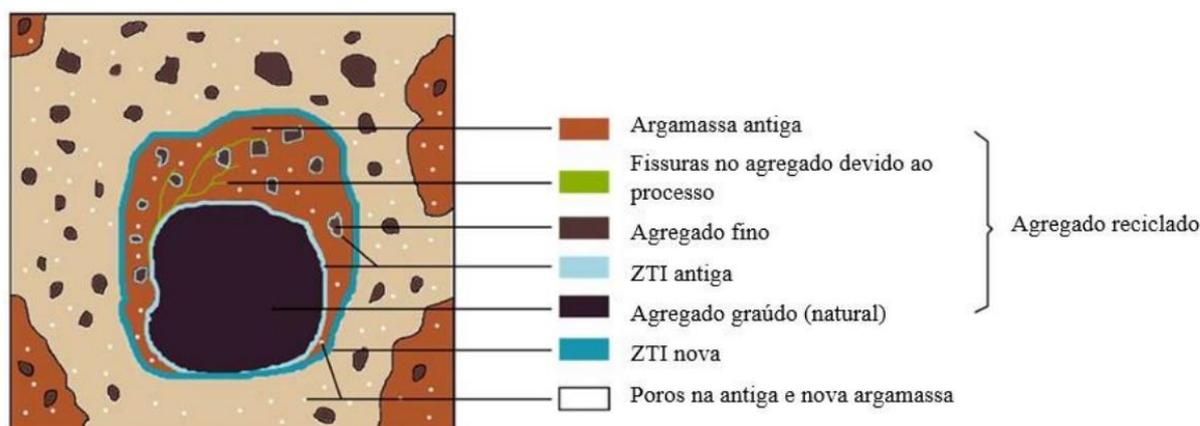
Segundo a pesquisa de Lovato (2007), os agregados miúdos reciclados coletados não se enquadraram na zona ótima e os agregados graúdos reciclados não se enquadram dentro do limite imposto pela norma utilizando britador de mandíbulas. Entretanto, não houve separação das frações granulométricas, pois o objetivo era utilizar os agregados com o mínimo de beneficiamento possível.

Bazuco (1999) conclui em sua pesquisa que, os agregados miúdos tendem a uma granulometria mais grossa, resultando num módulo de finura ligeiramente maior. Isto depende do método de britagem utilizado, já que na pesquisa em questão, os agregados reciclados e naturais apresentaram a mesma tendência de uma granulometria com mais material grosso.

A massa específica do agregado reciclado, seja graúdo ou miúdo tendem a serem menores que a de agregados naturais, isso se deve a argamassa aderida ao agregado. Na pesquisa de Bazuco (1999), resulta em uma massa específica de agregados reciclados 13% menor que a de agregados naturais. No trabalho de Lovato (2007), houve uma diminuição de cerca de 8% na massa específica e diminuição na massa unitária, de 16% a 20%, dependendo da amostra coletada, em comparação ao natural.

Também é possível observar uma tendência do agregado reciclado ter menor massa específica do que agregados naturais e ao decorrer do processo de britagem tendem a possuir mais argamassa aderida (Figura 3), o que leva a presença de mais poros no agregado devido a porosidade de argamassa aderida ao mesmo (CAMPOS, 2017; SALESA *et al.*, 2017).

Figura 3 - Concreto produzido com ARCO



Fonte: Wang *et al.* (2021)

Segundo Lovato (2007), a variação de resultados de massa específica se deve a variáveis durante o ensaio ou produção dos agregados, como diferença de britador utilizado, variação na granulometria dos agregados e a fragilidade do agregado reciclado ao ser manuseado durante o ensaio, podendo haver perda de parte da amostra por desagregação no momento em que o agregado estiver saturado.

Para Cabral (2007), a menor massa específica do ARCO comparado a um agregado natural, ocorre em virtude da característica da matriz da argamassa aderida, já que a argamassa possui densidade menor comparada a do agregado natural, logo, sendo justificada pela maior quantidade de poros. A porosidade do agregado está intimamente ligada a baixa resistência, pois isso indica uma maior quantidade de vazios, e por sua vez, vazios não possuem resistência mecânica (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Segundo Cabral (2007), a maior absorção de água de agregados reciclados é decorrente dos poros interligados dos agregados, aumentando sua permeabilidade. A pesquisa de Carasek *et al.* (2018), apontou maior absorção de água em agregados reciclados em comparação a agregados naturais. Além de que, em sua pesquisa, ela constatou que o teor de material pulverulento e teor de finos tem uma correlação com a retenção de água para si, já que aumenta a superfície específica do material, aumentando a adsorção de água.

A porosidade no agregado reciclado representa maior índice de vazios, levando a uma maior absorção de água, e conseqüentemente, maior consumo de água na argamassa em seu estado fresco. Para uma dada porosidade (ou relação água/cimento) de pasta de cimento, a porosidade (ou massa específica aparente)

dos agregados de RCD reciclados, separados por densidade, controla o comportamento mecânico dos concretos (ANGULO, 2005).

Na pesquisa de Leite (2001), ao analisar absorção e massa específica do agregado, a absorção do agregado miúdo apontou 8,60%, de acordo com a autora, são valores elevados e que necessita compensa-las durante a produção para que a água livre não diminua excessivamente. Leite (2001) ainda constata que a massa específica do agregado miúdo foi 4% menor que as frações de agregados naturais, evidenciando a presença dos poros e sua influência.

Frotté (2017), caracterizou RCD de uma usina de reciclagem e comparou o concreto produzido com agregados naturais e concretos com substituição de 25% e 50% de agregados naturais por agregado reciclado desta usina. O autor constatou em sua pesquisa 16,86% de índice de vazios com 25% da substituição de agregado natural por agregado reciclado e 18,20% para 50% de substituição, enquanto o concreto referência com agregado natural obteve 12,49%. Concluindo que o índice de vazios é aumentado em relação ao concreto de referência, conforme o teor de substituição aumenta.

Sob a análise da microestrutura dos agregados, Leite (2001) constata que há maior ligação entre pasta de agregado reciclado, isso se deve a formação de produtos de hidratação na superfície dos agregados reciclados. Entretanto, Tenório (2016) também aponta que a matriz antiga do concreto pode se fracionar durante a britagem, dificultando a adesão da nova pasta de cimento.

2.3 INFLUÊNCIA DO ARCO EM ARGAMASSAS E CONCRETOS

O uso do RCD em argamassas e concretos pode trazer pontos positivos e negativos em suas propriedades, dependendo da sua finalidade e modo de processamento. Tendo em vista que as propriedades dos agregados reciclados podem se comportar de forma diferente em relação aos agregados naturais, na produção de argamassas e concretos, seja no estado fresco e endurecido, poderá ocorrer alteração na consistência, na densidade e na resistência mecânica dos materiais compostos por RCD (LEITE, 2001; LOVATO, 2007; MEHTA; MONTEIRO, 2014; TENÓRIO, 2016).

No quesito trabalhabilidade de argamassas e concretos, Bazuco (1999) conclui em sua pesquisa a perda de trabalhabilidade conforme foi aumentado o teor de substituição de agregados naturais por agregados reciclados, isso em virtude da

textura superficial rugosa e porosa. Deste modo Leite (2001) propôs a pré-molhagem conforme a absorção dos agregados, com a imersão dos mesmos por 10 minutos antes da produção de concreto, melhorando a interação do agregado em relação a água presente no amassamento do concreto.

Segundo a NBR 15116 (2021a), o pré-umidecimento deve ocorrer durante 24h para 80% da absorção total de água e submersão por 10 minutos para a pré-saturação antes do contato com a água de amassamento. Ambos os métodos visam ajustar a consistência, perda de abatimento e a trabalhabilidade. Zhang *et al.* (2022) aponta que o uso do agregado reciclado parcialmente saturado é favorável a resistência a compressão, enquanto o uso de agregados secos ou completamente saturados levam a perda de resistência mecânica.

Já no estado endurecido de argamassas e concretos, há pesquisas que apontam uma diminuição na massa específica e na resistência mecânica (CABRAL, 2007; LEITE, 2001; TENÓRIO, 2016). Segundo os autores, há uma relação entre essas propriedades que podem levar uma característica influenciar as demais.

Acerca da massa específica de argamassas e concretos produzidos com agregados reciclados graúdos ou miúdos, pode-se observar na bibliografia uma tendência a redução desse valor (BRAVO *et al.*, 2015; CARASEK *et al.*, 2018; MEDINA *et al.*, 2014; PELISSARI, 2016; RODRIGUES; FUCALE, 2014). Isso se deve a massa específica menor do agregado reciclado, proveniente da argamassa aderida, deste modo, conclui-se na pesquisa de Cabral (2007), que os concretos com agregados reciclados possuem um teor de ar incorporado maior que o de concretos com agregados naturais.

Pesquisas analisadas de Pelissari (2016) e Medina (2014) pontam uma diminuição de massa específica de argamassas e concretos produzidos com agregados reciclados graúdos em relação a corpos de prova produzidos com agregados naturais graúdos de cerca de 3,05% e 12,30%, respectivamente. Já para compósitos produzidos com agregados miúdos reciclados, pesquisas também apontaram diminuição da massa específica de concretos e argamassas, Bravo *et al.* (2015) apresentou uma diminuição de 20,13% em relação ao corpo de prova produzido com agregado natural de cascalho de calcário, já Carasek *et al.* (2018) constatou diminuição de 0,70% e Rodrigues e Fucale (2014) de 3,05% na massa específica.

E relação a resistência mecânica, o aumento desse valor diverge entre cada pesquisa, há autores que apontam melhora e outros que apontam queda na resistência mecânica de argamassas e concretos produzidos com agregados reciclados. Segundo Cabral (2007) essa discordância acontece em virtude de variáveis de cada trabalho, como tipos de britador, cimento utilizado, composição do resíduo e metodologia de substituição.

Lovato (2007) cita em sua pesquisa que dentre os fatores que influenciam a resistência mecânica de concretos e argamassas produzidos com agregados reciclados estão a composição do agregado reciclado, como a resistência do concreto inicial e se há outros componentes como cerâmica na composição, a sua granulometria proveniente do método de britagem e a forma do agregado.

Exemplificando, Buttler (2003) aponta que agregados que são reciclados com um curto período de tempo de sua geração, apresentam resultados positivos em relação a resistência mecânica. O autor explica que isso se deve a partículas não hidratadas de cimento, obtendo resultados superiores se comparado a resistência mecânica de concretos convencionais.

Para Cabral (2007) e Medina *et al.* (2014) os concretos produzidos com agregados reciclados atingiram resistência de pelo menos 30 Mpa, em todas as porcentagens de substituição de 25 e 50% na pesquisa de Medina *et al.* (2014) e de 50% e 100% no trabalho de Cabral (2007) . Entretanto, ambos os autores perceberam a diminuição da resistência conforme a porcentagem de substituição aumentava. A diminuição da resistência tem ligação com a maior porosidade do agregado reciclado, já que sua camada de argamassa aderida é mais porosa, logo, menos resistente (CABRAL, 2007).

Bazuco (1999), constatou em sua pesquisa que conforme aumentava a porcentagem de agregados reciclados, as resistências não diminuíram significativamente. O autor propõe que isso ocorre em virtude dos teores mais altos de argamassa em concretos produzidos com maiores teores de agregados reciclados.

2.4 RECICLAGEM CÍCLICA

Mesmo utilizando agregados reciclados para a produção de concretos e argamassas, em dado momento, esse material beneficiado chegará ao fim de sua vida útil, sendo então demolidos, em seguida descartados ou podem ser reciclados.

Abreu *et al.* (2018) define cinco fases principais do ciclo de vida do concreto: extração de matéria-prima e fase de produção, construção, serviço, demolição e desmantelamento e por fim descarte ou reciclagem. O autor ainda aponta que a primeira e a última fase do ciclo de vida têm mais participação no consumo de matéria prima natural e produção de resíduos.

O processo de reciclagem cíclica é, basicamente, o beneficiamento de um concreto primário confeccionado com agregados naturais, transformando-o em agregados miúdos e graúdos. Sendo então inseridos na produção de um novo concreto, levando em conta todas as características que a mistura irá apresentar em seu estado fresco, como a relação da porosidade do agregado a absorção de água e por consequência a possível alteração na trabalhabilidade (GONÇALVES, 2001a).

Sobre a granulometria do agregado multirreciclado, há uma tendência de agregados graúdos se transformarem em agregados finos. Indicando que acima de 5 ciclos de reciclagem, o tamanho das frações irão diminuir a ponto do concreto virar uma argamassa (THOMAS *et al.*, 2020).

O processo de multirreciclagem faz com que o material continue sendo beneficiado em um novo ciclo, concebendo uma nova geração de concreto e assim sucessivamente, até que a eficiência técnica atinja um dos cenários possíveis, apresentando resultados constantes, baixa ou melhora na eficiência do agregado reciclado. Conforme a literatura, houve maior incidência do uso de três gerações de reciclagem dos resíduos, como mostra o Quadro 1.

Quadro 1 - Número de ciclos de reciclagem

Número de ciclos de reciclagem			
AUTOR	ANO	Nº DE RECICLAGENS	RESISTÊNCIA MECÂNICA
Thomas <i>et al.</i>	(2020)	3	diminui
Abreu <i>et al.</i>	(2018)	3	constante
Silva <i>et al.</i>	(2021)	3	diminui
Kim <i>et al.</i>	(2023)	3	diminui
Zhu	(2019)	3	diminui

Fonte: A Autora

Quanto aos resultados apresentados na literatura, observa-se uma divergência de conclusões. Abreu *et al.* (2018) concluiu em sua pesquisa, que as propriedades de densidade e absorção de água apresentaram menor densidade e maior absorção, entretanto, apontando que é possível definir um tipo de agregado

que apresente um desempenho mínimo e futuramente dispensando a necessidade de se preocupar com o ciclo de reciclagem de seus agregados.

Marie e Quiasrawi (2012) apontam que a trabalhabilidade do concreto produzido da primeira geração de resíduos apresentou um valor de consistência menor que o do concreto produzido com agregados naturais, entretanto, a trabalhabilidade da segunda geração é melhor que a da primeira. A autora conclui em seu trabalho, que foi mais vantajosa a utilização da segunda geração de concreto. Isso se deve ao processo de experimentação de dosagem durante a produção do concreto, onde a dosagem foi ajustada durante o processo de produção.

Ainda observando o Quadro 1, é possível observar também o comportamento da resistência mecânica em relação ao agregado de referência, onde resultados inferiores ou constante em relação ao concreto referência. Deste modo, se o RCD apresentar eficiência mecânica após a reciclagem cíclica, será possível reduzir a quantidade de material destinada a aterros mesmo depois da sua utilização em concretos reciclados, já que o mesmo será submetido à mais de um ciclo de reciclagem.

Na pesquisa de Shmlls (2022), foi utilizado aditivo superplastificante nos concretos de controle e com substituição por agregados reciclados. O autor concluiu que conforme aumentou-se a proporção de agregado reciclado, foi necessário aumentar a dosagem de aditivo. Kim (2022) concluiu em sua pesquisa que o parâmetro que mais afeta as propriedades mecânicas em estado fresco em endurecido do concreto, foi a porcentagem de substituição de resíduo, do que pelo número de reciclagens.

Deste modo, o processo de ciclos de reciclagem apresenta-se como um conceito novo dentro da construção civil e que necessita de uma área maior de pesquisa para que haja maior base de dados para uma análise mais completa. Sendo assim, os trabalhos apresentados demonstram que é possível a realização da multirreciclagem de agregados e que as propriedades sofrem alterações conforme é realizado os ciclos. Assim sendo, o cenário de reciclagem de agregados já possui visibilidade no mercado, o que fomenta a percepção da necessidade de reciclagem de agregados e sua possibilidade de desenvolver um ciclo de reciclagem.

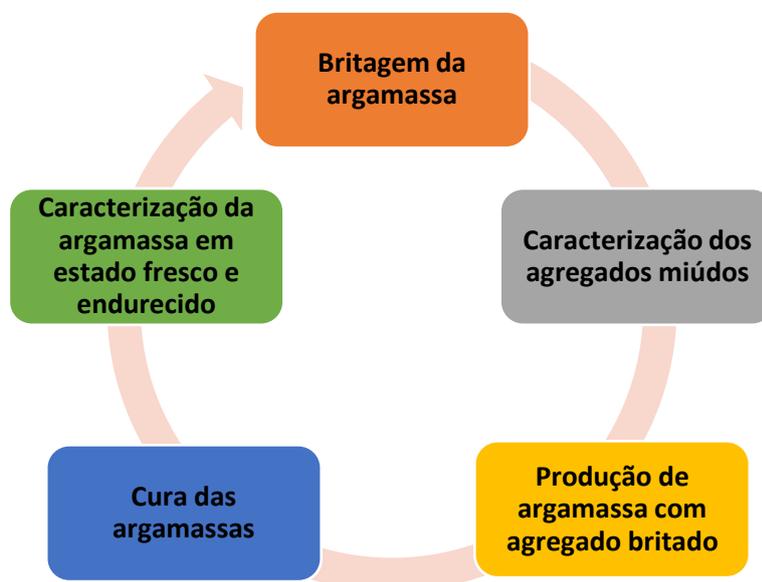
3 METODOLOGIA

3.1 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para atender os objetivos desta pesquisa, foi desenvolvido um programa experimental para apresentar a preparação, descrição e análise dos ensaios realizados no decorrer do trabalho. Neste capítulo, serão abordadas as variáveis de estudo, a descrição dos materiais utilizados, os procedimentos de teste e os métodos aplicados na obtenção dos resultados.

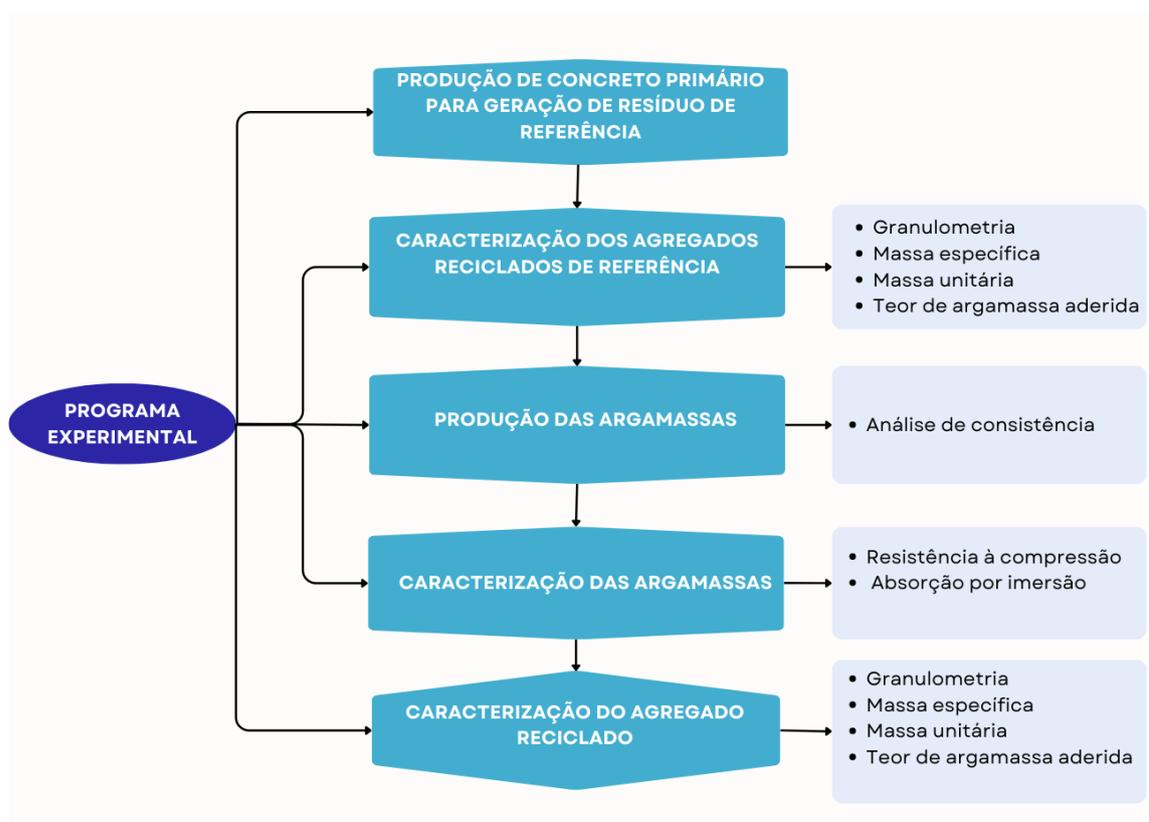
Para a presente pesquisa, o método da reciclagem cíclica utilizado consistiu em britar um concreto ou argamassa, transformando-o em agregado miúdo com a finalidade de produção de argamassa. E após esse processo inicial, essa argamassa é submetida novamente à britagem, criando ciclos de reciclagem conforme a Figura 4. Neste capítulo será apresentada a caracterização dos materiais por meio de ensaios e os métodos utilizados conforme a Figura 5, tornando possível gerar resultados que permitam a análise da eficiência técnica dos agregados e argamassas gerados.

Figura 4 - Fluxograma de reciclagem cíclica



Fonte: A Autora

Figura 5 - Fluxograma do programa experimental



Fonte: A Autora

Em um primeiro momento, foi produzido o concreto primário, que foi britado, gerando o agregado miúdo referência, para que as propriedades iniciais do material fossem conhecidas e assim, entender a origem do comportamento dos materiais gerados à base desse concreto, conforme mostra o fluxograma da Figura 5. A geração desse resíduo foi realizada por meio da britagem desse concreto em um britador mecânico de mandíbulas.

Em seguida, foram produzidas argamassas com substituição de 100% de agregado miúdo natural, por ARCO, após a cura dessa argamassa e realizado os ensaios de caracterização, a argamassa passou por um processo de britagem novamente.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Para os agregados naturais grãos e miúdos e agregados reciclados de concreto miúdos, foram realizados os ensaios de granulometria, absorção de água por imersão, massa unitária e massa específica, com suas respectivas normas, conforme o Quadro 2. A caracterização desse agregado tem como objetivo entender as possíveis características que os produtos obtidos a partir do agregado reciclado venham apresentar.

Quadro 2 - Ensaio de agregados naturais para concreto

Ensaio de agregados naturais para concreto	
Granulometria	NBR 17054 (2022)
Absorção agregado graúdo	NBR 16917 (2021b)
Absorção agregado miúdo	NBR 16916 (2021c)
Massa unitária de agregado graúdo	NBR 16972 (2021d)
Massa unitária de agregado miúdo	NBR 16972 (2021d)
Massa específica de agregado graúdo	NBR 16917 (2021b)
Massa específica de agregado miúdo	NBR 16916 (2021c)

Fonte: A Autora

A caracterização do ARCO será composta pela granulometria conforme a NBR 17054 (ABNT, 2022), em que a análise da granulometria conjuntamente ao módulo de finura é necessária para entender a demanda de água para manter a trabalhabilidade constante para as argamassas produzidas.

Também foram realizados os ensaios de massa unitária, seguindo a norma NBR 16972 (ABNT, 2021d) para agregados miúdos e graúdos. Para a massa específica de agregado miúdo seguindo a NBR 16916 (ABNT, 2021c) e ensaio de massa específica de agregado graúdo seguindo a NBR 16917 (2021b).

O ensaio de massa unitária apresenta resultados de maneira indireta do empacotamento dos grãos e índice de vazios dos agregados. Já o ensaio de massa específica traz resultados que ajudam a compreender a composição do agregado reciclado, já que a argamassa possui massa específica menor que de agregados naturais.

O ensaio de absorção em agregados graúdos segue a NBR 16917 (2021b) e para agregados miúdos o ensaio é realizado conforme a NBR 16916 (2021c). E tem como objetivo analisar o teor de água absorvido pelo agregado, que quando apresenta alta porosidade interligada, tende a absorver mais água.

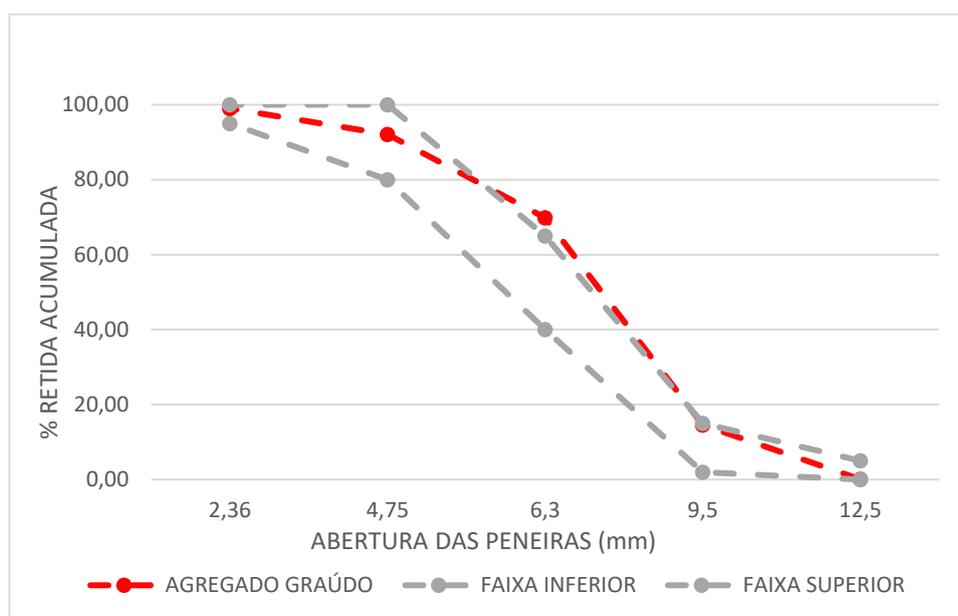
O ensaio de teor de argamassa aderida foi realizado conforme o método desenvolvido por Krüger (2021), com a separação de porções de 50g em cada fração de granulometria analisada 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm e 0,15mm nos agregados A, B, C e D. Primeiramente, foi realizada lavagem desse material para a retirada de material pulverulento e seco na estufa, e então, foi pesado. Logo após, os agregados foram submetidos a imersão em solução de HCl com concentração de 0,9 g/mL, então foram lavados em uma peneira de 0,075 mm, secos e pesados

novamente. Em seguida, os agregados foram peneirados em peneiras de suas respectivas frações para pesar a massa retida e passante.

3.2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS NATURAIS

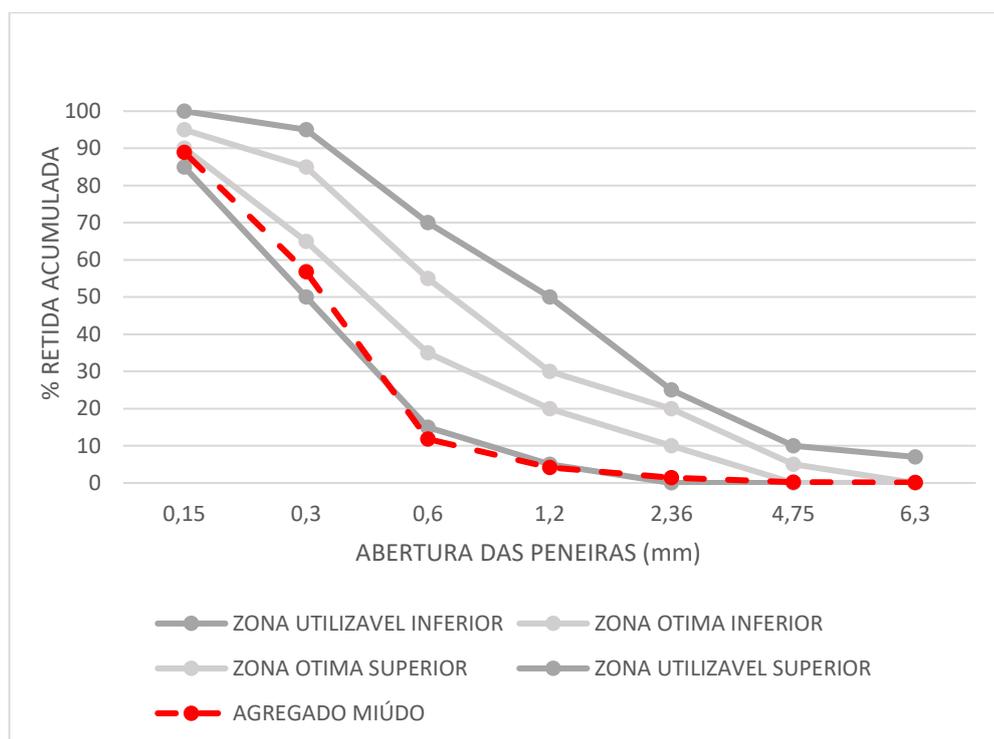
Para a produção do concreto inicial foi utilizado agregado graúdo de basalto e areia como agregado miúdo, ambos disponíveis no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Estadual de Ponta Grossa, que apresentou granulometria conforme o gráfico da Figura 6 para agregado graúdo e o gráfico da Figura 7 para agregado miúdo. As demais características dos agregados utilizados como massa específica, massa unitária e absorção e suas respectivas normas são apresentados no Quadro 3.

Figura 6 - Análise granulométrica do agregado natural graúdo



Fonte: A Autora

Figura 7 - Análise granulométrica do agregado natural miúdo



Fonte: A Autora

Quadro 3 - Caracterização dos agregados naturais

ENSAIOS EM AGREGADOS PARA PRODUÇÃO DE CONCRETO			
ENSAIO	RESULTADO	UNIDADE	NORMA
Absorção agregado graúdo	0,87	%	NBR 16917 (2021)
Absorção agregado miúdo	0,20	%	NBR 16916 (2021)
Massa unitária de agregado graúdo	1,45	(g/cm ³)	NBR 16972 (2021)
Massa unitária de agregado miúdo	1,46	(g/cm ³)	NBR 16972 (2021)
Massa específica de agregado graúdo	3,00	(g/cm ³)	NBR 16917 (2021)
Massa específica de agregado miúdo	2,62	(g/cm ³)	NBR 16916 (2021)

Fonte: A Autora

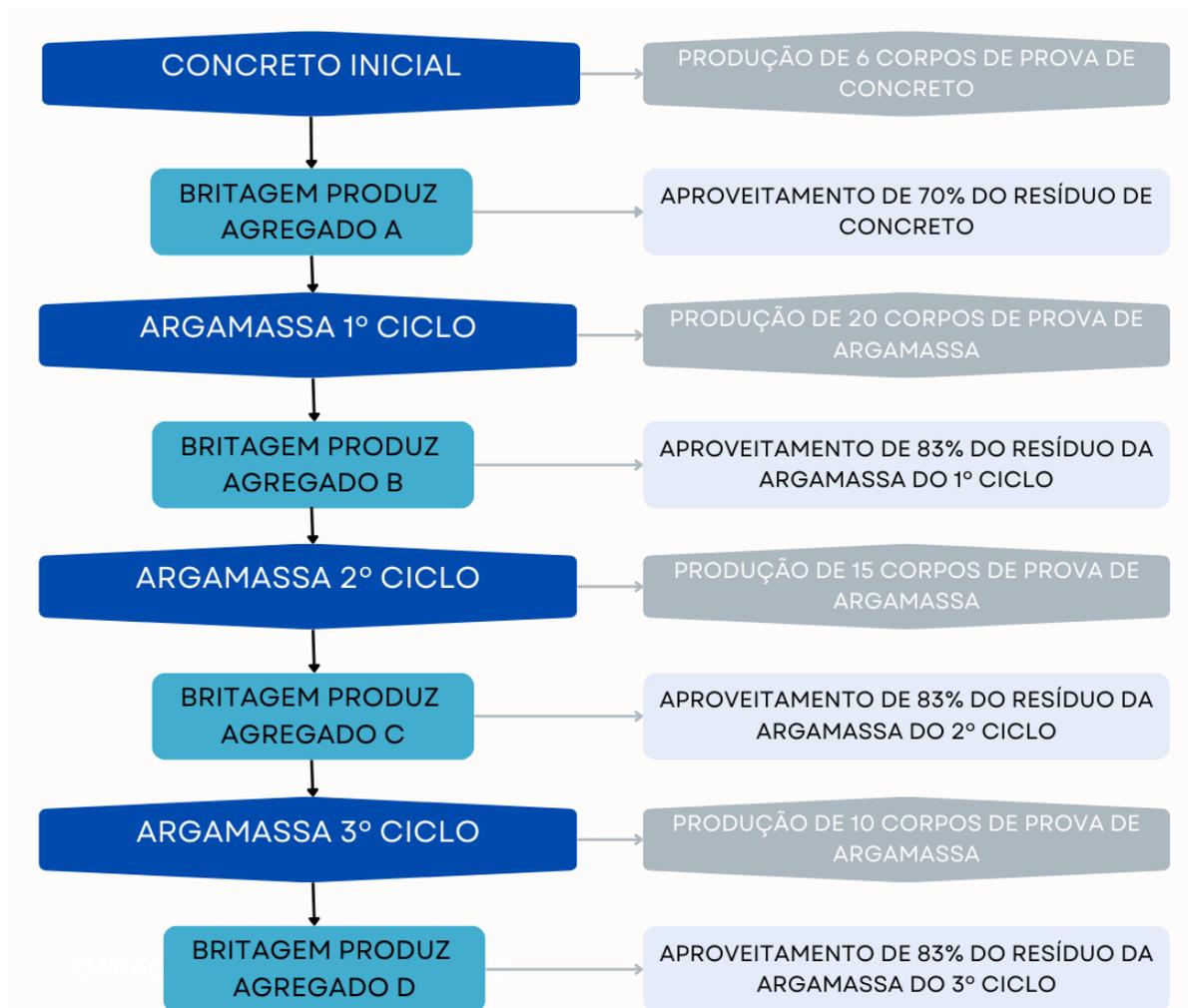
O agregado natural graúdo apresentou granulometria enquadrada na faixa de 4,75 mm – 12,5 mm, em que ultrapassou ligeiramente a faixa superior e agregado natural miúdo apresentou granulometria pouco abaixo da zona utilizável inferior.

3.2.2 PROCESSO DE BRITAGEM

O processo de britagem do concreto foi realizado por um britador de mandíbulas disponível no Laboratório de Materiais de Construção Civil na Universidade Estadual de Ponta Grossa. Foi realizado o processo de britagem (Figura 8) para que o material produzido ficasse com a granulometria passante na

peneira de 4,8mm, para ser caracterizado como agregado miúdo e pudesse ter o maior aproveitamento do resíduo utilizado. Este procedimento foi adotado em função dos equipamentos existentes no laboratório e para uma maior otimização da produção do agregado reciclado.

Figura 8 - Fluxograma da produção de agregados



Fonte: A Autora

Para o processo de britagem, foram realizados testes antecipadamente para analisar o aproveitamento dos agregados a serem gerados. Deste modo, o procedimento de britagem foi padronizado para todas as amostras de agregados provenientes de argamassa e o número de corpos de prova produzidos foi baseado numa estimativa inicial levando em conta o melhor aproveitamento do material, sem que houvesse desperdício e geração de material excedente. Além disso, outro fator relevante na produção dos agregados foi a limitação do rendimento do equipamento, levando em conta a perda de material no processo e a granulometria gerada no

processo de britagem. Já que nem todo material gerado estava dentro da granulometria estabelecida para ser utilizada para produção das argamassas.

Os agregados britados foram nomeados como agregado A, sendo o agregado produzido a partir do concreto inicial, sendo considerado também como agregado de referência, o agregado B é proveniente da britagem da argamassa do 1º ciclo de reciclagem, o agregado C provém do 2º ciclo de reciclagem e o agregado D foi produzido a partir do 3º ciclo de reciclagem.

3.3 CONCRETO

Foram produzidos 6 corpos de prova de concreto com Cimento Portland CPV ARI e o traço estabelecido. Para a definição do traço do concreto utilizado para produção do agregado reciclado inicial, foi realizada dosagem experimental em laboratório de forma que o concreto apresentasse boas características de consistência e coesão no estado fresco, considerando os agregados existentes.

Desta forma, ficou definido o traço em massa de 1 parte de cimento, 2,2 partes de areia, 3,7 partes de brita e relação água cimento de 0,6. Durante a confecção do concreto, foi realizado o ensaio de abatimento de tronco de cone conforme a NBR 16889 (ABNT, 2020), afim de obter a consistência do concreto e por sua vez, o aspecto da mistura conforme a dosagem adotada.

Após a cura do concreto, ele foi submetido ao ensaio de compressão aos 7 dias, seguindo a norma NBR 5739 (ABNT, 2018). O ensaio de compressão irá auxiliar na análise da resistência do ARCO que foi inserido na argamassa durante os ciclos de reciclagem, já que a qualidade dos agregados e a resistência mecânica do concreto primário afetam as propriedades das argamassas que serão produzidas com ARCO (SALESA *et al.*, 2017).

3.4 ARGAMASSA

Para a produção de argamassas, foi definido 20 corpos de prova para o 1º ciclo, 15 corpos de prova para o 2º ciclo e 10 corpos de prova para o 3º ciclo de reciclagem. O traço definido para a produção de todas as argamassas que foram moldadas, é de 1 parte de cimento para 3,2 partes de agregado miúdo reciclado de concreto produzidos conforme a NBR 15116 (ABNT, 2021e) e relação de água/cimento que foi alterada durante os ciclos.

O índice de consistência da argamassa no estado fresco, regido pela norma NBR 13276 (ABNT, 2016), foi mantido constante em 270 mm \pm 5 com a alteração da

relação água/cimento para que este resultado seja atingido. No 1º ciclo de reciclagem, foi utilizada a relação água/ cimento de 0,70, já para obter a consistência no 2º ciclo, foi necessário utilizar uma relação água/ cimento de 0,80 e no 3º ciclo a relação de água/ cimento aumentou para 1,00.

Após produção da argamassas, foi colocada em cura úmida por 7 dias, depois desse processo, ela foi submetida ao ensaio de resistência à compressão, conforme a NBR 7215 (ABNT, 2019) e ao ensaio de absorção de água, conforme NBR 9778 (ABNT, 2009).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

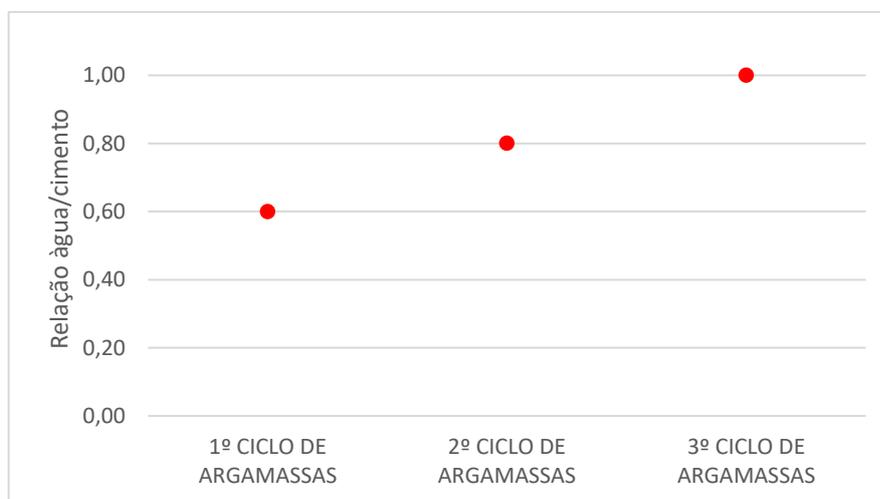
4.1 PRODUÇÃO DO CONCRETO INICIAL

O concreto no estado fresco apresentou o abatimento do tronco de cone de 9 cm e o ensaio de compressão foi realizado com 7 dias, apontando um concreto com valor médio de resistência à compressão de 31,66 MPa. As características do concreto inicial tendem a influenciar os agregados formados por esse concreto. Deste modo, concretos com maiores resistências mecânicas geram agregados que tendem a possuir maior resistência mecânica (SALESA *et al.*, 2017).

4.2 PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS

Todas as argamassas produzidas foram fixadas com o índice de consistência de 27 ± 5 mm, deste modo, a relação água/ cimento das argamassas foi corrigido ao decorrer dos ciclos para manter tal consistência. Deste modo, foi necessário realizar o aumento da relação água/cimento da argamassa no momento do amassamento (Figura 9).

Figura 9 - Relação água/cimento das argamassas



Fonte: A Autora

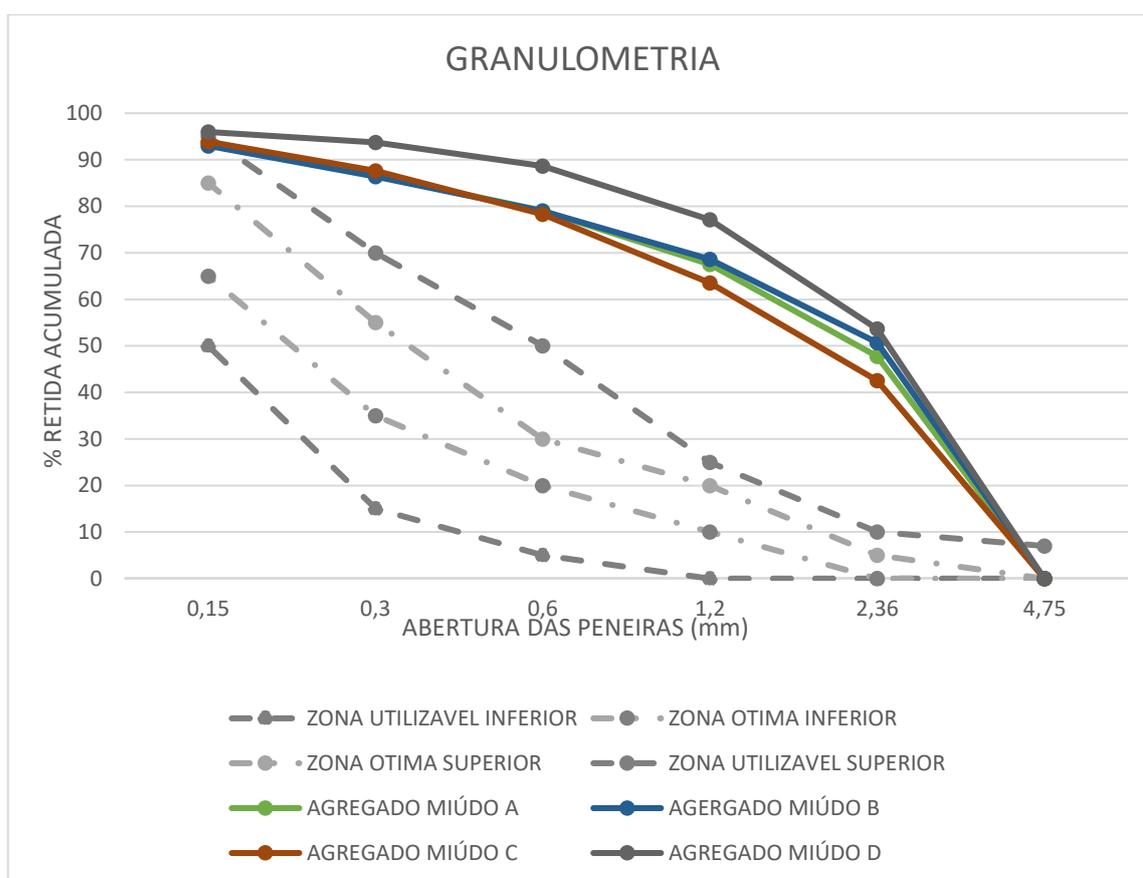
O ajuste de água de amassamento foi realizado durante o procedimento, por não se saber exatamente o comportamento do material durante sua produção. Foi observado durante o procedimento o aumento de material fino, maior absorção e adsorção de água dos agregados, que foi confirmado nos ensaios de granulometria e de absorção dos agregados.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

4.3.1 Granulometria

O gráfico presente na Figura 10 mostra, a comparação dos agregados A, B, C e D. O agregado miúdo A é proveniente da britagem do concreto inicial, já os agregados B, C e D são oriundos da britagem de argamassas, seguindo a ordem dos ciclos já mencionados na metodologia.

Figura 10 - Análise granulométrica dos agregados miúdos



Fonte: A Autora

Com isso percebe-se que o agregado proveniente de ARCO, em todos os ciclos apresentaram a faixa granulométrica acima da zona utilizável superior. Os agregados A (referência), B, C e D apresentaram essa granulometria devido a configuração do britador, que mesmo utilizando a regulagem com menor espaçamento entre mandíbulas, produz em sua maioria agregados com maior diâmetro, como mostra o Quadro 4.

Quadro 4 – Caracterização granulométrica dos agregados miúdos

CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA		
AGREGADO	DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA (mm)	MÓDULO DE FINURA
A	4,75	3,75
B	4,75	3,78
C	4,75	3,66
D	4,75	4,09

Fonte: A Autora

Segundo o Quadro 4, o agregado reciclado apresenta uma granulometria mais elevada devido ao processo de britagem ao qual é submetido. Durante a trituração, os resíduos são quebrados em pedaços menores para formar partículas de várias dimensões. A dimensão máxima característica ficou em 4,75 mm para agregados reciclados, já que a parcela a ser analisada foi definida como passante na peneira 4,75 mm.

Ao analisar as amostras de agregados miúdos A, B, C e D, observar-se que há uma diferença na quantidade de partículas de brita nas amostras. Isso pode ser atribuído à origem desses resíduos, no agregado A observou-se maior quantidade de partículas de brita, já que o material é proveniente da britagem de concreto. Enquanto que nos demais agregados analisados, a parcela de partículas de brita é reduzida por se tratar de resíduo de argamassa.

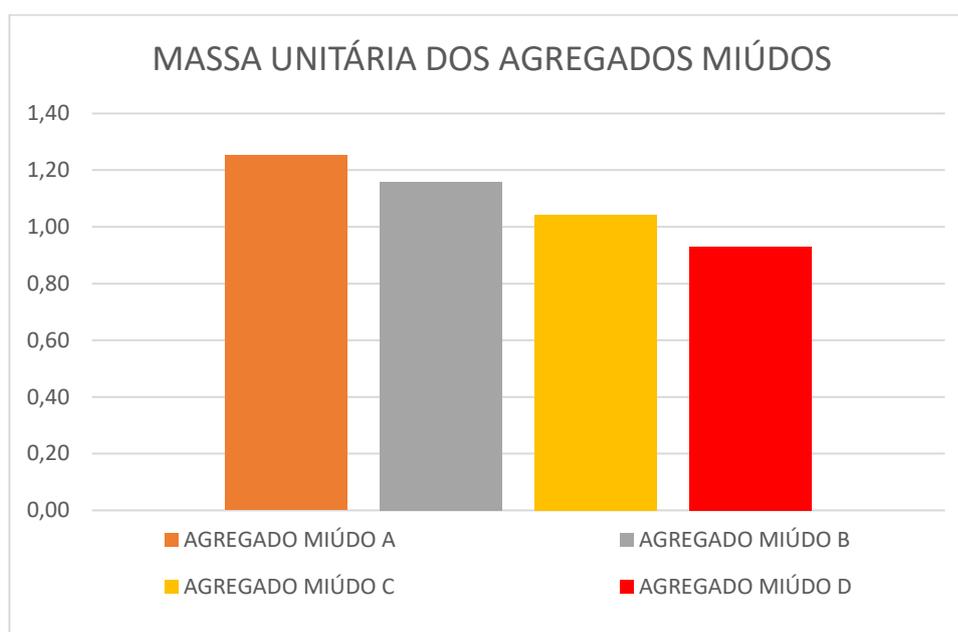
O gráfico de granulometria aponta que os agregados A, B e C possuem curva granulométrica parecida, enquanto que o agregado D mostrou aumento na porcentagem das frações mais finas. O agregado reciclado tende a não possuir comportamento parecido com o de agregados naturais devido ao seu processo de britagem e sua composição com argamassa aderida.

Esse material pode apresentar também alto valor de material pulverulento, material passante na peneira de 75 μm e assim, podendo afetar propriedades de uma argamassa, como trabalhabilidade, densidade e porosidade Kruger *et al.* (2020). Outra característica que um maior teor de finos pode apresentar é a maior adsorção de água nos agregados levando em conta sua maior superfície específica dada a sua granulometria mais fina.

4.3.2 Massa unitária

O ensaio de massa unitária de agregados é uma medida da quantidade de massa de um agregado por unidade de volume, utilizada para determinar as proporções corretas dos materiais na mistura de concreto ou argamassa (MEHTA; MONTEIRO, 2014). No gráfico da Figura 11 é possível observar uma variação da massa unitária gradual, conforme os agregados são reciclados.

Figura 11 - Massa unitária dos agregados miúdos



Fonte: A Autora

O agregado B aumentou a massa unitária em aproximadamente 7% em relação ao agregado A de referência, o agregado C aumentou cerca de 17% em relação ao agregado A e o agregado D aumentou cerca de 26% em relação ao agregado referência. Esse resultado pode indicar que a disparidade do valor da massa unitária dos agregados sugere diferença no empacotamento de partículas e também na densidade dos grãos, já que em um volume fixo, a massa unitária é proporcional a massa da amostra. Quanto menor a massa de agregado presente na amostra, a massa unitária tende a diminuir.

Segundo a literatura, em agregados reciclados de concreto, os valores de massa unitária tendem a ser menores, conforme o artigo de Campos *et al.* (2018) apontou uma massa unitária de 1,341 g/cm³, já Leite (2001) obteve o resultado de 1,21 g/cm³ e Frotté *et al.* (2017) apresentou 2,54 g/cm³, que apresentam variações decorrentes ao método de britagem e tipo de britador utilizado.

4.3.3 Teor de argamassa aderida

O teor de argamassa aderida dos agregados reciclados miúdos A, B, C e D foram determinados e são apresentados por fração e pela soma das suas frações no Quadro 5.

Quadro 5 - Análise de teor de argamassa aderida

PENEIRA (mm)	TEOR DE ARGAMASSA ADERIDA + PASTA			
	A	B	C	D
0,15	5,51	7,03	8,63	11,63
0,3	6,31	7,08	8,91	9,75
0,6	4,40	5,53	8,52	8,33
1,2	4,30	5,54	6,67	8,44
2,4	5,69	4,58	7,25	11,83
TOTAL	26,21	29,76	39,98	49,98

Fonte: A Autora

Analisando as frações granulométricas, é possível observar que as frações com menores grãos, apresentaram maior teor de argamassa aderida, reforçando o que é citado na bibliografia. Além disso, a fração das peneiras de 0,15 mm e 0,30 mm, foram as que apresentaram os maiores valores de teor de argamassa aderida e o agregado D a fração de 0,15 mm apresentou valor menor em relação a fração de 0,30 mm.

Ao analisar o teor de argamassa aderida em relação ao tipo de agregado, o Quadro 5 indica que o agregado D apresentou maiores valores dentre os demais. Isso se dá pela quantidade de vezes que o agregado foi reciclado, já que ao reciclar sequencialmente as argamassas, tende ocorrer uma diminuição de agregados naturais e aumento de pasta de cimento na composição destas argamassas.

4.3.4 Massa específica

A massa específica de um agregado está ligado as demais características do ARCO, como a porosidade, já que o agregado reciclado apresenta materiais com diferentes densidades, entre eles argamassas que possuem densidade menor do que a rocha de origem, por ter maior porosidade (TAVARES; KAZMIERCZAK, 2016). No Quadro 6 é apresentado os resultados da determinação da massa específica dos agregados reciclados. Além disso, a argamassa aderida pode apresentar poros

interligados podendo aumentar a absorção de água do ARCO (GONÇALVES, 2001b).

Quadro 6 – Massa específica do agregado miúdo

MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO MIÚDO		
AGREGADO MIÚDO A	2,46	g/cm ³
AGREGADO MIÚDO B	2,30	g/cm ³
AGREGADO MIÚDO C	2,16	g/cm ³
AGREGADO MIÚDO D	2,08	g/cm ³

Fonte: A Autora

Conforme mostra o Quadro 6, a massa específica dos agregados reciclados tendeu a diminuir conforme foram submetidos ao processo de reciclagem. Esse resultado está relacionado com o teor de argamassa aderida apresentada anteriormente. Já que ao aumentar o teor de argamassa aderida, o agregado apresenta maior porosidade conforme os ciclos.

Outro fator relevante para esse resultado foi o aumento da relação água/cimento necessária na produção das argamassas para produzir um compósito com características de consistência similares. Deste modo, ao aumentar a relação água/cimento, aumentou a quantidade de água livre e por fim, a quantidade de poros da argamassa, logo, o resíduo formado também apresentou mais poros.

4.3.5 Absorção dos agregados

O Quadro 7 mostra a absorção de água dos agregados reciclados miúdos, indicando que o teor de absorção de água dos agregados tende a aumentar conforme o agregado é reciclado. Isso pode ocorrer devido a diminuição da massa específica do agregado, já que quanto mais poroso é o material, menor é a sua massa específica, fazendo com que o agregado absorva a água presente no amassamento.

Quadro 7 – Absorção de agregado miúdo

ABSORÇÃO DE AGREGADO MIÚDO		
AGREGADO MIÚDO A	7	%
AGREGADO MIÚDO B	16	%
AGREGADO MIÚDO C	23	%
AGREGADO MIÚDO D	21	%

Fonte: A Autora

Segundo Leite (2001), a maior absorção do agregado reciclado se deve a argamassa aderida ao agregado natural. A autora também afirma que conforme o

agregado se apresente seco, com maior porosidade e menor dimensão, ele tende a absorver mais água.

Percebe-se que a absorção do agregado miúdo tendeu a aumentar, com exceção do agregado D, que obteve absorção ligeiramente menor que do agregado C. Este resultado pode indicar que as propriedades dos agregados reciclados de forma cíclica podem apresentar um valor constante em determinado ponto de reciclagem, como demonstra a pesquisa de Abreu *et al.* (2018), que em sua pesquisa aponta uma tendência a estabilidade das propriedades dos materiais submetidos a reciclagem cíclica.

4.3.6 Análise dos agregados

Por fim, pode-se observar de modo comparativo, no Quadro 8, a alteração das propriedades que os agregados reciclados de concreto apresentaram ao decorrer dos ciclos de reciclagem realizados como massa unitária, massa específica e absorção dos agregados.

Quadro 8 - Comparação dos resultados

QUADRO COMPARATIVO DOS AGREGADOS RECICLADOS				
	MASSA UNITÁRIA (g/cm ³)	MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)	ABSORÇÃO (%)	TEOR DE ARGAMASSA ADERIDA + PASTA
AGREGADO MIÚDO A	1,25	2,46	7	26,21
AGREGADO MIÚDO B	1,16	2,30	16	29,76
AGREGADO MIÚDO C	1,04	2,16	23	39,98
AGREGADO MIÚDO D	0,93	2,08	21	49,98

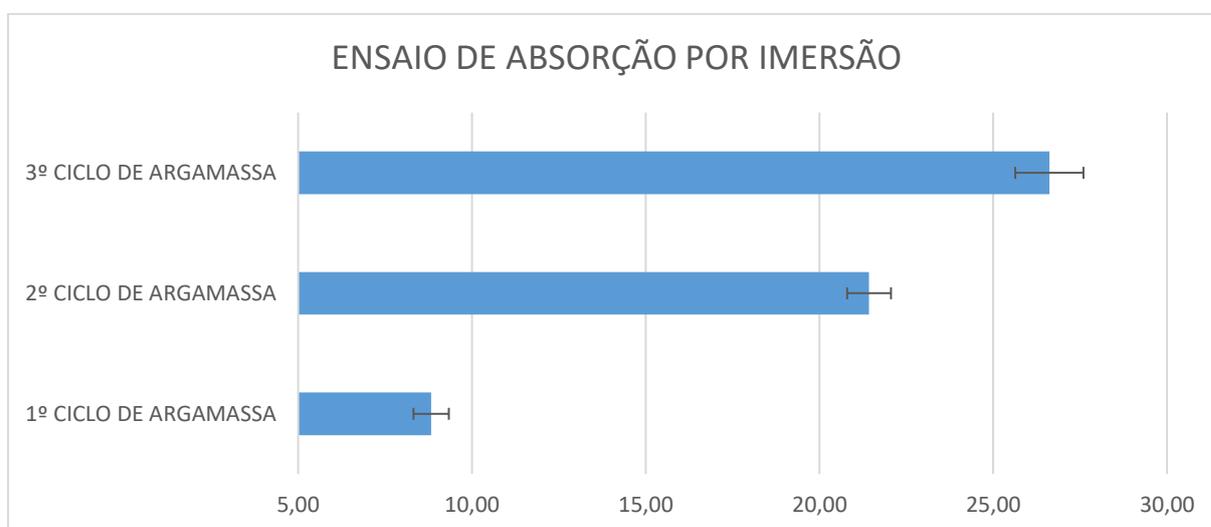
Fonte: A Autora

De modo geral, observa-se a queda no valor da massa unitária e da massa específica dos agregados que foram utilizados durante os ciclos e o aumento da absorção e teor de argamassa aderida. Indicando um aumento de poros nos agregados e maior adsorção de água pela quantidade de finos. Esta análise tende a induzir que ao aumentar o número de ciclos, o agregado tenderá a seguir essa linha de resultados, entretanto, como já apresentado na revisão da literatura, tais materiais podem tender a apresentar resultados constantes, o que pode ser confirmado com uma continuidade da pesquisa visando aumentar o número de ciclos.

4.4 ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

O ensaio de absorção por imersão das argamassas dos 3 ciclos de reciclagem apresentou os valores do gráfico da Figura 12, em que o 3º ciclo teve o maior valor de absorção. O teor de absorção cresceu conforme a reciclagem dos agregados, isso pode ser decorrente do aumento de argamassa aderida nos agregados, já que a porosidade do agregado influencia na porosidade da argamassa.

Figura 12 - Análise da absorção por imersão em argamassas



Fonte: A Autora

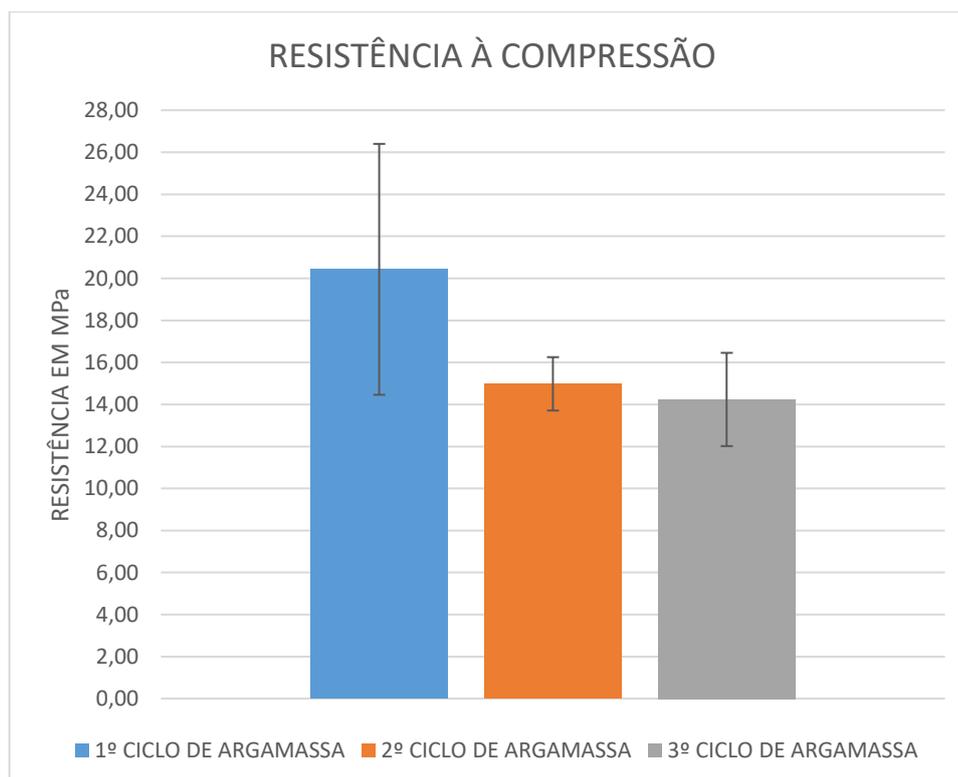
Outro fator que influencia nessa característica é a relação água/ cimento utilizada, que como citado anteriormente, foi aumentada no processo de produção das argamassas para manter consistência similar entre cada ciclo de produção. Deste modo, ao aumentar a quantidade de poros interligados da argamassa, aumenta sua permeabilidade.

A resistência à compressão pode ser influenciada por alguns fatores como a massa específica do agregado reciclado, a porosidade da argamassa e a quantidade de argamassa aderida nos agregados (CAMPOS, 2017). Bazuco (1999) e Cabral (2007) reforçam que a queda na resistência mecânica pode ser decorrente da porcentagem de argamassa presente nos agregados, já que a resistência mecânica tem ligação com a porosidade proveniente da argamassa, logo, baixando sua resistência.

Neste trabalho foi possível observar a diminuição da massa específica dos agregados, aumento no teor de argamassa aderida conforme foi realizado os ciclos

de reciclagem e aumento de absorção de água das argamassas durante os ciclos. Esperava-se que com o aumento da absorção de água, indicando o aumento dos poros na argamassa, ocorresse a diminuição da resistência mecânica das argamassas. Entretanto, o gráfico da Figura 13 não apresentou um resultado significativo na alteração dos valores das resistências levando em conta o desvio padrão utilizado.

Figura 13 - Análise do ensaio de resistência à compressão



Fonte: A Autora

Deste modo, sugere-se dar continuidade na pesquisa com o aumento do número de amostras utilizadas, já que com a quantidade estimada inicialmente, não é possível gerar mais material a partir do que foi produzido no primeiro ciclo, já que cada ciclo depende do ciclo anterior. Com um maior número de amostras é possível obter um menor desvio padrão para fazer uma análise com valores mais consistentes.

De maneira geral, a argamassa no estado endurecido foi afetada pela quantidade de água adicionada no amassamento, gerando mais poros e conseqüentemente a maior absorção de água para manter a consistência constante, como já apresentado, levando-se em conta a absorção e adsorção de água pelos agregados, gerados pela porosidade e grande superfície específica do mesmo. E

também foi influenciada pelo teor de argamassa aderida nos agregados reciclados, que como foi apresentado, aumentou conforme os ciclos.

Deste modo, o teor de argamassa aderida no agregado e a adição de água no amassamento induzem uma maior absorção de água da argamassa pelo aumento da porosidade da mesma e esperava-se que ocorresse também, a diminuição da resistência mecânica, já que tais propriedades estão ligadas entre si.

5 CONCLUSÕES

Portanto, conforme o que foi apresentado na pesquisa, foi possível analisar a eficácia técnica de um agregado reciclado de concreto que foi passado por 3 ciclos de britagem, por meio da avaliação das propriedades físicas e mecânicas das argamassas e agregados resultantes do resíduo concreto em cada ciclo de reciclagem. Deste modo, verificou-se que houve alteração nas propriedades dos agregados durante este processo, dentre estas propriedades estão a massa específica, massa unitária, absorção e teor de argamassa aderida. Nesta etapa também será apresentada as alterações presentes nas argamassas, como consistência, resistência à compressão e absorção por imersão.

- a) Massa unitária dos agregados reciclados: O valor da massa unitária dos agregados tendeu a diminuir ao passar dos ciclos e indicou de maneira indireta a diminuição da massa específica dos agregados reciclados.
- b) Teor de argamassa aderida dos agregados reciclados: Os ensaios de teor de argamassa aderida indicaram o aumento de presença de argamassa ligada aos agregados conforme foram realizados os ciclos. Além disso, houve uma maior concentração de argamassa aderida em agregados com menores granulometrias.
- c) Massa específica dos agregados reciclados: Houve uma diminuição do valor da massa específica nos agregados reciclados por mais vezes, esse resultado pode ter sido influenciado por dois fatores principais, como o aumento da relação água/ cimento durante a produção das argamassas e o aumento do teor de argamassa aderida nos agregados, fazendo que o mesmo apresentasse uma hipóteses de ter mais poros.
- d) Absorção dos agregados reciclados: O ensaio de teor de argamassa aderida em conjunto com o ensaio de massa específica, aponta que o agregado tendeu a absorver mais água no decorrer dos ciclos produzidos.
- e) Resistência à compressão da argamassa: A resistência à compressão das argamassas produzidas não apresentou valores significativos para indicar uma diminuição da resistência mecânica, já que com o desvio padrão não foi possível observar essa diferença expressiva. Devendo-se aumentar o número de amostras para obter um resultado mais consistentes.
- f) Absorção por imersão da argamassa: A absorção por imersão das argamassas apresentou valores maiores no 3º ciclo, seguido pelo 2º ciclo e o

indicou menor valor no 1º ciclo. Isso ocorreu pela alta porosidade dos agregados reciclados por mais vezes e pela relação água/ cimento que aumentou em cada ciclo.

Por fim, conclui-se que com os 3 ciclos de reciclagem ainda não é possível estabelecer se realmente há grande perda de desempenho. Já que os resultados podem continuar apresentando alteração ou pode ocorrer estabilização dos valores das propriedades. Para isso, deve-se aprofundar as pesquisas, analisando mais características que o agregado, argamassa e concretos podem apresentar com esse método de reciclagem e aumentando o número de amostras utilizadas para obter resultados mais consistentes.

Recomenda-se, como análise futura, a realização de mais ciclos de reciclagem para poder observar a alteração das propriedades dos agregados e das argamassas produzidas a partir desse material. Além disso, recomenda-se futuramente a realização de um pré-tratamento dos agregados para que haja uma menor absorção de água durante os ciclos, podendo assim, melhorar suas propriedades a fim de ficar mais próximo de agregados naturais.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2021**. 2021. ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, São Paulo, 2021.

ABREU, V.; EVANGELISTA, L.; DE BRITO, J. The effect of multi-recycling on the mechanical performance of coarse recycled aggregates concrete. **Construction and Building Materials**, v. 188, p. 480–489, nov. 2018.

ALMEIDA, R. G. **Estudos sobre análise do ciclo de vida e sua aplicação para concreto estrutural**. 2014. Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Brasília, 2014.

ANEPAC. **Mercado de agregados – Perspectivas para 2022**. Disponível em: <<https://www.anepac.org.br/relacionamento/noticias/item/491-mercado-de-agregados-perspectivas-para-2022>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

ANGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. 2005. Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ANGULO, S. C.; OLIVEIRA, L. S.; MACHADO, L. C. (EDS.). **Pesquisa setorial ABRECON 2019/2020: a reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil**. [s.l.] Universidade de São Paulo. Escola Politécnica, 2022.

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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13276 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7215 - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 16889 - Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR15116 - Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 16917 Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 16916 - Agregado miúdo — Determinação da densidade e da absorção de água**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 16972 - Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15116 - Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021e.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 17054 - Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BAZUCO, R. S. **Utilização de agregados reciclados de concreto para produção de novos concretos**. 1999. Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, v. 61, n. 358, p. 178–189, jun. 2015.

BRAVO, M. *et al.* Mechanical performance of concrete made with aggregates from construction and demolition waste recycling plants. **Journal of Cleaner Production**, v. 99, p. 59–74, jul. 2015.

BUTTNER, A. M. **Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto: influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados**. 2003. Mestrado em Estruturas – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. 2007. Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CAMPOS, R. S. **Concreto autoadensável produzido com resíduos de construção e demolição: propriedades mecânicas e reológicas**. 2017. Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, São Paulo, 2017.

CAMPOS, R. S. *et al.* Influência dos agregados reciclados nas propriedades reológicas e mecânicas do concreto autoadensável. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 23, n. 1, 5 mar. 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762018000100419&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 15 jun. 2023

CARASEK, H. *et al.* Estudo e avaliação de agregados reciclados de resíduo de construção e demolição para argamassas de assentamento e de revestimento. **Cerâmica**, v. 64, n. 370, p. 288–300, jun. 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. 307. Resolução nº 307. **136**, 2002, p. 95–96.

FERREIRA, E. T. D. A.; SOUZA, C. R. D. Waste Plan Penerated in Civil Construction. **Diversitas Journal**, v. 8, n. 2, p. 788–799, 2023.

FROTTÉ, C. *et al.* Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD. v. 22, n. 02, p. 1–17, 2017.

GONÇALVES, A. P. F. **Análise do desempenho de betões obtidos a partir de inertes reciclados provenientes de resíduos da construção**. 2001a. Dissertação (Mestrado em construção) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2001.

GONÇALVES, R. D. C. **Agregados reciclados de resíduos de concreto: um novo material para dosagens estruturais**. 2001b. Mestrado em Estruturas – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

GRABASCK, J. R. **Aspectos e impactos ambientais decorrentes da extração de agregado natural e produção de agregado reciclado: estudo de caso no rs**. 2016. Metrado em Engenharia Civil – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2016.

KIM, J. *et al.* Influence of Mix Design on Physical, Mechanical and Durability Properties of Multi-Recycled Aggregate Concrete. **Materials**, v. 16, n. 7, p. 2744, 29 mar. 2023.

KIM, J.; JANG, H. Closed-loop recycling of C&D waste: Mechanical properties of concrete with the repeatedly recycled C&D powder as partial cement replacement. **Journal of Cleaner Production**, v. 343, p. 130977, abr. 2022.

KRUGER, P. *et al.* Influência do teor de material pulverulento (<75 µm) do agregado miúdo de resíduos de construção e demolição em argamassas de cimento Portland. **Cerâmica**, v. 66, n. 380, p. 507–515, dez. 2020.

KRÜGER, P. **Efeito de diferentes teores de resíduo de gesso sobre o ataque interno por sulfato em argamassas incorporando agregados reciclados de concreto (arc) ou misto (arm)**. 2021. Doutorado em Engenharia e Ciências dos Materiais – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2021.

LEAL, A. P. Resíduos da construção civil: uma revisão sobre as possibilidades de aplicação. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 7, n. 6, p. 459–483, 30 jun. 2021.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. Universidade Estadual do Rio Grande do sul, Porto Alegre, 2001.

LOPES, D. P. *et al.* Reciclagem de resíduos da construção civil no Brasil. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 9, n. 1, p. 926–940, 31 jan. 2023.

LOVATO, P. S. **Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto**. 2007. Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

MARIE, I.; QUIASRAWI, H. Closed-loop recycling of recycled concrete aggregates. **Journal of Cleaner Production**, v. 37, p. 243–248, dez. 2012.

MEDINA, C. *et al.* Influence of mixed recycled aggregate on the physical – mechanical properties of recycled concrete. **Journal of Cleaner Production**, v. 68, p. 216–225, abr. 2014.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 3ª ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

PELLISSARI, V. **Propriedades de concretos produzidos através da utilização de agregados reciclados de concreto**. 2016. Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

PINHEIRO, C. DO S. DA S.; MENDES, R. L. R.; OLIVEIRA, M. J. DE. Impactos socioambientais causados pela extração de areia e seixo. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 15, n. 1, p. 152–166, ago. 2018.

RODRIGUES, C. R. D. S.; FUCALE, S. Dosagem de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo da construção civil. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 1, p. 99–111, mar. 2014.

SALESA, Á. *et al.* Physico – mechanical properties of multi – recycled concrete from precast concrete industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p. 248–255, jan. 2017.

SHMILLS, M. *et al.* Multicriteria based optimization of second generation recycled aggregate concrete. **Case Studies in Construction Materials**, v. 17, p. 16, dez. 2022.

SILVA, S.; EVANGELISTA, L.; DE BRITO, J. Durability and shrinkage performance of concrete made with coarse multi-recycled concrete aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 272, p. 121645, fev. 2021.

TAVARES, L. M.; KAZMIERCZAK, C. S. The influence of recycled concrete aggregates in pervious concrete. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 9, n. 1, p. 75–89, fev. 2016.

TENÓRIO, M. D. O. **Propriedades de agregados reciclados carbonatados para aplicação em concreto**. 2016. Mestrado em Estruturas – Universidade Estadual de Alagoas, Maceió, 2016.

THOMAS, C. *et al.* Macro- and micro- properties of multi-recycled aggregate concrete. **Journal of Cleaner Production**, v. 245, p. 12, fev. 2020.

WANG, B. *et al.* A Comprehensive Review on Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 171, p. 105565, ago. 2021.

ZHANG, H. *et al.* Influence of the moisture states of aggregate recycled from waste concrete on the performance of the prepared recycled aggregate concrete (RAC) – A review. **Construction and Building Materials**, v. 326, p. 126891, abr. 2022.

ZHU, P. *et al.* Durability evaluation of three generations of 100% repeatedly recycled coarse aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 210, p. 442–450, jun. 2019.

ZOTTI, A. **A reutilização de resíduos de construção e demolição (rcd) na construção civil**. 2022. Mestrado em Engenharia da Construção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Bragança, 2022.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
BIBLIOTECA CENTRAL PROF. FARIS MICHAELE
TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO NA BDTM

Identificação do Autor: (*)

Nome: Rafaela Bueno da Silva

RG: 14.706.381-4 CPF: _____ e-mail: rafaela_bueno100@outlook.com

Telefone: _____ Celular: 42 99988-3027

Curso: Engenharia Civil

Identificação do Orientador:

Nome: Patricia Kruger

RG: _____ CPF: _____ e-mail: pkruiger@uepg.br

Telefone: _____ Celular: 42 99915-6939

Departamento: Departamento de Engenharia Civil

Identificação do Documento:

Título: ESTUDO DA RECICLAGEM CÍCLICA DO RESÍDUO DE CONCRETO PARA ANÁLISE DE EFICIÊNCIA COMO
AGREGADO MIÚDO

Palavras-chave: Reciclagem cíclica, ciclo de vida, agregado reciclado.

Monografia/Trabalho de Conclusão de Curso: () Graduação () Especialização Ano de Conclusão: 2023

LICENÇA DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

Ao assinar e entregar esta licença, o (s) autor (es) :

a) Concede à UEPG o direito não-exclusivo de arquivar, reproduzir, divulgar e/ ou distribuir o documento submetido (incluindo o resumo/abstract) em formato digital e em qualquer meio.

b) Declara que o documento submetido é um trabalho original de sua autoria e/ou que detém o direito de ceder os direitos contidos nesta Licença. Declara também que a submissão do documento não infringe, até onde lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

c) Se o documento submetido contém material para qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização irrestrita do detentor destes direitos, para ceder à UEPG os direitos requeridos nesta Licença, e que tal detentor está claramente identificado e reconhecido dentro do texto submetido.

d) Se o documento submetido é baseado em trabalho patrocinado ou financiado por agência ou organização que não a UEPG, declara que atendeu todos os direitos e obrigações requeridos no respectivo contrato ou acordo.

A UEPG identificará claramente o(s) seu(s) nome(s) como detentor (es) dos direitos do documento submetido, e que não fará qualquer alteração, além das autorizadas por esta Licença.

TERMO DE AUTORIZAÇÃO

Na qualidade de titular dos direitos de autor do conteúdo supracitado, autorizo a Biblioteca Central da Universidade Estadual de Ponta Grossa a disponibilizar a obra, gratuitamente de acordo com a licença pública *Creative Commons Licença 4.0 Unported* por mim declarada sob as seguintes condições:

Permitir uso comercial de sua obra?

() Sim

() Não

Permitir modificações em sua obra?

() Sim

() Sim, contanto que outros compartilhem pela mesma licença

() Não

A obra continua protegida por Direito Autoral e/ou por outras leis aplicáveis. Qualquer uso da obra que não o autorizado sob esta licença ou pela legislação autoral é proibido.

 Ponta G

PATRICIA KRUGER

Data: 18/12/2023 08:51:47-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do Orientador

 Ponta G

RAFAELA BUENO DA SILVA

Data: 17/12/2023 22:57:30-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do Autor

* Para trabalhos com mais de um autor, deverá ser encaminhado um termo assinado, individualmente, por cada um dos autores.