

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MARLON JOSHUA DE OLIVEIRA

ESTUDO DO CONCRETO PRODUZIDO COM AGREGADO RECICLADO MISTO

PATO BRANCO

2023

MARLON JOSHUA DE OLIVEIRA

ESTUDO DO CONCRETO PRODUZIDO COM AGREGADO RECICLADO MISTO

STUDY OF CONCRETE PRODUCED WITH MIXED RECYCLED AGGREGATE

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Dr^a. Caroline Angulski da Luz.

PATO BRANCO

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

MARLON JOSHUA DE OLIVEIRA

ESTUDO DO CONCRETO PRODUZIDO COM AGREGADO RECICLADO MISTO

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 22 de Junho de 2022.

Caroline Anguski da Luz

Doutorado em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - Sc
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

José Ilo Pereira Filho

Doutorado em Engenharia de Produção – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre -
Rs
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

José Miguel Etchalus

Mestrado em Qualidade Ambiental - Universidade Feevale, Novo Hamburgo - Rs
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

PATO BRANCO

2023

Dedico este trabalho à minha família e amigos, pelos momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço primeiramente a Deus e em sequência a minha orientadora Professora Dra. Caroline Angulski da Luz, pela sabedoria e paciência com que me guiou nesta trajetória.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Aos meus colegas de curso que ajudaram na realização desse projeto, em especial, Giovane José Carlessi, Bruno Gollo Kupkowski, João Pedro Pastre e André Bordignon.

Aos demais professores do curso que me auxiliaram até esse momento.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

“Nunca ande por trilhas, pois só irá
aonde outros já foram.”
(BELL; ALEXANDER, 2012).

RESUMO

Essa pesquisa foi conduzida para abordar a necessidade de soluções sustentáveis para a gestão de resíduos na construção civil. O objetivo principal foi avaliar o desempenho do agregado reciclado misto (ARM) - que é o resíduo descartado nas obras processado em moedores e transformado em agregado graúdo e miúdo dependendo da sua finalidade - como substituto do agregado natural (AGN), por meio de testes de resistência à compressão em corpos de prova de concreto. Foram analisadas três proporções de substituição do AGN pelo ARM: 0%, 20%, 40%, considerando um único traço de concreto. Esperava-se uma redução percentual na resistência devido ao alto teor de materiais cerâmicos presentes no ARM. No entanto, os resultados revelaram que os concretos com substituição de até 20% atingiram valores satisfatórios de resistência, superiores a 20 MPa conforme os requisitos estabelecidos pela normal. Assim, demonstrou-se a viabilidade do uso do agregado reciclado misto como uma alternativa sustentável na construção civil.

Palavras-chave: agregado; reciclagem; concreto; resíduos.

ABSTRACT

This research was conducted to address the need for sustainable solutions in waste management in the construction industry. The main objective was to evaluate the performance of mixed recycled aggregate (MRA) - which is the waste generated in construction sites, processed through grinders and transformed into coarse and fine aggregate depending on its purpose - as a substitute for natural aggregate (NA), through compression strength tests on concrete specimens. Three proportions of NA replacement by MRA were analyzed: 0%, 20%, and 40%, considering a single concrete mix. A percentage reduction in strength was expected due to the high content of ceramic materials present in the MRA. However, the results revealed that the concretes with up to 20% replacement achieved satisfactory strength values, exceeding 20 MPa as required by the standards. Thus, the feasibility of using mixed recycled aggregate as a sustainable alternative in the construction industry was demonstrated.

Keywords: aggregate; recycling; concrete; waste.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Resistência em MPA em dias do concreto	66
Gráfico 2: Abatimento e massa específica do concreto	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Materiais produzidos pelas unidades de reciclagem de RCC no Brasil, 2015.	31
Figura 2: Termos previstos pelo PLANARES	33
Figura 3: Situação dos PERS no Brasil	34
Figura 4: Usina fixa de reciclagem de entulhos	35
Figura 5: Usina móvel completa de resíduos	36
Figura 6: AGR produzido pela usina de reciclagem RENOVE em Francisco Beltrão - PR	37
Figura 7: Estrada pavimentada com AGR	38
Figura 8: Propriedades no estado fresco	40
Figura 9: Resistência a compressão x % de incorporação de agregado reciclado ...	41
Figura 10: Ensaio de granulometria ARM.	45
Figura 11: Ensaio da composição do ARM	46
Figura 12: Ensaio de caracterização físicas dos agregados.	47
Figura 13: Ensaio de massa unitária ARM e AGN	49
Figura 15: Aditivo superplastificante.....	53
Figura 16: Realização da medição de abatimento do concreto.....	54
Figura 17: Produção e armazenamento dos corpos de prova.....	56
Figura 18: Corpos de prova desmoldados	57
Figura 19: Retificação dos corpos de prova.	58
Figura 20: Ensaio de resistência a compressão.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 : Classificação do RCC de acordo com o CONOMA 307/2002	30
Tabela 2: Quantidade de RCC coletada pelos municípios no Brasil e regiões, 2010 a 2018	31
Tabela 3: Projeção de reciclagem de RCC por região do Brasil.	34
Tabela 4: Comparação das características físicas dos AGN e AGR.....	39
Tabela 5: Características físicas	39
Tabela 6: Resistência do concreto produzido com ARM	41
Tabela 7: Traço do concreto.....	52
Tabela 8: Resultados obtidos no ensaio de granulometria do ARM	61
Tabela 9: Resultados obtidos no ensaio de granulometria do AGN	61
Tabela 10: Composição do ARM.....	62
Tabela 11: Características físicas do AGN e ARM para brita 1	63
Tabela 12: Resultados dos ensaios com agregado miúdo.....	63
Tabela 13: Massa específica do concreto	64
Tabela 14: resultados da resistência a compressão dos corpos de prova	65

LISTA DE SIGLAS

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABRECON – Associação Brasileira de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

AGN – Agregado Natural.

AGR – Agregado Reciclado.

AIE - Agência Internacional de Energia.

ARCI – Agregado Reciclado Cimentício.

ARCO – Agregado Reciclado de Concreto.

ARM – Agregado Reciclado Misto.

ATT- Área de Transbordo e Triagem.

CA – Concreto armado

CIENTEC - Fundação da Ciência e da Tecnologia do Rio Grande do Sul.

cm - Centímetro.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente.

CP- Cimento Portland

CREA – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia.

d- Diâmetro

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

Fck- Valor de resistência característica de projeto

Fcm- Valor de resistência média do concreto

g- Gramas

GlobalABC - Aliança Global de Construções e Edifícios.

INT - Instituto Nacional de Tecnologia do Rio de Janeiro.

ITP/EPUSP - Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo e Universidade Estadual de São Paulo

Kg – Kilogramas

m – Metro

M_{ar} - Massa do recipiente mais o agregado.

mm - Milímetro.

MPa- Mega Pascal

M_r - Massa do recipiente vazio.

MU – Massa unitária

NBR – Norma Brasileira.

NM – Norma MERCOSUL

ρ_{ar} - Massa unitária do agregado.

PERS - Plano Estadual de Resíduos Sólidos.

PGRS – Plano de Gestão de Resíduos Sólidos.

PLANARES – Plano Nacional de Resíduos Sólidos.

RCC – Resíduos de Construção Civil.

RCD – Resíduos de Construção e Demolição.

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

V – Volume.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	26
1.1	Objetivos	28
1.1.1	Objetivo Geral.....	28
1.1.2	Objetivo específico	28
1.2	Justificativa.....	28
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	30
2.1	Resíduos da construção e demolição – RCD.....	30
2.1.1	Plano Nacional de Resíduos Sólidos.....	32
2.1.2	Usinas de reciclagem	35
2.1.3	Usina de reciclagem em Francisco Beltrão.	37
2.2	Estudos recentes sobre o uso do AGR em concreto.....	38
2.2.1	Características do agregado	38
2.2.2	Características do concreto produzido com AGR.....	40
3	METODOLOGIA	43
3.1	Descrição experimental.	43
3.2	Materiais e Métodos	44
3.2.1	Cimento	44
3.2.2	Agregados	44
<u>3.2.2.1</u>	<u>Granulometria do agregado graúdo.....</u>	<u>44</u>
<u>3.2.2.2</u>	<u>Massa específica e absorção do agregado graúdo</u>	<u>46</u>
<u>3.2.2.3</u>	<u>Massa unitária do agregado graúdo.....</u>	<u>48</u>
<u>3.2.2.4</u>	<u>Massa específica e unitária do agregado miúdo</u>	<u>49</u>
<u>3.2.2.5</u>	<u>Granulometria do agregado miúdo</u>	<u>51</u>
3.2.3	Concreto.....	52
<u>3.2.3.1</u>	<u>Dosagem do concreto</u>	<u>52</u>
<u>3.2.3.2</u>	<u>Produção do Concreto.....</u>	<u>52</u>
<u>3.2.3.3</u>	<u>Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone</u>	<u>53</u>
<u>3.2.3.4</u>	<u>Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova</u>	<u>55</u>
<u>3.2.3.5</u>	<u>Massa específica do concreto</u>	<u>56</u>
<u>3.2.3.6</u>	<u>Verificação da resistência a compressão do concreto.....</u>	<u>57</u>
4	DISCUSSÕES E RESULTADOS	61
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
	REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil, pelo seu alto consumo de energia, recursos naturais e produção de resíduos, é um grande contribuinte para geração da poluição no mundo. Segundo dados fornecidos pela Aliança Global de Construções e Edifícios - GlobalABC (2020) o setor foi responsável por 38% do total das emissões globais de CO₂ relacionadas a energia. A estimativa proposta pela Agência Internacional de Energia – AIE é de que até 2030 essa emissão reduza em 50% em emissões diretas e 60% das emissões indiretas.

As necessidades humanas e a busca pelo conforto através das construções geram não apenas esgotamento de recursos naturais e poluição do ar na produção dos materiais, mas também um descarte desenfreado de resíduos. Tendo em vista esses resíduos, infelizmente, é possível perceber que esse descarte não é feito de forma responsável. Segundo o Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Paraná - PERS/PR (2017) cerca de 92% dos 81 municípios que participaram da pesquisa não descartavam os resíduos de forma correta.

No Brasil, de acordo com Viera (2020) cerca 21% dos resíduos são reaproveitados, enquanto em outros países, como Alemanha, esse número salta para 90%. Ainda de acordo com ele, essa irresponsabilidade ecológica ocorre para diminuir os custos, tendo em vista que para transportar esse material a um local adequado, como uma usina de reciclagem, tem um custo, diferente de usá-los como aterro de forma irregular em uma área de terraplanagem.

Tendo em vista essa problemática, percebe-se o quanto é importante estudos consistentes sobre a reciclagem dos resíduos que mostrem quais são as melhores soluções encontradas para eles atualmente e os motivos pelos quais isso deva acontecer. Afinal são quase 6 milhões de toneladas de entulho por ano no Paraná e 98% dele pode ser reciclado de acordo com o Caderno técnico do CREA (Gregório, Vieira, Ribeiro, 2020). Com o avanço tecnológico surgiram algumas soluções ecológicas para esse descarte através das usinas de reciclagem de resíduos sólidos. Na região sudoeste do Paraná há uma usina de reciclagem em funcionamento que utiliza esse material reciclado em pavimentos.

Nesse sistema de reciclagem de entulho de descarte de obra, outra das soluções encontradas pela engenharia se dá pelo reaproveitamento dos resíduos

sólidos no uso da produção concreto, que é chamado de concreto reciclado/ecológico. A produção desse concreto consiste na moagem dos resíduos sólidos descartados nas obras e a utilização dele como agregado, seguindo as especificações de tamanho (ABNT NBR 7211:2022) e recomendações de que seu uso estrutural seja em obras de pequeno porte, unifamiliar de até 2 pavimentos, com resistência de até 20 MPa (ABNT NBR 15116:2021) - importante ressaltar que antes da atualização dessa regulamentação em 2021 ele não era utilizado de forma estrutural. Esse cenário mudou à medida que foram surgindo estudos sobre sua qualidade, o que traz boas perspectivas para sua melhora de aplicação no futuro.

Os agregados naturais, sendo os mais utilizados brita e areia, podem ser substituídos pelo agregado reciclado total ou parcialmente sem alterar de maneira significativa suas características mecânicas (Pelissari, 2016). Com isso há então resultados positivos que mostram que essa substituição pode ser viável e não vai afetar significativamente na resistência do concreto, entretanto, os agregados reciclados podem ter características diferentes a depender de sua produção, região e de onde ele foi retirado (material de descarte, demolição) e isso pode afetar de maneira significativa no resultado final do concreto.

Portanto faz-se necessário um estudo e apresentação de resultados quanto as características desse concreto com o agregado reciclado produzido na região, a fim de gerar conhecimento quanto ao seu uso.

Para que isso ocorra este trabalho será dividido em: referencial teórico, que trará informações básicas a respeito do tema com base em pesquisas dos principais autores e normas encontradas; metodologia, onde será abordada a forma como foi realizado o trabalho, bem como os ensaios e a produção do concreto embasados nas normas regulamentadas pela ABNT; resultados, que contará com gráficos e tabelas produzidas a partir dos ensaios realizados em laboratório, bem como a sua discussão; conclusão, capítulo final onde será apresentada a resposta à questão problema apresentada no estudo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar o comportamento do concreto produzido com agregado reciclado de misto para o uso estrutural.

1.1.2 Objetivo específico

- Identificar o melhor faixa de substituição dos agregados com base no seu comportamento mecânico e aspecto ambiental.
- Relacionar as características do agregado reciclado com o comportamento mecânico do concreto.
- Identificar as aplicações do concreto reciclado obtido baseado no seu comportamento mecânico.

1.2 Justificativa

Um dos fatores mais preocupantes da construção civil é a grande quantidade de resíduo produzido e descartado em obra, de acordo com dados recentes só nesse estado são produzidos por ano quase seis milhões de toneladas de entulho, e que cerca de 98% desse material poderia ser reaproveitado, entretanto como também divulgado essa atividade é incipiente, pouco debatida, e o principal problema: falta de dados confiáveis (Gregório, Vieira, Ribeiro, 2020).

Tendo em vista essa baixa taxa de reaproveitamento e o avanço da tecnologia, se torna possível e importante estudos sobre reciclagem dos materiais descartados em obras. Já existem algumas opções para a reciclagem e o emprego desse material reaproveitado em obras, seja como pavimento, concreto ou até mesmo decoração.

Uma das principais soluções é a implementação do uso do concreto reciclado, que consiste na substituição total ou parcial do agregado natural - AGN, extraído da natureza, pelo agregado reciclado - AGR, material descartado em obra moído através de usinas de reciclagem.

O grande entrave da implementação desse método é a pouca quantidade de usinas e, principalmente, a falta de divulgação dele (Gregório, Vieira, Ribeiro, 2020). O que pode ser percebido pela falta de estudo na grade atual do curso de engenharia civil da UTFPR - Campus Pato Branco sobre esse tipo de concreto, que não é visto nem mesmo nas ementas em matérias mais específicas sobre concretos especiais, embora, já tenha sido tema base para dissertações de mestrado e trabalhos de conclusão de curso no campus.

Com isso, mostra-se importante que ocorram estudos sobre o concreto reciclado com agregados obtidos na região a fim de comprovar se o método é eficiente e pode ser divulgado à estudantes e engenheiros da região para que tenham acesso a esse método e, futuramente, empregá-los em suas obras, fazendo com que seja utilizado em maior escala na região de Pato Branco - Pr. O que acarretaria em ser um grande diferencial, visto que, ainda não há ninguém no mercado utilizando o AGR em concretos nas obras da região.

Neste projeto será utilizado material reciclado oriundo de uma usina da cidade de Francisco Beltrão-PR, para produzir concretos com diferentes teores de substituição ao agregado natural.











2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Resíduos da construção e demolição – RCD

Os RCD ou RCC – resíduos da construção civil são os resíduos sólidos gerados durante um processo construtivo, seja ele uma reforma, demolição ou escavação (ABRECON, 2021). São gerados por ano quase 6 milhões de toneladas de RCC no estado, destes, 98% pode ser reciclado (Gregório, Vieira, Ribeiro, 2020).

Como citado anteriormente, a CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, órgão responsável por estabelecer limites, leis e normas federais quanto a poluição ambiental, classifica esses elementos descartados em quatro classes - A, B, C e D, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 : Classificação do RCC de acordo com o CONOMA 307/2002

	CARACTERÍSTICA DO MATERIAL	EMPREENHIMENTO (S) QUALIFICADO (A) A RECEBER
CLASSE A	são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras	 Usina de Reciclagem de RCD ABNT 15114/2004  Aterro de Inertes ABNT 15113/2004  Área de Transbordo e Triagem – ATT ABNT 15112/2004
CLASSE B	são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, EMBALAGENS VAZIAS DE TINTAS IMOBILIÁRIAS e gesso; (Redação Resolução nº 469/15)	 Usina de Reciclagem de RCD ABNT 15114/2004  Área de Transbordo e Triagem – ATT ABNT 15112/2004  Aterro Sanitário ABNT 15849/2010
CLASSE C	são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnológicas ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (redação dada pela Resolução nº 431/11).	 Aterro Sanitário ABNT 15849/2010  Aterro de Resíduos Não Perigosos ABNT 13896/1997
CLASSE D	São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetivos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (redação dada pela Resolução nº 431/11).	 Aterro de Resíduos Perigosos ABNT 10157/1987
	Observação: § 1º No âmbito dessa resolução consideram-se embalagens vazias de tintas imobiliárias, aquelas cujo recipiente apresenta apenas filme seco de tinta em seu revestimento interno, sem acúmulo de resíduo de tinta líquida.	

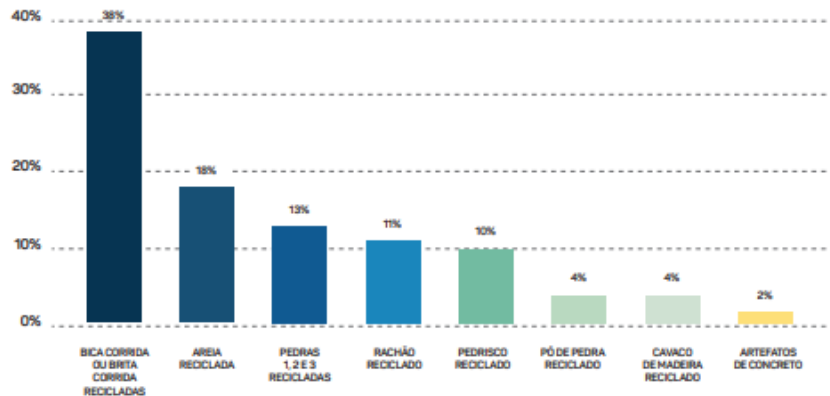
FONTE: ABRECON, 2017.

Com o aumento das construções também aumenta a produção de resíduos, que infelizmente, como relatado em pesquisa divulgada pelo PERS – PR 92% de 81 municípios do Paraná não descartam os resíduos de maneira correta (Gregório, Vieira, Ribeiro, 2020).

Diferente dos resíduos sólidos urbanos – RSU, os RCC são difíceis de degradar ou não degradáveis, o que dificulta a tentativa de diminuição do volume com

o passar do tempo desses descartes esgotando o espaço de disposição com maior rapidez (PLANARES, 2022). O RCC mais encontrado é o de argamassa, motivo pelo qual o material reciclável gerado em maior quantidade nas unidades de reciclagem de RCC é a bica ou brita corrida reciclada (PLANARES, 2022), conforme indicado no Figura 1.

Figura 1: Materiais produzidos pelas unidades de reciclagem de RCC no Brasil, 2015.



FONTE: ABRECON, 2015.

De acordo com a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição – ABRECON, o Brasil gera cerca de 84 milhões de m³ de RCC por ano, conforme a Tabela 2 com dados de 2010 a 2018.

Tabela 2: Quantidade de RCC coletada pelos municípios no Brasil e regiões, 2010 a 2018

Região	Coletado	Índice de coleta
	(ton/dia)	(kg/hab/dia)
Norte	4.709	0,259
Nordeste	24.123	0,425
Centro-Oeste	13.255	0,824
Sudeste	63.679	0,726
Sul	16.246	0,546
Brasil 2018	122.012	0,585
Brasil 2017	123.421	0,594
Brasil 2016	123.619	0,6
Brasil 2015	123.721	0,605
Brasil 2014	122.262	0,603
Brasil 2013	117.435	0,584
Brasil 2012	112.248	0,579
Brasil 2011	106.549	0,554
Brasil 2010	99.354	0,521

FONTE: ABRELPE, 2011-2019.

Este material recebe, de acordo com o SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, diferentes destinações que podem ser divididas entre: área de reciclagem, área de transbordo e triagem – ATT, Aterro, Unidades de Transbordo e Unidades de Triagem (PLANARES, 2022).

Área de reciclagem são as unidades que se dedicam a transformação dos resíduos e sua reintegração na construção civil.

ATT são as unidades de armazenamento e separação dos RCC, para posterior transferência a outras unidades.

Aterros local destinado à disposição final de RCC, após ter passado por processo de triagem.

Unidades de Transbordo: unidade dedicada ao armazenamento temporário para posterior transferência a outras unidades.

Unidades de Triagem (ou Galpão ou Usina de Triagem): unidade dedicada à triagem do RCC.

2.1.1 Plano Nacional de Resíduos Sólidos

O plano nacional de resíduos sólidos – PLANARES é um plano de ação desenvolvido pelo Ministério do Meio Ambiente de caráter macro que orienta por meio de diretrizes e metas a elaboração dos Planos de Resíduos Sólidos dos demais federados (PLANARES, 2022). Nele consta o Plano de Gestão de Resíduos Sólidos – PGRS (Art.14) que atua em conjunto com o PERS (Art.17) para garantir o cumprimento das metas estabelecidas pelo Governo Federal para que os estados e municípios recebam o subsídio do governo referente a limpeza urbana e ao manejo dos resíduos sólidos. Termos podem ser vistos na Figura 2.

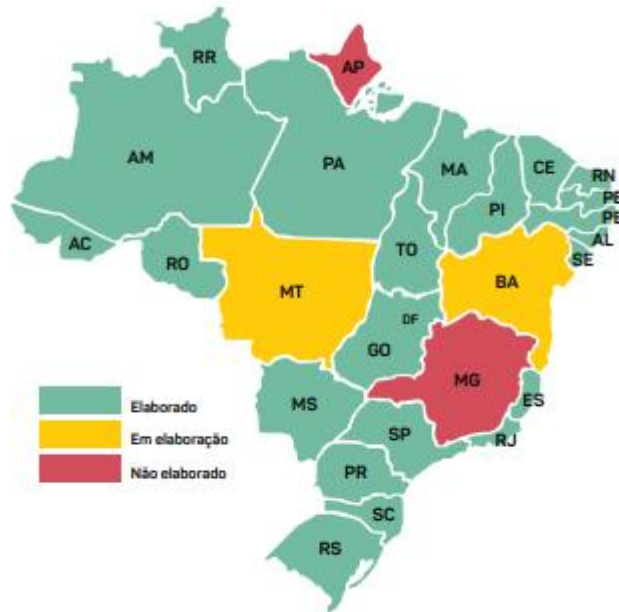
Figura 2: Termos previstos pelo PLANARES

- I. diagnóstico, incluída a identificação dos principais fluxos de resíduos no Estado e seus impactos socioeconômicos e ambientais;
- II. proposição de cenários;
- III. metas de redução, reutilização, reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada;
- IV. metas para o aproveitamento energético dos gases gerados nas unidades de disposição final de resíduos sólidos;
- V. metas para a eliminação e recuperação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;
- VI. programas, projetos e ações para o atendimento das metas previstas;
- VII. normas e condicionantes técnicas para o acesso a recursos do Estado, para a obtenção de seu aval ou para o acesso de recursos administrados, direta ou indiretamente, por entidade estadual, quando destinados às ações e programas de interesse dos resíduos sólidos;
- VIII. medidas para incentivar e viabilizar a gestão consorciada ou compartilhada dos resíduos sólidos;
- IX. diretrizes para o planejamento e demais atividades de gestão de resíduos sólidos de regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões;
- X. normas e diretrizes para a disposição final de rejeitos e, quando couber, de resíduos, respeitadas as disposições estabelecidas em âmbito nacional;
- XI. previsão, em conformidade com os demais instrumentos de planejamento territorial, especialmente o zoneamento ecológico-econômico e o zoneamento costeiro, de:
 - a. zonas favoráveis para a localização de unidades de tratamento de resíduos sólidos ou de disposição final de rejeitos;
 - b. áreas degradadas em razão de disposição inadequada de resíduos sólidos ou rejeitos a serem objeto de recuperação ambiental;
- XII. meios a serem utilizados para o controle e a fiscalização, no âmbito estadual, de sua implementação e operacionalização, assegurado o controle social.

FONTE: PLANARES, 2022

Com base no Relatório de Auditoria Anual de Contas da Controladoria Geral da União (Exercício de 2018), atualmente existem 23 planos de gestão de resíduos sólidos concluídos como visto na Figura 3.

Figura 3: Situação dos PERS no Brasil



FONTE: PLANARES, 2019

Apenas a região sul tem 100% do PERS concluído, Bahia e Mato Grosso encontra-se com plano em elaboração (mais que 7,5%) enquanto Minas Gerais e Amapá ainda não tem plano em elaboração (menos que 7,5%).

Esse acompanhamento dos planos estaduais é essencial para que os resultados das ações e metas planejadas sejam monitorados, o que torna possível verificar a sua eficácia e a realização de ajustes necessários para o bom funcionamento das metas.

A única meta estabelecida exclusivamente para os resíduos sólidos da construção civil e de demolição proposta pelo PLANARES é o aumento da reciclagem desses materiais, com o objetivo de que até 2040, pelo menos 25% dos RCC sejam reciclados, dados que estão propostos por região de acordo com a Tabela 3:

Tabela 3: Projeção de reciclagem de RCC por região do Brasil.

REGIÃO/ANO	2020	2024	2028	2032	2036	2040
Norte	0,27%	0,41%	0,55%	0,69%	0,83%	0,96%
Nordeste	1,40%	2,11%	2,82%	3,52%	4,23%	4,94%
Centro-Oeste	0,77%	1,16%	1,55%	1,94%	2,33%	2,72%
Sudeste	3,58%	5,56%	7,43%	9,30%	11,17%	13,05%
Sul	0,94%	1,42%	1,90%	2,37%	2,85%	3,33%
Brasil	7,08%	10,65%	14,24%	17,82%	21,41%	25%

FONTE: PLANARES, 2022

Os valores foram calculados a partir de uma interpolação linear considerando o valor atual de reciclagem e o valor final pretendido pela meta, a partir da proporção do RCC coletado em cada região, conforme Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019 (ABRELPE, 2019). O valor referente ao ano de 2020 foi a razão entre a massa recebida pelas unidades de reciclagem e o total de massa coletadas (PLANARES, 2022).

2.1.2 Usinas de reciclagem

Usinas de reciclagem de resíduos são certificadas pela ABRECON e classificadas em três tipos: fixa, móvel e híbrida.

As fixas são usinas construídas em um terreno cuja área varia de acordo com a capacidade de processamento dela, sua instalação tem um tempo médio de 30 dias, são economicamente mais acessíveis, entretanto limitadas se tratando em competitividade comercial (Machado, 2020) como apresentado na Figura 4.

Figura 4: Usina fixa de reciclagem de entulhos



FONTE: Machado, 2020

As usinas móveis são feitas sobre esteiras ou rodas e são compostas por 3 componentes principais: caminhão do tipo *Roll On Roll Off*, uma Britadeira Móvel e uma Peneira Rotativa Móvel atracada no caminhão, como apresentado na Figura 5.

A principal vantagem desse modelo é a mobilidade dela, se tornando versátil e lucrativo, geralmente esse tipo de usina é aconselhado para obras que apresentem um elevado produção de RCC.

Figura 5: Usina móvel completa de resíduos



FONTE: Machado, 2020

E as usinas híbridas são usinas que não são montadas sobre rodas ou esteiras, porém, podem ser transportas por caminhões.

O material chega até a usina e é enviado a um ATT para que ocorra a separação do material apenas de classe A (CONAMA 307/2002), então são enviados para um local de armazenamento de onde seguiram as esteiras e processados em britadores para a moagens nos tamanhos específicos determinados pela norma de granulometria (ABNT 7211/2019).

Ao todo existem mais de 350 usinas por todo o Brasil e sua maior parte está localizada no estado de São Paulo – cerca de 50%. Em sua maioria, em torno de 74%, são fixas, 20% são móveis e 6% são híbridas (ABRECON, 2022).

De acordo com relatório da ABRECON (2022), a melhor usina de reciclagem do Brasil se encontra em Cascavel – Paraná, a FUTURE, com nota de 94,36 na avaliação nacional, se tornando então a empresa modelo em sustentabilidade no ranking brasileiro.

Nesse processo para eleger a melhor usina de reciclagem em atuação no Brasil, foram avaliados aproximadamente 130 itens que compõem uma usina e influenciam diretamente na qualidade do trabalho. Entre eles: procedimentos,

documentação, capacidade de processamento, sistema de recepção de resíduos, processo produtivo, manutenção de equipamentos e controle de qualidade.

Estudos realizados em Pato Branco (Gularte, 2017) mostraram que a viabilidade para a instalação de uma usina de reciclagem na cidade é rentável, com recuperação do investimento em 12 anos, com probabilidade de 99,78%.

Figura 6 mostra os agregados produzidos a partir da reciclagem dos resíduos das obras.

Figura 6: AGR produzido pela usina de reciclagem RENOVE em Francisco Beltrão - PR



FONTE: própria, 2022.

2.1.3 Usina de reciclagem em Francisco Beltrão.

Na região sudoeste do estado do Paraná, em funcionamento pleno, existe apenas uma usina de reciclagem, na cidade de Francisco Beltrão. A Renove Soluções em Reciclagem, de acordo com Ediane Daleffe engenheira ambiental da empresa, demorou alguns anos para chegar ao resultado de moagem ideal. A empresa recebe o material das obras, verifica e separa pelas classes determinadas pelo CONAMA, essa verificação e separação dos resíduos é 100% manual.

A estabilidade dos britadores para a moagem da empresa se deu entre os anos de 2018/2019, segundo a engenheira com teste de pureza do material em 98,9% e com um custo 35% inferior ao do AGN, e com isso, hoje, é possível a realização de diversos granulometrias de moagem pelos trituradores, como mostrado na Figura 5, e já atua utilizando o AGR em pavimentações (Figura 7) o que permite uma boa compactação e permeabilidade, diminuindo os impactos causados no solo que outros tipos de pavimentações acarretariam.

Figura 7: Estrada pavimentada com AGR



FONTE: Czerniaski, 2019

Existem projetos em andamento em São Jorge e Realeza onde estão sendo construídas outras usinas de reciclagem.

2.2 Estudos recentes sobre o uso do AGR em concreto.

2.2.1 Características do agregado

Os agregados reciclados, em sua maior parte, apresentam algumas diferenças físicas sobre os agregados naturais, os estudos de caracterização

mostram, Tabela 4, uma menor massa específica, menor massa unitária, maior índice de vazios e maior absorção de água.

Tabela 4: Comparação das características físicas dos AGN e AGR.

Propriedade	AGN	ARC	Norma
Massa específica	2,821 kg/dm ³	2,515 kg/dm ³	NBR NM 53 (ABNT, 2009)
Massa unitária estado solto	1,471 kg/dm ³	1,290 kg/dm ³	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Massa unitária compactada	1,570 kg/dm ³	1,390 kg/dm ³	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Índice de vazios	44,34%	44,73%	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Material passante na peneira #75µm	0,52%	2,09%	NBR NM 46 (ABNT, 2003)
Absorção			
10 minutos	0,31%	2,59%	NBR NM 53 (ABNT, 2009)
30 minutos	0,34%	2,73%	
24 horas	0,53%	3,22%	

FONTE: Pelissari, 2016

Já em outros estudos mais recentes realizados (Gomes, 2021), mostram que, embora os resultados sejam semelhantes e encaminhem a um padrão, principalmente a brita, os agregados reciclados variam com maior frequência suas características físicas, devido a suas diferentes procedências, de acordo com a região, usina e material utilizado para a reciclagem, como percebido na Tabela 5.

Tabela 5: Características físicas

Parâmetros	Norma	Areia natural	Areia reciclada	Brita convencional	Brita reciclada
Massa específica	ABNT NBR 52:2009; ABNT NBR 53:2009	2,59 g/cm ³	2,69 g/cm ³	2,89 g/cm ³	2,31 g/cm ³
Massa unitária	ABNT NBR 45:2006	1,44 g/cm ³	1,46 g/cm ³	1,57 g/cm ³	1,20 g/cm ³
Dimensão máxima característica	ABNT NBR NM 248:2003	2,36 mm	4,75 mm	19 mm	19 mm
Módulo de finura	ABNT NBR NM 248:2003	2,06	2,03	6,94	6,79
Teor de material pulverulento	ABNT NBR NM 46:2003	0,9 %	11,1 %	0,2 %	1,2%

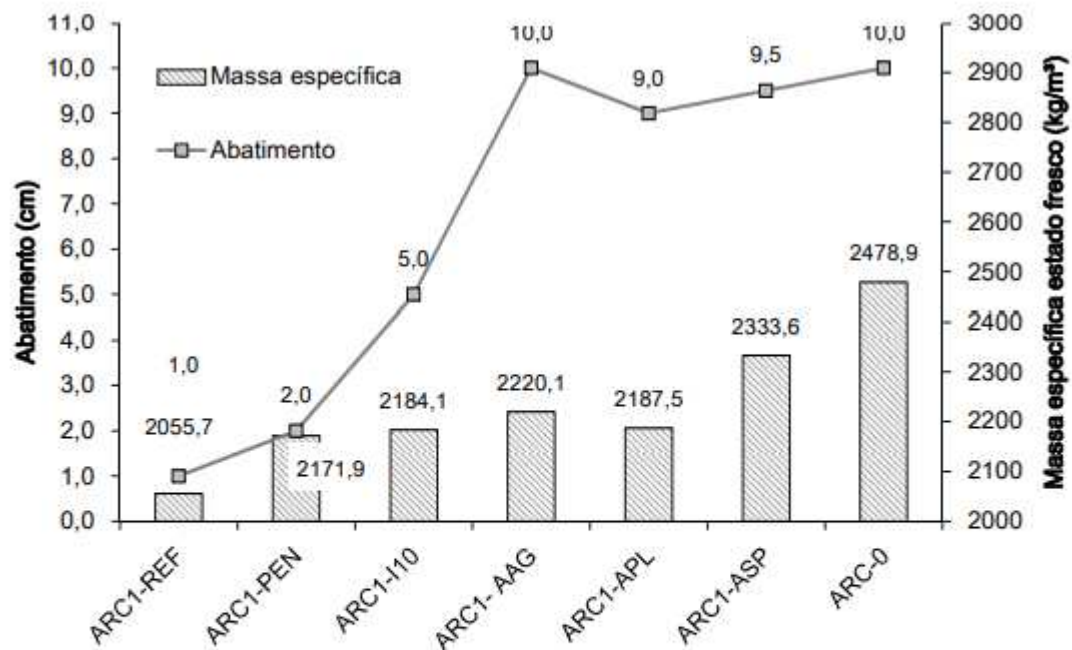
FONTE: Gomes, 2021

Além disso a utilização do ARM – agregado reciclado misto - reduz a trabalhabilidade, a massa específica seca e saturada do concreto e o módulo de elasticidade, e aumenta a absorção e o índice de vazios, a massa específica não sofre alterações relevantes em relação ao concreto produzido com AGN (Frotté, 2017).

2.2.2 Características do concreto produzido com AGR

No estado fresco, como mostrado na Figura 8, o concreto com agregado reciclado sem tratamento, apresenta menor abatimento, isso ocorre devido a sua alta capacidade de absorção, que resulta em um concreto com menor fluidez e consistência seca (Pelissari, 2016), resultados que foram comprovados também por Gerin, Sales e Nardin (2019) e Gomes (2021).

Figura 8: Propriedades no estado fresco

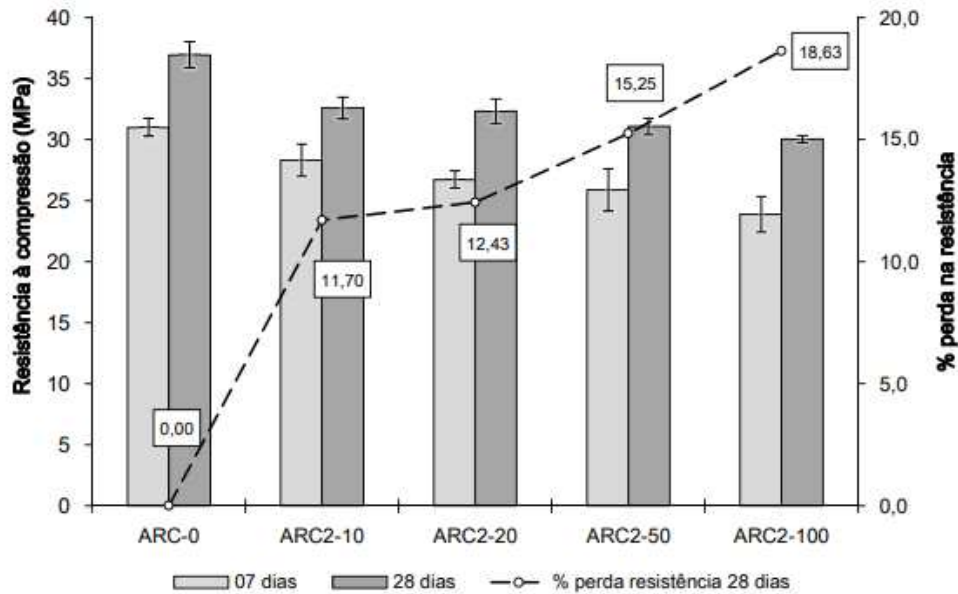


ARC-0: Concreto sem incorporação de ARC, produzido com 100% de agregados naturais.
ARC1-REF: sem nenhum procedimento para reduzir efeito da absorção
ARC1- AAG: adição de água suplementar
ARC1-APL: utilização de aditivo plastificante
ARC1-ASP: utilização de aditivo superplastificante
ARC1-I10: imersão prévia do ARC por 10 minutos
ARC1-PEN: peneiramento prévio do ARC

FONTE: Pelissari, 2016

Já em seu estado endurecido, a resistência à compressão se mostra satisfatória, Figura 9. Nota-se que embora quanto maior o índice de substituição menor a resistência, há uma redução na resistência à compressão de 11,69%; 12,41%; 15,78% e 18,63% para 10%, 20%, 50% e 100% de AGR incorporado, respectivamente (Pelissari, 2016), todas elas ficaram, em média, acima dos 30 MPa aos 28 dias.

Figura 9: Resistência a compressão x % de incorporação de agregado reciclado



FONTE: Pelissari, 2016

Ao analisar a literatura é notável que quanto maior utilização de AGR ocorre uma diminuição razoável da resistência a compressão do concreto, isso ocorre por conta das características dos agregados reciclados, ou seja, seus índices de vazios, resistência mecânica, absorção, entre outros. Entretanto, se comparar os trabalhos mais antigos como referência (Leite, 2001) em comparação a novos trabalhos (Pelissari, 2016), nos quais já existem diferentes tipos de tratamento e de agregados, é possível perceber que houve uma grande evolução e que essa perda está cada vez menor, o que traz para a comunidade da construção civil um vislumbre de um bom futuro para a utilização do AGR em maior escala e diferentes lugares.

Importante ressaltar que em estudos mais recentes (Salgado, Silva, 2021) foram obtidos ótimos resultados com ARM, onde os autores propõem que, em agregados com até 20% de materiais cerâmicos e até 20% de substituição do agregado, podem também ser considerados para ter seu uso aplicado em concreto estrutural, embora a norma atual apenas permita que isso aconteça com o concreto produzido com o ARM. Como pode-se perceber pela Tabela 6.

Tabela 6: Resistência do concreto produzido com ARM

	NA-100	MRA-20	RCA-20	RMA-20
Maximum compressive strength (MPa)	31.6 ± 0.8	28.8 ± 0.7	29.0 ± 1.3	27.0 ± 1.8
Modulus of elasticity (GPa)	27.2 ± 1.8	24.4 ± 2.5	38.5 ± 11.1	24.2 ± 1.5

FONTE: Salgado, Silva, 2021.

Pelos dados encontrados pelos autores é possível perceber que o concreto com o agregado reciclado teve uma perda relativamente baixa, o que qualifica estudos para uma revisão da norma futuramente com as melhorias do agregado reciclado e mais estudos que surjam sobre o tema.

3 METODOLOGIA

3.1 Descrição experimental.

A metodologia do trabalho, experimental e quantitativa, conta com o material obtido na usina de reciclagem descrita no item 2.1.3 e a partir desse material foram realizados ensaios a fim de caracterizar as diferenças físicas entre o AGN obtido do canteiro de obras da UTFPR e o AGR produzido pela usina, em específico brita 1 de ARM, destacando suas diferenças e conferindo se os materiais atendem as normas específicas.

Após a realização dos ensaios com os agregados descritos pelas normas ABNT NBR NM 248:2003 – composição granulométrica, ABNT NBR NM 53:2009 – massa específica, massa unitária, absorção e massa específica aparente do ARM e do AGN de brita 1 foram feitas as comparações entre os resultados para mostrar as diferenças físicas dos agregados e traçar uma relação entre as características dos agregados e as diferenças entre as resistências mecânicas dos concretos produzidos, e também as caracterizações físicas do agregado miúdo utilizado no concreto, a areia, pelas normas ABNT NBR 52:2002 – massa específica e ABNT NBR 248:2003 – composição granulométrica.

Foram realizadas produções de três diferentes argamassas para o mesmo traço, seguindo as recomendações da ABNT NBR 12655:2015 e com auxílio da literatura, sendo eles: 100% de AGN, 100% de ARM e o misto com 20% de cada tipo de agregado. O concreto foi dosado para atingir uma resistência de 25 MPa, devido a perda média de resistência de concreto produzido com agregado reciclado visto em trabalhos já realizados de 15%, com o objetivo de que o concreto com ARM produzido atingisse ao menos 20 MPa. O ARM foi saturado em água para que sua característica de absorção de água não influencie na retirada da água utilizada no traço.

Com o concreto obtido foi realizada, para cada um deles, o *slump test* – NBR NM 67:1998, que é a determinação da consistência do concreto pelo seu abatimento em um troco de cone, logo após então moldados, desmoldados e curados 27 corpos de prova, de acordo com a NBR 5738:2015, para cada um dos tipos de concreto, medidos e rompidos com 07, 14 e 28 dias, sendo 3 por dia, de acordo com a norma ABNT NBR 5739:2018, além da determinação da massa específica do concreto.

Por fim, com os resultados da compressão e as comparações entre a qualidade dos três traços de concreto, pôde-se então definir qual a faixa de substituição é o recomendado para o uso de acordo com a sua resistência e aspecto ambiental. Com isso então será indicado se o uso desse concreto pode ser utilizado em obras.

3.2 Materiais e Métodos

3.2.1 Cimento

O cimento utilizado para o desenvolvimento do trabalho foi o CP II F que contém adição de filler e classe de resistência à compressão de 32 MPa e a escolha desse cimento foram devidas as suas propriedades e a sua classe de resistência que atendiam os requisitos propostos.

Ele é caracterizado por possuir uma quantidade moderada de aluminato tricálcico (C3A) em sua composição, além da adição filler que é um material pulverulento de natureza inerte, que é adicionado ao cimento para melhorar a trabalhabilidade, resistência, durabilidade ou redução de custos. O filler pode ser um material como a sílica ativa, cinza volante, escória de alto-forno, entre outros.

3.2.2 Agregados

3.2.2.1 Granulometria do agregado graúdo

A determinação da composição granulométrica é o ponto de partida da pesquisa, além da análise visual. Essa determinação ocorreu seguindo as recomendações da NBR NM 248:2003.

Para ambos os tipos de agregados, foram seguidas as mesmas etapas. Primeiro passo foi a obtenção da amostra, e separar 2 amostras para o ensaio, posteriormente as amostras foram colocadas na estufa a 105° por 24 horas e esperou-se resfriar até a temperatura ambiente e determinou as suas massas (m_1 e m_2), logo após houve a separação das peneiras (19, 12.5, 9.5, 6.3 e fundo), limpas, e postas uma sobre a outra de modo que formem um único conjunto de peneiras. Assim colocar

cuidadosamente as porções da amostra 1 na peneira superior de forma que não se forme uma camada espessa do material, após acomodar o material tampar as peneiras foi promovida a agitação mecânica delas para que ocorra a separação e a classificação correta dos diferentes tamanhos dos grãos da amostra. A agitação foi feita em movimentos laterais e circulares.

Após a verificação de que a separação foi adequada, foram retiradas peneira a peneira, retirando todo o material preso em cada uma com o auxílio de uma escova e aferido a sua massa, determinando a massa total retida por cada peneira e fundo de peneira contidas no ensaio. Esse processo mais três vezes, totalizando quatro ensaios, dois para cada tipo de agregado (Figura 10).

Figura 10: Ensaio de granulometria ARM.



Fonte: Do autor, 2023.

Com o ensaio realizado foram obtidos:

- A porcentagem média retida em cada peneira;
- A porcentagem média retida acumulada em cada peneira;
- A dimensão máxima característica e o módulo de finura.

A partir disso os resultados obtidos pelo ARM e o AGN no item 4.

Por ter sido utilizado um agregado reciclado misto, a composição do agregado é muito variada, também foi realizado um ensaio manual para uma aproximação a fim de determinar a porcentagem de contribuição de cada diferente tipo de matéria contida no ARM. Para isso foram separadas 10 amostras de

aproximadamente 100 gramas (Figura 11) e divididas entre os três principais tipos de materiais encontrados: Materiais cerâmicos, materiais cimentícios e rochas.

Figura 11: Ensaio da composição do ARM



FONTE: Do autor, 2023.

Há também outros tipos de materiais como: gesso, argila e materiais pulverulentos, em mínima quantidade, como apresentado no item 4.

3.2.2.2 Massa específica e absorção do agregado graúdo

A massa específica, que é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis, do agregado graúdo é definida com o auxílio da ABNT NBR NM 53:2009.

Os aparelhos necessários foram:

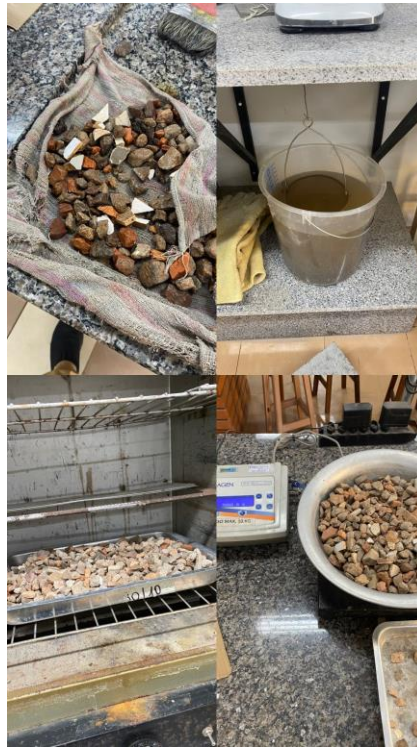
- Balança - Com capacidade mínima para 10 kg e resolução de 1 g;
- Recipiente - para conter a amostra deve ser constituído de um cesto de arame com abertura de malha igual ou inferior a 3,35 mm e capacidade para 4 dm³ a 7 dm³ para agregados de dimensão máxima característica de 37,5 mm;
- Tanque de água - Recipiente estanque para conter água onde será submerso o recipiente com a amostra;
- Peneiras de ensaio - Uma peneira com abertura nominal de 4,75 mm.

Primeiramente foi passada a amostra, pela peneira de 4,75 mm e descartado todo material que passar por ela, após isso o agregado foi lavado para

eliminar todo o pó contido nele e logo secado em estufa a 105°, e após retirado e deixado ao ar livre por 3 horas para que o material chegasse à temperatura ambiente.

Com o resfriamento concluído foi pesado a amostra e em seguida colocada submersa em água por 24 horas em temperatura ambiente, com o passar o tempo determinado o material foi retirado da submersão e secado a água aparente com auxílio de um pano e imediatamente após esse procedimento pesado, após a aferição do peso que representa a massa do agregado em condição saturada, foi realizado então o ensaio para a determinação da amostra em água, que consiste em colocar a amostra em um recipiente vazado (Item 4.2, NBR 53:2009) e colocado o recipiente vazado dentro de um recipiente de contenção com água para que se calcule a massa da amostra em água (Figura 12).

Figura 12: Ensaio de caracterização físicas dos agregados.



FONTE: do autor, 2023

Com os dados obtidos então tem-se a determinação da massa específica aparente pela Equação 1, massa específica pela Equação 2, e Absorção pela equação 3.

$$d = \frac{m}{m_s - m_a} \quad (1)$$

Onde:

- d = é a massa específica aparente (g);
- M = é a massa ao ar da amostra seca (g);
- M_s = é a massa ao ar na condição saturada(g);
- M_a = é a massa em água da amostra (g);

$$Me = \frac{m}{m - ma} \quad (2)$$

Onde:

- Me = é a massa específica (g);
- M = é a massa ao ar da amostra seca (g);
- M_a = é a massa em água da amostra (g);

$$A = \frac{ms - m}{m} * 100 \quad (3)$$

Onde:

- A = é a absorção (%);
- M = é a massa ao ar da amostra seca (g);
- M_s = é a massa ao ar na condição saturada(g);

Todos os procedimentos citados foram realizados tanto para o AGN quanto para o ARM e todos resultados estão contidos no item 4.

3.2.2.3 Massa unitária do agregado graúdo.

De acordo com a norma NM 45:2006 massa unitária é relação entre a massa do agregado lançado em um recipiente e o volume dele, sem compactar o agregado considerando também os vazios entre os grãos e é definida pela Equação 4.

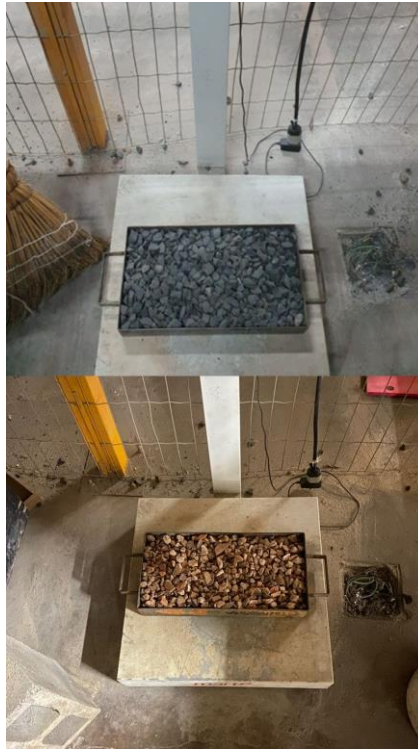
$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (4)$$

- p_{ar} = É a massa unitária do agregado (g/cm³);
- M_{ar} = É a massa do recipiente mais o agregado (g);
- M_r = É a massa do recipiente vazio (g);
- V = É o volume do recipiente (cm³);

Para a realização do ensaio foi pesado um recipiente vazio do qual foram retiradas as medidas a fim de calcular o seu volume, preenchido esse recipiente vazio com o

agregado sem compactá-lo e novamente aferido o peso do conjunto (Figura 13) e com isso então através da equação obteve-se os resultados mostrados no item 4 assim como os dados obtidos através dos ensaios.

Figura 13: Ensaio de massa unitária ARM e AGN



FONTE: Do autor, 2023.

Com os dados obtidos é possível perceber que condizem com os resultados esperados já obtidos anteriormente pela literatura, onde, houve uma alta taxa de absorção dos agregados reciclados, menor massa específica e massa unitária.

3.2.2.4 Massa específica e unitária do agregado miúdo

A massa específica, que é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis, do agregado miúdo e foi definida com o auxílio da ABNT NBR NM 52:2002.

A realização do ensaio carece dos seguintes aparelhos:

- Balança - com precisão de 1g/10kg;
- Fraco aferido - de 500 cm³ de capacidade, com erro inferior a 0,15 cm³ a 20°C;

- Molde de tronco cônico Metálico - de (40 ± 3) mm de diâmetro superior, (90 ± 3) mm de diâmetro inferior e (75 ± 3) mm de altura, com espessura mínima de 1 mm;
- Haste de compactação - Metálica, com (340 ± 15) g de massa, tendo superfície de compactação circular plana de (25 ± 3) mm de diâmetro;
- Estufa - Capaz de manter a temperatura no intervalo de (105 ± 5) °C;
- Bandeja metálica – Para secar amostra;
- Espátula de aço;
- Circulador de ar regulável;
- Dessecador.

A amostra deve ser constituída por 1 kg do agregado miúdo. Colocado a amostra em um recipiente, coberto com água e deixado em repouso por 24 h. Retirado a amostra de água e posto estendido sobre uma superfície plana, submetendo o agregado a uma ação constante de uma suave corrente de ar. Prosseguindo a secagem até que os grãos de agregado miúdo não fiquem fortemente aderidos entre si. Em seguida colocando o agregado no molde, sem comprimir, compactando a superfície suavemente aplicando 25 golpes suaves com a haste, removendo o molde verticalmente e repetindo esse procedimento de secagem e compactação até que o agregado desmoronou ao retirar o molde. Neste ponto o agregado chegou à condição de saturado superfície seca.

Depois de preparar a amostra, foram aferidos 500g de amostra e colocado no frasco aferido e registado a massa do conjunto. O frasco foi preenchido com água até a próxima marca de 500 ml e mexido suavemente até eliminar as bolhas de ar.

Após 1 hora, foi completado com água até a marca de 500 ml e determinado a massa total do conjunto. Depois disso o material foi colocado em estufa até obter massa constante (24 horas) e aferido novamente o seu peso, esse processo foi repetido para as duas amostras.

Com isso foi realizado o cálculo da massa específica do agregado de acordo com a Equação 2.

$$d_3 = \frac{m}{(V - V_a) - \frac{m_s - m}{P_a}} \quad (2)$$

- d_3 : É a massa específica do agregado (g/cm^3);
- m : É a massa da amostra seca em estufa (g)
- V : É o volume do frasco, em centímetros cúbicos;
- V_a : É o volume de água adicionado ao frasco, (g/cm^3);
- M_s : É a massa da amostra na condição saturada superfície seca (g)
- P_a : é a massa específica da água (g/cm^3);

Os resultados dos ensaios realizados com as amostras não diferiram em mais de $0,02 \text{ g}/\text{cm}^3$ para a massa específica e a média dos da massa específica encontrada foi de $1,53 \text{ g}/\text{cm}^3$.

Para o cálculo da massa unitária foi realizado o mesmo procedimento utilizado para a definição da massa unitária do agregado graúdo, que consistia em pesar um recipiente e preenche-lo com o agregado até que todo ele estivesse uniformemente cheio, sem compactar, sem ultrapassar os limites e sem que houvesse vazios no recipiente, logo em seguida pesar a massa do conjunto e calcular o volume do recipiente utilizado, para a realização desse ensaio foi utilizada a areia fina em estado natural e o resultado obtido foi de $1,63 \text{ g}/\text{cm}^3$.

3.2.2.5 Granulometria do agregado miúdo

A determinação da granulometria do agregado miúdo ocorreu de acordo com a ABNT NBR 248:2003 – composição granulométrica. Iniciando pela utilização da areia em estado seca, separada em 2 amostras que continham 500g cada, pesadas em uma balança de precisão. Após a separação das amostras, foram separadas as peneiras que seriam utilizadas no ensaio 6,3mm 4,75mm, 2,36mm, 1,18mm, 600 μm , 300 μm , 150 μm e fundo de peneira.

O ensaio foi então realizado, primeiramente colocando a amostra na peneira e promovendo uma agitação manual constante por tempo suficiente que o material pudesse transpassar pelas peneiras, após aproximadamente 2 minutos houve a constatação de que se poderia seguir para a próxima etapa do procedimento, que consiste em tirar peneira por peneira e pesar o material contido nela com o auxílio de uma escova. Após a realização dos ensaios feitos com as duas amostras, os resultados obtidos se encontram no item 4.

3.2.3 Concreto

3.2.3.1 Dosagem do concreto

A dosagem do concreto foi obtida através do auxílio da literatura, a partir das pesquisas realizadas para a montagem do referencial teórico com base na resistência desejada de 25 MPA foi definido um traço único para três tipos de substituição de agregados: 1, 2.13, 3.1, 0.55, com as substituições de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7: Traço do concreto

Material	Substituição		
	Traço 1 (kg)	Traço 2 (kg)	Traço 3 (kg)
Água	0,55	0,55	0,55
Cimento	1	1	1
Areia	2,13	2,13	2,13
AGN	3,1	2,48	1,86
ARM	0	0,62	1,24

Fonte: do Autor, 2023

3.2.3.2 Produção do Concreto

A produção do concreto foi realizada de acordo com a ABNT NBR 12655:2015 que trata sobre o preparo, controle, recebimento e a aceitação do concreto. Os materiais componentes do concreto não podem continham substâncias prejudiciais em quantidades que possam comprometer a durabilidade do concreto ou causar corrosão da armadura e devem ser adequados para o uso pretendido do concreto (ABNT NBR 12655:2015).

Com o traço definido, a partir do estudo da literatura e a adequação dos traços encontrados para a resistência idealizada de 25 MPa, a produção do concreto pôde ser iniciada, seguindo os procedimentos indicados pela norma. Os componentes do concreto foram misturados até formar uma massa homogênea em uma betoneira que se encontra no canteiro de obras da UTFPR – Campus Pato Branco atendendo às especificações do fabricante quanto à capacidade de carga, velocidade e tempo de mistura.

Primeiramente foi colocado o agregado graúdo na betoneira, já ligada, com metade da água e será deixado misturando por um minuto, em seguida adicionado o cimento, logo após foi adicionado o agregado miúdo, o cimento e o restante da água

simultaneamente e deixá-lo misturando até que a mistura estivesse bem homogênea, cerca de 3 a 4 minutos, após isso foi retirado da betoneira para a determinação do abatimento pelo tronco de cone e a montagem dos corpos de prova.

Esse processo foi repetido 3 vezes, uma para cada tipo de traço, os ARM utilizados ficaram submersos em água por 30 minutos e secados superficialmente com o auxílio de um pano para que diminuísse sua absorção de água dentro do concreto e não o tornas menos resistente, também foi utilizado 3 ml de um aditivo superplastificante (Figura 15) dissolvido em água nos traços de ARM para que seu abatimento ficasse na margem entre 10 ± 2 cm.

Figura 14: Aditivo superplastificante



FONTE: Do autor, 2023.

3.2.3.3 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone

A determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone ou *slump test* é descrito pela NBR NM 67:1998. Essa norma tem como objetivo especificar um método que determine a consistência do concreto em seu estado fresco através da medida do seu assentamento, ou seja, a sua trabalhabilidade.

Os materiais necessários para a realização do procedimento são:

- Cone com um diâmetro de 10 cm de um lado, 20 cm do outro e altura de 30 cm;
- Uma placa metálica;

- Um soquete de 60 centímetros de comprimento, diâmetro de 1,6 cm e ponta arredondada;
- Uma régua;
- Um funil;
- Um colherim (colher de pedreiro).

O procedimento é simples, foi coletada uma amostra concreto produzido; colocada a placa metálica no chão logo abaixo do cone apoiando os pés em cima das abas com firmeza, sendo que foram umedecidos antes do procedimento; Colocado o funil na parte superior do cone (parte com diâmetro menor); Adicionado o concreto dentro do tronco de cone utilizando um colherim até que se preencheu $1/3$ do cone; Então foi golpeado o fundo do cone com o soquete por 25 vezes; Adicionado mais concreto até que se preencham $2/3$ do cone; Então foi golpeado mais 25 vezes tomando cuidado para que não atingisse a camada inferior já golpeada; por fim completado o cone com o concreto; E golpeado mais 25 vezes sem que atingisse as camadas inferiores já golpeadas; retirado o funil; regularizado a superfície do concreto e por fim retirado o cone lentamente e com muito cuidado, essa retirada demorou entre 5 a 10 segundos.

Para que se aferisse as medidas do abatimento foi colocado o cone de forma invertida ao lado do concreto, colocado uma haste em cima do cone invertido passando por cima do concreto e com uma régua medido a distância entre o concreto e a haste, como indicado na Figura 16.

Figura 15: Realização da medição de abatimento do concreto



FONTE: Do autor, 2023.

Os abatimentos obtidos foram 10.5, 9.5 e 8.7 cm para 0%, 20% e 40% de substituição, respectivamente. Atingindo as expectativas.

3.2.3.4 Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova

O procedimento de moldagem e cura dos corpos de prova foi realizado de acordo com a NBR 5738:2015. Os corpos de prova foram feitos em formato cilíndrico com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm, como a norma indica a altura deve ser o dobro da medida do diâmetro, com tolerância de 1% no diâmetro e 2% na altura.

As laterais dos moldes devem ser feitas com um material que não reaja com o concreto, nesse estudo foi utilizado moldes de aço, e devem ser resistentes para manter a sua forma durante a operação. O molde deve ser aberto em seu extremo superior e garantir uma fácil desmoldagem sem danificar os corpos de prova. A base deve ser rígida e plana, ter dimensões suficientes para manter a estabilidade durante a moldagem. Tanto molde quanto a base deve ser estanque. Outros materiais necessários são: haste de adensamento.

A amostra foi obtida de acordo com a ABNT NBR NM 33 e foi registrado a data, a hora de adição da água de mistura, o local de aplicação do concreto, a hora da moldagem e o abatimento obtido. A amostra usada para o ensaio de abatimento não foi usada para os corpos de prova.

Antes de iniciar a moldagem, a base e os moldes foram revestidos internamente com lubrificante. Após a preparação dos moldes foi realizar uma breve remistura na amostra para garantir sua uniformidade e colocado dentro dos moldes.

Como os corpos de prova do estudo foram cilíndricos e com dimensão básica de 100mm foi necessário um adensamento com 2 camadas e 12 golpes por camada. Então o molde foi preenchido até a metade e aplicado 12 golpes com o auxílio da haste evitando-se golpear a base do molde, a segunda camada também recebeu 12 golpes de forma que penetrasse aproximadamente 20mm da outra camada, essa camada é a última, portanto foi moldada com quantidade em excesso para que fosse possível realizar o seu rasamento, eliminando o material em excesso e regularizando a superfície do molde com auxílio do colherim.

O transporte e manuseio devem ser evitados, portanto, foram moldados o mais próximo possível de onde foram armazenados. Após a moldagem, foram

colocados em uma superfície horizontal rígida, livre de qualquer outra ação que possa perturbar o concreto. Durante as primeiras 24h foram armazenados em local protegido de intempéries, sendo devidamente cobertos com material não reativo e não absorvente, com a finalidade de evitar perda de água do concreto.

Após as 24 horas, eles foram desmoldados, identificados e em seguida armazenados em uma solução saturada de hidróxido de cálcio – água com cal, até que sejam realizados os ensaios. Procedimentos vistos na Figura 17.

Figura 16: Produção e armazenamento dos corpos de prova



FONTE: Do autor, 2023

3.2.3.5 Massa específica do concreto

A massa específica (μ) é uma propriedade física de material resultado da divisão da massa compactada do objeto pelo seu volume. De acordo com a norma ABNT NBR 9778/2009 a massa específica do concreto, dada por kg/m^3 , está compreendida entre de 2000 kg/m^3 (para concretos leves) e 2800 kg/m^3 (para concretos pesados).

O cálculo da massa específica dos concretos utilizados foi realizada após a desmoldagem (Figura 18). Com o auxílio de um paquímetro foram medidos o diâmetro e a altura do corpo de prova e em seguida com uma balança de precisão o peso do corpo de prova.

Figura 17: Corpos de prova desmoldados



FONTE: Do autor, 2023

Tendo os dados citados foi possível então a determinação do da massa específica a partir da Equação 8:

$$\mu = \frac{\text{peso}(kg)}{\text{volume}(m^3)} \quad (8)$$

Com isso então foram determinados os seguintes resultados da massa específicas que estão apresentadas no item 4.

3.2.3.6 Verificação da resistência a compressão do concreto

Foram rompidos 3 corpos de prova para cada tipo diferente de concreto feito para 7, 14 e 28 dias, o que significa 9 corpos de prova por idade definida, visto que são 3 tipos diferentes de substituição de agregados (0%, 20% e 40%).

Os ensaios a compressão dos corpos de prova foram realizados de acordo com a ABNT NBR 5739:2018 com o auxílio do estagiário do laboratório. O procedimento aconteceu logo após a retirada do corpo de prova do seu armazenamento em cura, retificação (Figura 19) e cálculos das medidas dele. Os materiais necessários para a execução do ensaio são: Máquina de ensaio; Pratos de compressão; Prato inferior; Prato superior de compressão; Paquímetro.

Figura 18: Retificação dos corpos de prova.



FONTE: Do autor, 2023.

Antes da execução do ensaio, devem ser preparadas as bases dos corpos de prova, de acordo com o estabelecido nas ABNT NBR 5738, essa preparação consiste em uma retificação dos corpos de prova para garantir uma superfície lisa livre de ondulações e abaulamentos conforme a Figura 19. Após a preparação das bases, deve-se garantir que os corpos de prova mantenham sua condição de cura e então será realizado o ensaio.

A máquina de ensaio estava calibrada, tendo sua última manutenção de calibragem feita no ano de 2019 e estava com fonte de energia estável, também atendendo a norma ABNT NBR ISO 7500-1, estava equipada com dois pratos de aço cujas superfícies em contato com os corpos de prova tenham sua menor dimensão 4% superior ao diâmetro do corpo prova.

O prato inferior removível e as suas superfícies superior e inferior paralelas entre si, não apresentando espessura menor que 10 mm ou 10 % do maior diâmetro do corpo de prova a ser ensaiado. A face do prato inferior em contato com o corpo de prova perfeitamente perpendicular ao eixo da máquina e permaneceu nessa condição durante todo o ensaio.

O prato superior deve ser provido de articulação com o diâmetro de rotula de no mínimo diâmetro do corpo de prova, após a aplicação de uma pequena força inicial de acomodação, dessa forma a carga exercida pela máquina era igual em toda a superfície do corpo de prova.

Os corpos foram moldados 27 de abril de 2023 entre as 12:30 e 14 horas da tarde, e seus ensaios de compressão foram executados no dia 04, 11 e 25 de maio, entre 13:00 e 14:00 horas.

Antes de iniciar o ensaio, as faces dos pratos e do corpo de prova foram limpas e secas, antes destes serem colocados em posição de ensaio. O corpo de prova foi cuidadosamente centralizado no prato inferior, com o auxílio dos círculos concêntricos de referência, observando-se o sentido de moldagem.

Após o posicionamento correto do corpo de prova, bem centralizado, foi acionado o carregamento de ensaio sendo aplicado continuamente e sem choques, com a velocidade de carregamento de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s. A velocidade de carregamento foi mantida constante durante todo o ensaio até que ocorreu uma queda de força que indique a ruptura do corpo de prova. Esse processo foi o mesmo para os 3 dias em que ocorreram os ensaios de rompimento, Figura 20.

Figura 19: Ensaio de resistência a compressão.



Fonte: Do Autor, 2023.

A resistência a compressão obtido é definida pela Equação 9.

$$f_c = \frac{4F}{\pi * d} \quad (9)$$

Onde:

- f_c – É a resistência a compressão do concreto em MPa;
- F – É a força máxima aplicada em N;
- d – O diâmetro do corpo de prova em mm.

4 DISCUSSÕES E RESULTADOS

Os resultados obtidos para as características físicas e de composição dos agregados estão dispostos nas Tabelas 8, 9, 10, 11 e 12.

Tabela 8: Resultados obtidos no ensaio de granulometria do ARM

Peneira (mm)	Amostra 1			Amostra 2		
	Peso (g)	%	% (acum.)	Peso (g)	%	% (acum.)
19,00	48,42	4,84%	4,84%	46,38	4,64%	4,64%
12,50	852,34	85,16%	90,00%	848,96	84,87%	89,51%
9,50	90,64	9,06%	99,05%	95,18	9,52%	99,03%
6,30	7,06	0,71%	99,76%	7,68	0,77%	99,79%
Fundo	2,42	0,24%	100,00%	2,06	0,21%	100,00%
Total	1000,88	100%	100%	1000,26	100%	100%
			Amostra 1	Amostra 2		
Dimensão máxima característica			19 mm	19 mm		
Dimensão mínima característica			9,5 mm	9,5 mm		
Categoria do agregado			Brita 1	Brita 1		

FONTE: Do Autor, 2023.

Tabela 9: Resultados obtidos no ensaio de granulometria do AGN

Peneira (mm)	Amostra 1			Amostra 2		
	Peso (g)	%	% (acum.)	Peso (g)	%	% (acum.)
19,00	22,40	2,24%	2,24%	24,24	2,42%	2,42%
12,50	657,10	65,65%	67,89%	671,00	67,08%	69,51%
9,50	224,70	22,45%	90,34%	218,60	21,85%	91,36%
6,30	93,20	9,31%	99,65%	84,30	8,43%	99,79%
Fundo	2,90	0,29%	99,94%	2,12	0,21%	100,00%
Total	1000,30	100%	100%	1000,26	100%	100%
			Amostra 1	Amostra 2		
Dimensão máxima característica			19 mm	19 mm		
Dimensão mínima característica			9,5 mm	9,5 mm		
Categoria do agregado			Brita 1	Brita 1		

FONTE: Do Autor, 2023.

Tabela 10: Composição do ARM

Amostras	Peso da amostra (g)	Material Cerâmico		Rochas (g)		Material Cimentício(g)		Outros	
		Gramas	%	Gramas	%	Gramas	%	Gramas	%
1	100,50	26,22	26,09%	39,30	39,10%	34,85	34,68%	0,13	0,13%
2	101,77	34,08	33,49%	25,31	24,87%	42,25	41,52%	0,13	0,13%
3	101,27	27,75	27,40%	27,45	27,11%	45,95	45,37%	0,12	0,12%
4	101,12	29,68	29,35%	36,76	36,35%	34,60	34,22%	0,08	0,08%
5	101,19	36,54	36,11%	26,00	25,69%	38,31	37,86%	0,34	0,34%
6	101,10	20,30	20,08%	32,43	32,08%	47,89	47,37%	0,48	0,47%
7	103,86	34,70	33,41%	20,09	19,34%	48,98	47,16%	0,09	0,09%
8	102,78	23,86	23,21%	21,55	20,97%	56,96	55,42%	0,41	0,40%
9	102,78	32,08	31,21%	24,38	23,72%	46,18	44,93%	0,14	0,14%
10	101,00	28,57	28,29%	35,58	35,23%	36,36	36,00%	0,49	0,49%
Média	101,74	29,38	28,86%	28,89	28,45%	43,23	42,45%	0,24	0,24%
Desvio Padrão	1,06	5,11	4,94%	6,69	6,82%	7,28	6,84%	0,17	0,17%
Variância	1,11789	26,14	0,24%	44,72	0,47%	52,94	0,47%	0,0284	0,0003%

Fonte: Do autor, 2023.

Com os dados da Tabela 10 é possível perceber que a maior parte do agregado reciclado misto obtido em todas as amostras foi de materiais cimentícios, apresentando uma média de 42,45%, em seguida a maior quantidade contida no ARM é de material cerâmico e rochas, com médias entre 28 a 29%, com um desvio padrão de 4 a 6%, o que por conta da resistência mecânica característica da composição do agregado vai gerar um concreto com menor resistência mecânica a compressão do que o agregado natural.

Tabela 11: Características físicas do AGN e ARM para brita 1

	ARM	AGN
Massa unitária (g/cm³)	1,24	1,42
Massa específica (g/cm³)	2,88	2,64
Massa específica aparente (g/cm³)	2,34	2,57
Absorção	7,35%	0,99%
M (g)	3000,0	3000,0
Ms (g)	3238,1	3030,0
Ma (g)	1957,6	1864,2
Mar (g)	2400,0	2400,0
Mr (g)	8350,0	9200,0
V (cm³)	4782,0	4782,0

FONTE: Do autor, 2023.

Tabela 12: Resultados dos ensaios com agregado miúdo.

Peneira (mm)	Amostra 1			Amostra 2		
	Peso(g)	Retido	Acum.	Peso(g)	Retido	Acum.
6,30	2,00	0,40%	0,40%	1,34	0,27%	0,27%
4,75	10,32	2,06%	2,46%	11,23	2,25%	2,51%
2,36	33,51	6,70%	9,17%	35,78	7,16%	9,67%
1,18	77,14	15,43%	24,59%	73,98	14,80%	24,47%
0,60	88,40	17,68%	42,27%	81,65	16,33%	40,80%
0,30	227,20	45,44%	87,71%	231,23	46,25%	87,04%
0,15	57,90	11,58%	99,29%	60,17	12,03%	99,08%
Fundo	3,53	0,71%	100,00%	4,62	0,92%	100,00%
Total	500,00	100%	100,00%	500,00	100%	100%
	Amostra 1	Amostra 2				
Dimensão máxima característica	4,75 mm	4,75 mm				
Dimensão mínima característica	0,30 mm	0,30 mm				
Categoria do agregado	Areia Fina	Areia Fina				
Massa unitária (g/cm³)	1,63					
Massa específica (g/cm³)	1,53					

FONTE: Do autor, 2023.

Com a Tabela 12 é possível definir que os valores obtidos se aproximam mais dos valores esperados para a areia fina.

Os demais resultados encontrados vão de acordo com a literatura (Pelisari, 2017), mostram que os agregados estudados estão dentro das normas de granulometria, e acentuam que as diferenças físicas entre eles são as mesmas já vistas e discutidas por outros autores, dentre eles, a diferença de absorção – o agregado reciclado absorve mais que o agregado natural -, a diferença de massa específica e unitária – o ARM apresenta massa específica maior e massa unitária menor – como já mostrava Pelisari (2017).

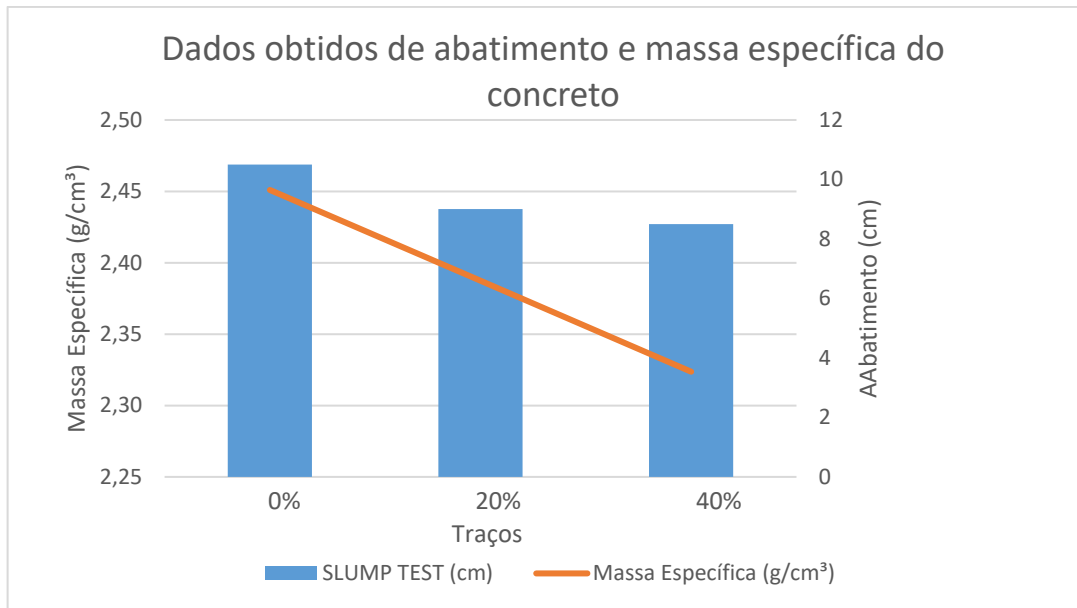
Essas diferenças físicas vão representar mudanças no resultado final do concreto. O agregado reciclado misto por conter material cimentício e cerâmico é mais leve que o agregado natural, o que por consequência vai gerar um concreto mais leve. Outros pontos a se ressaltar é a alta taxa de absorção vista no ARM, que chegou a quase 8% o que torna ela oito vezes maior que a absorção do AGN, o que sem tratamento vai nos gerar um concreto seco, com pouca trabalhabilidade e com baixa resistência, visto que, o agregado vai acabar absorvendo uma grande quantidade de água que deveria ser utilizada no processo químico da pega.

Com o auxílio da literatura isso também foi previsto e, como deu certo em outros estudos, a adição de superplastificantes e a utilização do agregado reciclado umedecido – ficou submerso em água e seco aparente, como mostrado no Item 3.2.3.2 - foram formas de contornar a alta absorção e baixa trabalhabilidade do concreto o que pode ser percebido na Tabela 13 e Gráfico 1.

Tabela 13: Massa específica do concreto

Traço	SLUMP TEST (cm)	Volume (cm ³)	Peso (g)	Massa Específica (g/cm ³)
0%	10,5	1570,80	3850	2,45
20%	9	1570,80	3750	2,39
40%	8,5	1570,80	3650	2,32

FONTE: Do autor, 2023.

Gráfico 1: Abatimento e massa específica do concreto

Fonte: Do autor, 2023

Pode-se notar que os resultados obtidos estão de acordo com a literatura onde o concreto varia entre 2,00 a 2,80 g/cm³, e que o concreto produzido com partes de ARM é mais leve que o concreto produzido 100% de AGN e o slump test também de acordo com o que era esperado pela literatura.

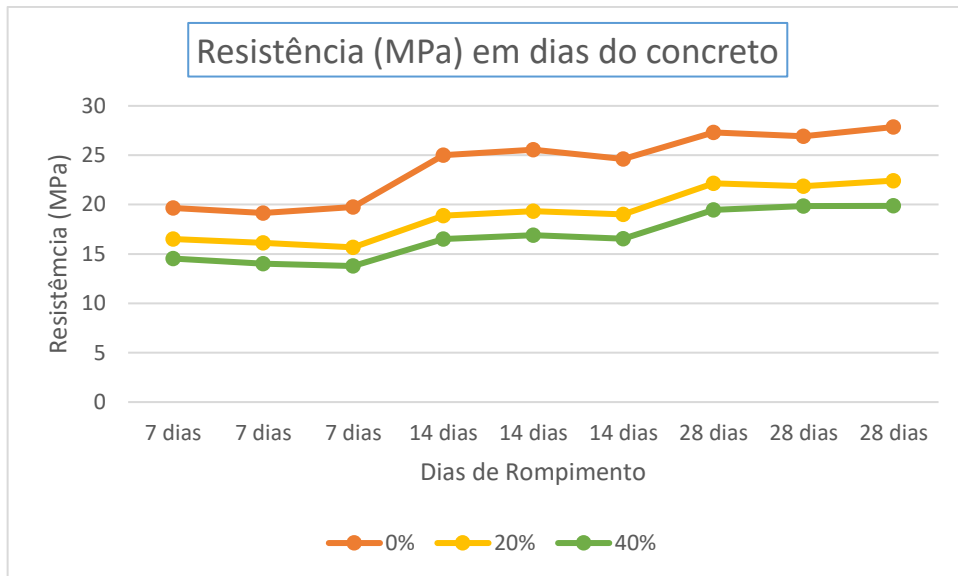
Quanto aos resultados obtidos em relação a resistência do concreto, pode-se observar na Tabela 14 e o Gráfico 1, que estão todos de acordo com a literatura, onde, os concretos produzidos com o agregado reciclado mostraram uma diminuição da resistência mecânica a compressão.

Tabela 14: resultados da resistência a compressão dos corpos de prova

Traço	7 dias					
	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	CP3 (MPa)	Média	D. Padrão	Variância
0%	19,67	19,15	19,76	19,53	0,33	0,11
20%	16,52	16,11	15,67	16,10	0,43	0,18
40%	14,52	14,01	13,78	14,10	0,38	0,14
Traço	14 dias					
	CP4 (MPa)	CP5 (MPa)	CP6 (MPa)	Média	D. Padrão	Variância
0%	25,00	25,57	24,62	25,06	0,48	0,23
20%	18,87	19,33	19,02	19,07	0,23	0,06
40%	16,50	16,90	16,53	16,64	0,22	0,05
Traço	28 dias					
	CP7 (Mpa)	CP8 (Mpa)	CP9 (Mpa)	Média	D. Padrão	Variância
0%	27,32	26,91	27,86	27,36	0,49	0,22
20%	22,14	21,86	22,43	22,14	0,29	0,08
40%	19,47	19,84	19,87	19,73	0,22	0,05

Fonte: Do autor, 2023

Gráfico 2: Resistência em MPA em dias do concreto



Fonte: Do autor, 2023

Em porcentagem se nota que a perda de resistência do concreto com 20% de substituição foi de aproximadamente 19% e o de 40% cerca de 28%, que se demonstram perdas dentro do esperado para o tipo de agregado utilizado e de acordo com a literatura estudada.

Essa diferença de resistência presente visto no gráfico 1, mostra que houve uma diferença relativamente significativa entre os concretos, com 28 dias, as médias obtidas foram 27 MPa (0%), 22 MPa (20%) e 19 MPa (40%), essa diminuição ocorre principalmente pela diferença das características mecânicas dos agregados, os materiais cerâmicos tem pouca resistência em comparação a brita e isso tem uma influência significativa na resistência final do concreto.

Quanto as comparações entre as propriedades físicas dos agregados realizadas em laboratório para essa pesquisa em comparação com a literatura também seguiram de acordo com esperado, como a massa unitária menor para o ARM, massa específica maior para o AGN, também foi observado uma maior uniformidade dos componentes do agregado reciclado, visto que cerca de 85% dele ficou acumulado na mesma peneira, o que não foi visto no agregado natural, que apresentam formas mais diversas e de diferentes tamanhos que é natural e prevista pela norma.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do agregado reciclado como substituto ao agregado natural ainda deve avançar muito em seus estudos afim de encontrar maneiras de melhorar o agregado com maior taxa de confiança. Devido as diferentes composições do AGR pode se tornar imprevisível os resultados da utilização dele ao utiliza-lo sem saber com precisão as taxas de cada material contido nele.

A ABNT NBR 15116:2021 permite que ele seja utilizado como agregado de concreto estrutural em obras pequenas porte com 20% de substituição e até 20 MPa, desde que seja o ARCO, que é o agregado reciclado de concreto, o que já significa um grande avanço, visto que essa norma entrou em vigor apenas em 2021.

Essas mudanças recentes mostram que é possível que continuem havendo mudanças e, portanto, é necessário que continuem sendo realizados estudos com esse material com o fim de testa-lo em diferentes composições, substituição e locais, para que, se comprovado sua utilizada sejam revisadas as normas.

O agregado utilizado para a realização desse estudo foi o ARM que em sua composição tinha cerca de 30% de material cerâmico, o que faz, por conta da resistência mecânica do agregado, que a perda de resistência do concreto seja maior do que com outro tipo de agregado que não contenha material cerâmico ou que contenha uma menor quantidade, e mesmo assim, os resultados obtidos foram satisfatórios e atingiram a resistência exigida pela norma de 20 MPa.

Para melhorar mais a pesquisa e caracterizar melhor esses agregados, poderia ter sido feita um índice de forma dos agregados, assim melhorando os dados e as conclusões sobre os efeitos das características físicas dos agregados no concreto produzido. Para tal questionamento, as características usadas para correlacionar a perda de resistência do concreto se dão pela composição do ARM e da resistência mecânica baixa para os materiais cerâmicos presentes na mistura.

Em outros estudos na literatura o ARM também se mostrou eficaz para o que lhe foi proposto (SALGADO, F.; SILVA, F, 2021) e com isso percebe-se a necessidade de continuar sendo realizados estudos mais aprofundados desse material para que se encontre a melhor substituição em relação ao agregado natural e também o limite máximo de material cerâmico na composição do ARM. Com isso, e estudos mais contundentes e específicos do material, no futuro, esse material poderá

começar a ser utilizado como uma solução sustentável para o descarte desenfreado de resíduos.

Os resultados obtidos com a substituição de 40% mostraram boas resistência, 19 MPa, o que significa que está abaixo da norma, entretanto, muito próxima dela, o que consiste em dizer que existe uma substituição entre 20% e 40% que ainda vai atingir a norma e terá um melhor resultado considerando o aspecto ambiental e o comportamento mecânico do concreto. Portanto, o ideal seria a realização de novos ensaios com diferentes substituições afim de encontrar qual é a substituição 'limite' para que o concreto atinja o exigido entre essa faixa de substituição.

Outras diferenças importantes de se ressaltar é a massa específica do concreto, pois o agregado reciclado é mais leve que o agregado natural, o que trouxe uma mudança no peso específico do concreto, os concretos produzidos com apresentaram $2,45 \text{ g/cm}^3$ (0%), $2,39 \text{ g/cm}^3$ (20%) e $2,32 \text{ g/cm}^3$ (40%) e também a trabalhabilidade do concreto, o ensaio de abatimento pelo tronco de cone mostraram que, devido à alta absorção de água do ARM, o abatimento teria sido bem menor se não tivesse utilizado um aditivo superplastificante.

O concreto obtido não é permitido a utilização em concreto estrutural, pois, a norma não permite, ainda. Mas acredito que com a evolução dos estudos com o material e também em soluções para sua melhoria seja possível que em um futuro, talvez não tão distante, o ARM possa também ser incluído na norma como material para concreto estrutural.

A aplicação desse concreto pode se resumir a obras não estruturais como acabamentos, revestimentos, objetos de decoração, e até mesmo calçadas e pisos que não tenham exigências de cargas muito altas, como por exemplo estruturas para animais como canis, casa unifamiliar e garagens, elementos pré-moldados que não tenham fim estrutural, camadas de base de estradas, ciclovias.

Em suma, todos os resultados obtidos ocorreram de acordo com o que já era esperado e em conformidade com os trabalhos de referência encontrados na literatura, e com isso, um vislumbre de um futuro esperançoso para o emprego do AGR em obras na região, visto que, o agregado produzido na região se mostrou confiável nessa pesquisa, mas, é claro que são necessários estudos complementares com lotes diferentes de agregados, visto que, cada agregado reciclado vai apresentar diferentes características e composições.

Há também outras soluções para essas diferentes composições, desde a separação manual mais crítica a fim de padronizar as porcentagens de cada material presente no ARM ou também a utilização de outro tipo de agregado reciclado, como o ARCO, que também é produzido na região, porém com maior dificuldade, visto que essa separação não é realizada na obra, então os resíduos se misturam e isso faz com que essa separação do material de concreto e rocha seja quase que insolúvel.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 10004: **Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT NBR 12655: **Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento e aceitação – Procedimento**. Versão Corrigida:2015. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT NBR 14931: **Execução de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT NBR 15116: **Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland – Requisitos e métodos de ensaio**. Versão Corrigida: 2021. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT NBR 16697: **Cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT NBR 5738: **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2015.

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

ABNT NBR 7211: **Agregados para concreto – Especificação**. Versão Corrigida: 2022. Rio de Janeiro, 2022.

ABNT NBR 9778: **Argamassas e concretos endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT NBR NM 248: **Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003

ABNT NBR NM 33: **Amostragem de concreto fresco**. Rio de Janeiro, 1998.

ABNT NBR NM 45: **Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT NBR NM 52: **Agregado miúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT NBR NM 53: **Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de ensaios de agregados, concreto fresco, concreto endurecido.** ABCP. São Paulo, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019.** ABRELPE. São Paulo, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO. **Relatório Pesquisa Setorial 2014/2015.** ABRECON. São Paulo. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO. **Tabela resolução CONAMA N° 307.** Disponível em: https://abrecon.org.br/wp-content/uploads/abrafati_abrecon.pdf. Acesso em: 20 nov. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO. **Empresa do Paraná recebe certificado de melhor usina de reciclagem de resíduos da construção civil do País.** Disponível em: <https://abrecon.org.br/empresa-do-parana-recebe-certificado-de-melhor-usina-de-reciclagem-de-residuos-da-construcao-civil-do-pais/>. Acesso em 24 nov. 2022.

ASSUNÇÃO, J. **Curvas de dosagem para concretos convencionais e aditivados confeccionados com materiais da região noroeste do paraná.** Dissertação programa de pós graduação em engenharia civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 254p, 2002.

BOGGIO, A. **Estudo comparativo de métodos de dosagem de concretos de cimento Portland.** Monografia, programa de pós-graduação em engenharia civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 182p., 2000.

BRASIL. Lei nº 12.305, em 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, Casa Civil, Superintendência para Assuntos Jurídicos, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 19 out. 2021.

BRASIL. **Plano de Gestão de Resíduos Sólidos.** Brasília: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, Secretaria de Qualidade Ambiental. Brasília, 2020.

BRASIL. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos.** Brasília: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, Secretaria de Qualidade Ambiental. Brasília, 2020.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução CONAMA nº 307/2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasil, 2002.

CZERNISAKI, L.. **Empresa beltronense recicla restos de construção para pavimentar estradas**. Jornal de Beltrão 26 de Julho de 2019 Disponível em: <https://jornaldebeltroao.com.br/negocios/empresa-beltronense-recicla-restos-de-construcao-para-pavimentar-estradas/>. Acesso: 22 ago. 2022.

DNPM. **Anuário Mineral Brasileiro**. Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2015.

FROTTE, C; NUBILA, C; NAGALLI, A; MAZER, W; MACIOSKI, G; OLIVEIRA; L. **Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD**. Rio de Janeiro, RJ, 2017.

GERIN, M.; SALES, A.; DE NARDIN. S. **Mechanical and physical properties of recycled aggregates concrete**. In: Revista Tecnológica, Universidade Estadual de Maringá. 2019

GERIN, M; DE NARDIN, S. **Exemplos de edificações com utilização de agregados de resíduos de construção e demolição**. 2º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos, São Carlos, 28 e 29 de agosto de 2019.

GOMES, H. **Agregados reciclados em concretos para a mitigação de impactos da indústria da construção civil**. TCC, Engenharia Civil. Varginha, 98p, 2021.

GUERRA, S. **Considerações sobre o método da ABCP**. Pernambuco, 2015. Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2015/10/ajustes-e-consideracoes-sobre-o-metodo.htm>. Acesso em 20 de Nov de 2022.

GULARTE, L. **Modelo de avaliação da viabilidade econômico-financeira da implantação de usinas de reciclagem de resíduos da construção civil em municípios brasileiros**. Dissertação, programa de pós-graduação em engenharia de produções e sistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 127p, 2017.

Hamilton, I; Kennard, H; Rapf, O; Kockat, J; Zuhaib, S. **Global status report for buildings and construction**. Disponível em: <https://globalabc.org/news/launched-2020-global-status-report-buildings-and-construction>. Acesso em 25 ago. 2022.

LEITE, M. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Tese, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Porto Alegre, 290p, 2001.

MACHADO, G. **Reciclagem de resíduos da construção civil**. Disponível em: <https://teledetritus.com.br/como-funciona-a-reciclagem-de-residuos-solidos-da-construcao-civil/>. Acesso em 10 out. 2022.

Paraná. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos**. Curitiba: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, Secretaria de Qualidade Ambiental. Curitiba, 2017.

PELLISSARI, V. **Propriedades de concretos produzidos através da utilização de agregados reciclados de concreto**. Monografia, programa de pós graduação em engenharia civil da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 123p, 2016.

RIBEIRO, I; VIEIRA, L; GREGÓRIO, R. **Caderno Técnico de Resíduos Sólidos 2019**. Disponível em: <https://agendaparlamentar.crea-pr.org.br/download-cadernos-tecnicos/residuos-solidos>. Acesso em 30 ago. de 2022.

RODRIGUES, P. **Parâmetros de Dosagem do Concreto**. ET-67. 3ª Ed. São Paulo: IBRACON - Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

SALGADO, F.; SILVA, F. **Properties of recycled aggregates from different composition and its influence on concrete strength**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2021.

SILVA, D.; GEYER, A. **Análise e classificação da forma do agregado graúdo britado para concreto**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 12, Vol. 05, pp. 18-28 dezembro de 2018. ISSN:2448-0959

STACHERA, T. **Avaliação de emissões de co2 na construção civil: um estudo de caso da habitação de interesse social no paraná**. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção: A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008.