

CHAPTER IX

DEVELOPMENT AND STATISTICAL ANALYSIS OF A CONCRETE DOSAGE DATABASE WITH RECYCLED CONCRETE AGGREGATE

DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE ESTATÍSTICA DE BANCO DE DADOS DE DOSAGENS DE CONCRETO COM AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO

DOI: 10.51859/ampla.sset.2224-9

Amanda Marques Lopes Estolano ¹

Diego Henrique Alves da Silva ²

Ana Maria Batista Farias ³

Felipe Mendes da Cruz ⁴

Nathalia Bezerra de Lima ⁵

¹ Doutoranda em Ciências dos Materiais no Departamento de Química Fundamental – dQF. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. <https://orcid.org/0000-0002-3045-9117>.

² Pesquisador Bacharel no Núcleo de Segurança e Higiene do Trabalho da Escola Politécnica de Pernambuco – NSHT/Poli. Universidade de Pernambuco – UPE. <https://orcid.org/0000-0002-4750-421X>.

³ Mestranda em Engenharia Civil na Escola Politécnica de Pernambuco – Poli/PEC. Universidade de Pernambuco – UPE. <https://orcid.org/0009-0008-6311-5506>.

⁴ Professor Doutor no Núcleo de Segurança e Higiene do Trabalho da Escola Politécnica de Pernambuco – NSHT/Poli. Universidade de Pernambuco – UPE. <https://orcid.org/0000-0002-0163-465X>.

⁵ Professora Doutora no Departamento de Química Fundamental – dQF. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. <https://orcid.org/0000-0002-1550-5859>.

ABSTRACT

Construction and demolition waste exhibits wide variability in its composition, which impacts the quality of concrete produced with these materials. To use these wastes safely and efficiently as aggregates, it is essential to establish appropriate performance criteria and optimize the dosage of both the waste materials and other components of the cementitious composite. Compressive strength is a crucial parameter, as it is directly related to the durability of the concrete and the safety of the structures, ensuring that the concrete can support loads and stresses throughout its service life and avoid structural failures. This study employs multiple linear regression techniques to analyze data from a systematic review of existing literature, aiming to model the relationship between concrete strength and variables such as the water-cement ratio and cement content. Python programming was used to develop a detailed database with different dosages of recycled concrete. The results indicate that compressive strength is strongly

influenced by the water-cement ratio, making this parameter crucial for defining performance and safety standards in the production of concrete with construction and demolition waste.

Keywords: Residue. Concrete. Regression. Dosage.

RESUMO

O resíduo de construção e demolição tem ampla variabilidade em sua composição, o que impacta a qualidade dos concretos produzidos com esses materiais. Para usar esses resíduos de forma segura e eficiente como agregado, é essencial estabelecer critérios de desempenho mecânico adequados e otimizar a dosagem dos resíduos e dos outros componentes do composto cimentício. Nesse contexto, a resistência à compressão é um parâmetro crucial, pois está diretamente relacionada à durabilidade do concreto e à segurança das estruturas, garantindo que o concreto suporte as cargas e tensões durante sua vida útil e evite falhas estruturais. Este

estudo utiliza técnicas de regressão linear múltipla para analisar dados de uma revisão sistemática da literatura, com o objetivo de modelar a relação entre a resistência do concreto e variáveis como a relação água/cimento e o teor de cimento. Para tanto, utilizou-se programação Python para criar um banco de dados detalhado com diferentes dosagens de concreto reciclado. Os resultados mostram que a

resistência à compressão é fortemente influenciada pela relação água/cimento, caracterizando esse parâmetro como crucial para definir padrões de desempenho e segurança na fabricação de concretos com resíduos de construção e demolição.

Palavras-chave: Resíduo. Concreto. Regressão. Dosagem.

1 INTRODUÇÃO

A Construção civil, setor que produziu cerca de 45 milhões de toneladas de RCD em 2022, possui o potencial para reaproveitar os resíduos gerados por suas próprias atividades, com o objetivo de minimizar o impacto do descarte inadequado, reduzir a demanda nos aterros e contribuir para a diminuição da extração de matéria-prima da natureza. A utilização de diversos tipos de resíduos como substitutos de areia e brita, materiais amplamente empregados nesse setor, ressalta a necessidade de desenvolver estudos focados nas aplicações dessa técnica e na criação de novos produtos para a construção civil, como peças para revestimento, argamassas para assentamento de blocos e concretos não estruturais, entre outros.

Os concretos reciclados podem ser compostos por agregados provenientes de resíduos de construção e demolição, sendo processados em usinas de reciclagem onde passam por trituração e triagem e posteriormente classificados como agregados miúdos ou graúdos, dependendo das suas dimensões. Sabe-se que a construção de novos edifícios gera aproximadamente 18 a 33 kg de resíduos de concreto por m² de área construída, variando conforme o sistema produtivo adotado e, em contrapartida, a demolição de edifícios residenciais pode gerar até 840 kg de resíduos de concreto por m² demolido (Gálvez-Martos *et al.*, 2018). Desse modo, entende-se que a elevada produção de RCD pela indústria da construção civil exige o desenvolvimento de soluções de reutilização que sejam rápidas e com aplicações práticas, econômicas e ambientalmente sustentáveis, uma vez que reutilizar esses materiais na construção é uma forma de promoção à sustentabilidade.

A avaliação da viabilidade do uso de concreto com RCD exige um processo abrangente que começa com o beneficiamento para obtenção de uma granulometria adequada e prossegue com ensaios mecânicos e de durabilidade do concreto com agregado reciclado incorporado. Os estudos de Azevedo *et al.* (2020) e Gomes *et al.*

(2021) já demonstram a viabilidade da utilização de RCD como agregados no concreto. Outros, por sua vez, destacam que as propriedades mecânicas e de durabilidade dos concretos fabricados com RCD são inferiores em relação ao tradicional, com desempenho variando a cada diferente nível de substituição de agregado natural por RCD (Chandru *et al.*, 2023).

Vários fatores podem influenciar na qualidade do resíduo: composição, resistência dos elementos originais, idade do edifício demolido entre outros (Nandal *et al.*, 2022). A composição geral dos RCD pode ser classificada da seguinte forma: concreto 12–40%, alvenaria 8–54%, asfalto 4–26%, madeira 2–4%, metal 0,2–4%, gesso 0,2–0,4%, plásticos 0,1–2%, minerais 2–9% e diversos 2–36% (Gálvez-Martos *et al.*, 2018). A grande variação na porcentagem dos componentes no RCD, especialmente em concreto, alvenaria e asfalto, reflete a diversidade de técnicas construtivas que utilizam diferentes combinações desses materiais em diversos tipos de edificações (Tanthanawiwat *et al.*, 2024).

Nesse contexto, técnicas de Inteligência Artificial, como Redes Neurais Artificiais (RNA), podem servir como ferramentas de predição do comportamento do concreto fabricado com resíduos de construção e demolição auxiliando na previsão do comportamento mecânico de concretos com RCD através da análise estatística e métodos de previsibilidade do comportamento mecânico de compósitos cimentícios, o que permite otimizar dosagens para melhorar seu comportamento mecânico e aumentar as aplicações do RCD em concretos e argamassas.

Desse modo, esse estudo busca mostrar, a partir de dados da literatura por meio de uma revisão sistemática, uma análise estatística de diferentes dosagens de concreto sustentável segundo os mais diversos parâmetros e resistências. Para tanto, buscou-se apresentar método estatístico de regressão linear utilizando medidas Python e incluindo parâmetros que afetam diretamente a resistência à compressão do concreto, de modo a permitir destacar o impacto do teor de RCD no desempenho de concretos fabricados com uso desse tipo de agregado.

2 METODOLOGIA

Diante disso, foram selecionados na literatura através de um banco de dados, estudos que apresentaram dosagens e resistência à compressão de concretos que utilizaram essencialmente agregado reciclado de concreto parcial ou total substituinte do agregado graúdo natural. Os critérios de seleção dos artigos para obtenção das

dosagens são os seguintes: (i) base de dados: Science Direct; (ii) apenas artigos de pesquisa; (iii) palavra pesquisada: recycled aggregate concrete; (iv) ano: 2013-2023; (v) artigos em revistas com Qualis A1 e A2; (vi) artigos em revistas com fator de impacto acima de 5. Dessa forma, 1336 artigos resultaram dessa busca e, através de seleção por título, 259 foram selecionados para leitura dos resumos a fim de escolher para compor a base de dados os que, essencialmente, estudaram agregado reciclado de concreto como agregado graúdo.

Nessa primeira parte da pesquisa, 70 artigos foram analisados e 20 selecionados para composição parcial (70 dosagens de concreto com RCD). A exclusão de grande parte dos artigos para compor o banco de dados pode ser explicado por conter dosagens de concretos com adições minerais, não possuíam dados suficientes referente às variáveis definidas ou resistência à compressão de corpos de prova cúbicos. Pretende-se aumentar o banco de dados para garantir resultados satisfatórios na previsibilidade de comportamento mecânico e correlação dos dados. O modelo de previsão proposto se baseará na regressão linear múltipla utilizando medidas Python que será descrito nas seções posteriores. A aplicação deste modelo é direta, permitindo fácil implementação em cenários práticos. No entanto, é importante observar que o modelo de regressão múltipla tem uma limitação, pois todas as variáveis de entrada devem ser maiores ou iguais a zero para que o modelo seja aplicável.

2.1 Modelagem de regressão linear utilizando medidas Python

A regressão linear é um método que visa modelar a relação entre duas variáveis ajustando uma equação linear aos dados observados. No caso do experimento apresentado neste artigo, a regressão linear é utilizada para detectar a homogeneidade dos resultados obtidos e para testar a precisão do modelo desenvolvido.

A programação Python foi empregada para representar um banco de dados de dosagens de concretos com agregado reciclado que incluía sete parâmetros – relação água/cimento, cimento em kg/m^3 , agregado miúdo natural em kg/m^3 , agregado graúdo natural em kg/m^3 , agregado graúdo reciclado em kg/m^3 , absorção do resíduo e porcentagem de substituição. Esses parâmetros desempenham um papel significativo na determinação da resistência à compressão do concreto e medidas Python foram utilizadas para estabelecer a ligação entre eles. Além disso, a importância do recurso

de permutação foi empregada para determinar as dosagens ideais e os efeitos significativos dessas variáveis. Portanto, a resistência à compressão do concreto pode ser antecipada medindo esses fatores. A Figura 1 a seguir apresenta os resultados de uma revisão de avaliação estatística, incluindo o número de observações, suas médias e seus desvios padrão.

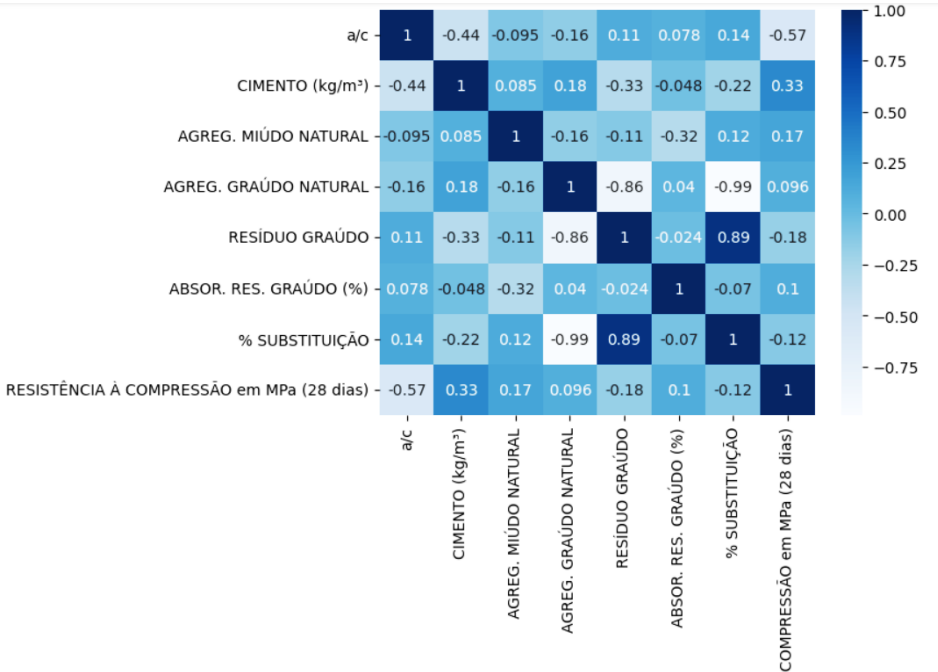
Figura 1 – Descrição estatística dos dados.

	a/c	CIMENTO (kg/m³)	AGREG. MIÚDO NATURAL	AGREG. GRAÚDO NATURAL	RESÍDUO GRAÚDO	ABSOR. RES. GRAÚDO (%)	% SUBSTITUIÇÃO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO em MPa (28 dias)
count	80.000000	80.000000	80.000000	80.000000	80.000000	80.000000	80.000000	80.000000
mean	0.464500	432.953750	578.167500	269.360500	748.888500	5.167125	75.062500	39.975000
std	0.095173	76.304538	268.798807	335.891379	326.681363	1.435775	30.444947	12.732242
min	0.250000	236.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	17.800000
25%	0.420000	400.000000	425.000000	0.000000	529.940000	4.247500	50.000000	31.125000
50%	0.450000	412.000000	648.000000	0.000000	802.400000	5.500000	100.000000	37.580000
75%	0.500000	472.950000	775.750000	541.000000	1066.000000	5.660000	100.000000	45.000000
max	0.740000	588.300000	958.900000	1180.000000	1345.000000	7.700000	100.000000	75.000000

Fonte: Autoria própria.

A Figura 2 apresenta o coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis de entrada e saída, que pode indicar uma correlação positiva ou negativa entre as diferentes variáveis. Nos conjuntos de dados, a região mais escura reflete a maior proporção de cada variável em relação à intensidade.

Figura 2 – Matriz de correlação de Pearson.



Fonte: Autoria própria.

De acordo com esses resultados, pode-se observar que a relação água cimento tem uma correlação negativa com a resistência à compressão, pois espera-se que sejam medidas inversamente proporcionais em dosagens de concreto. Os parâmetros de entrada são os pontos de partida absoluto no processo de trabalho de previsibilidade do comportamento mecânico.

Esses parâmetros devem ter influência direta com o parâmetro de saída que se deseja prever. Vasanthalin e Kavitha (2021) e Naderpour *et al.* (2018) utilizaram as variáveis de entrada que interferem diretamente na resistência à compressão do concreto, como a relação água cimento e características físicas do agregado reciclado, a partir das quais e ante os 1030 conjuntos utilizados na análise, infere-se que as composições do cimento e a água afetam substancialmente a resistência à compressão do concreto com agregado reciclado e conclui-se que os coeficientes de correlação entre todas as variáveis são inferiores a 0,95, indicam tratar-se de uma relação não linear entre os parâmetros analisados.

A Tabela 1 a seguir apresenta as dosagens obtidas na revisão sistemática da literatura, dados estes utilizados na análise de regressão linear, considerando os parâmetros que mais afetam o comportamento mecânico do concreto.

Tabela 1 – Dosagens obtidas na revisão sistemática da literatura

Autor	aa/c	Cimento (kg/m ³)	Ag. miúdo (kg/m ³)	Ag. gráudo natural (kg/m ³)	Res. gráudo (kg/m ³)	Abs. do res. gráudo (%)	% Substituição	Res. à comp. em Mpa (28 dias)
Tejas & Pasla, 2023	00,3	550	749	0	792	3,81	100	56
Tejas & Pasla, 2023	00,4	413	808	0	825	3,81	100	36
Tejas & Pasla, 2023	00,5	330	844	0	893	3,81	100	26
Tejas & Pasla, 2023	00,6	275	868	0	918	3,81	100	22
Tejas & Pasla, 2023	00,7	236	885	0	935	3,81	100	22
Ashraf <i>et al.</i> , 2023	00,43	556	561	716	239	6,86	25	45
Ashraf <i>et al.</i> , 2023	00,45	556	561	477	477	6,86	50	44
Ashraf <i>et al.</i> , 2023	00,49	556	561	0	954	6,86	100	35
Shamass <i>et al.</i> , 2023	00,56	463	631	627	198	5,5	25	31,8
Shamass <i>et al.</i> , 2023	00,58	463	631	418	395	5,5	50	30,9
Shamass <i>et al.</i> , 2023	00,63	463	631	0	791	5,5	100	27,3

Autor	aa/c	Cimento (kg/m³)	Ag. miúdo (kg/m³)	Ag. gráudo natural (kg/m³)	Res. gráudo (kg/m³)	Abs. do res. gráudo (%)	% Subs- tituição	Res. à comp. em Mpa (28 dias)
Rezaei <i>et al.</i> , 2023	00,5	430	856	641,6	185,5	4,9	25	41,2
Rezaei <i>et al.</i> , 2023	00,5	430	866,2	427,8	371	4,9	50	39
Rezaei <i>et al.</i> , 2023	00,5	430	876,4	213,9	556,5	4,9	75	37
Rezaei <i>et al.</i> , 2023	00,5	430	886,6	0	742	4,9	100	36,5
Wu <i>et al.</i> , 2023	00,41	538	404	541	541	4,21	50	56,2
Wu <i>et al.</i> , 2023	00,42	538	288	541	541	4,21	50	59,4
Wu <i>et al.</i> , 2023	00,43	538	173	541	541	4,21	50	57,6
Wu <i>et al.</i> , 2023	00,52	502	288	541	541	4,21	50	59,4
Adessina <i>et al.</i> , 2023	00,35	420	867,8	397,28	529,94	5,5	60	75
Adessina <i>et al.</i> , 2023	00,42	380	867,8	397,28	529,94	5,5	60	57
Adessina <i>et al.</i> , 2023	00,49	338	867,8	397,28	529,94	5,5	60	54
Adessina <i>et al.</i> , 2023	00,35	420	867,8	0	883,22	5,5	100	73
Adessina <i>et al.</i> , 2023	00,42	380	867,8	0	883,22	5,5	100	54
Adessina <i>et al.</i> , 2023	00,49	338	867,8	0	883,22	5,5	100	51
Zhang, He, <i>et al.</i> , 2023	00,5	360	708	0	1154	2,32	100	29
Zhang <i>et al.</i> , 2022	00,47	400	728	0	1066	7,7	100	44
Zhang <i>et al.</i> , 2022	00,52	400	0	0	1066	7,7	100	41
Zhang <i>et al.</i> , 2022	00,57	360	0	0	1066	7,7	100	40
Zhang <i>et al.</i> , 2022	00,64	320	0	0	1066	7,7	100	36,5
Zhang <i>et al.</i> , 2022	00,74	280	0	0	1066	7,7	100	36
Zhao <i>et al.</i> , 2023	00,45	400	335	1180	0	5,66	0	33,6
Zhao <i>et al.</i> , 2023	00,45	400	0	1180	0	5,66	0	32,7
Zhao <i>et al.</i> , 2023	00,45	400	670	590	564	5,66	50	29,7
Zhao <i>et al.</i> , 2023	00,45	400	335	590	564	5,66	50	33
Zhao <i>et al.</i> , 2023	00,45	400	0	590	564	5,66	50	31,2
Zhao <i>et al.</i> , 2023	00,45	400	670	0	1127	5,66	100	28,8
Zhao <i>et al.</i> , 2023	00,45	400	335	0	1127	5,66	100	32,2
Zhao <i>et al.</i> , 2023	00,45	400	0	0	1127	5,66	100	30,6
Zhao <i>et al.</i> , 2023	00,3	400	610	0	1032	5,66	100	29,4
Zhao <i>et al.</i> , 2023	00,3	400	305	0	1032	5,66	100	42,5
Zhao <i>et al.</i> , 2023	00,3	400	0	0	1032	5,66	100	41

Autor	aa/c	Cimento (kg/m³)	Ag. miúdo (kg/m³)	Ag. gráudo natural (kg/m³)	Res. gráudo (kg/m³)	Abs. do res. gráudo (%)	% Subs- tituição	Res. à comp. em Mpa (28 dias)
Zhao <i>et al.</i> , 2023	00,6	400	710	0	1184	5,66	100	39,9
Zhao <i>et al.</i> , 2023	00,6	400	355	0	1184	5,66	100	21,1
Zhao <i>et al.</i> , 2023	00,6	400	355	0	1184	5,66	100	21,1
Zhao <i>et al.</i> , 2023	00,6	400	0	0	1184	5,66	100	21,2
Allujami <i>et al.</i> , 2022	00,42	420	425	1008	336	3,2	25	38
Allujami <i>et al.</i> , 2022	00,42	420	425	672	672	3,2	50	27
Allujami <i>et al.</i> , 2022	00,42	420	425	336	1008	3,2	75	23
Allujami <i>et al.</i> , 2022	00,42	420	425	0	1345	3,2	100	22,5
Yan <i>et al.</i> , 2022	00,46	570	660	772,8	331,2	3,4	30	40,1
Yan <i>et al.</i> , 2022	00,47	570	660	552	552	3,4	50	37,3
Yan <i>et al.</i> , 2022	00,49	570	660	0	1104	3,4	100	32,2
Ma <i>et al.</i> , 2023	00,5	360	650	892,5	276,5	5,6	25	44
Ma <i>et al.</i> , 2023	00,5	360	650	595	553	5,6	50	40
Ma <i>et al.</i> , 2023	00,5	360	650	0	1106	5,6	100	36
Mahmood <i>et al.</i> , 2023	00,43	454	536	783	335	4,5	30	37,86
Mahmood <i>et al.</i> , 2023	00,4	454	536,3	783	335,5	4,5	30	27,14
Chang <i>et al.</i> , 2022	00,45	412	648	829,5	276,5	7,16	25	40,4
Chang <i>et al.</i> , 2022	00,45	412	648	553	553	7,16	50	37
Chang <i>et al.</i> , 2022	00,45	412	648	276,5	829,5	7,16	75	40,6
Chang <i>et al.</i> , 2022	00,45	412	648	0	1106	7,16	100	39,7
Chang <i>et al.</i> , 2022	00,31	550	584	747	249	7,16	25	55,9
Chang <i>et al.</i> , 2022	00,31	550	584	498	498	7,16	50	59,9
Chang <i>et al.</i> , 2022	00,31	550	584	249	747	7,16	75	60,1
Chang <i>et al.</i> , 2022	00,31	550	584	0	996	7,16	100	62,9
Zheng <i>et al.</i> , 2022	00,5	420	619	0	1151	5,3	100	17,8
Zhang, Liu, <i>et al.</i> , 2023	00,4	588,3	958,9	0	508	4,3	100	41
Zhang, Liu, <i>et al.</i> , 2023	00,4	498,9	813,2	0	812,8	4,3	100	45
Zhang, Liu, <i>et al.</i> , 2023	00,4	409,5	667,6	0	1117,6	4,3	100	47
Zhang, Liu, <i>et al.</i> , 2023	00,5	547,5	892,4	0	503	4,3	100	32
Zhang, Liu, <i>et al.</i> , 2023	00,5	464,3	756,9	0	812,8	4,3	100	35
Zhang, Liu, <i>et al.</i> , 2023	00,5	381,1	621,3	0	1117,6	4,3	100	37
Zhang, Liu, <i>et al.</i> , 2023	00,6	512	834,6	0	503	4,3	100	27

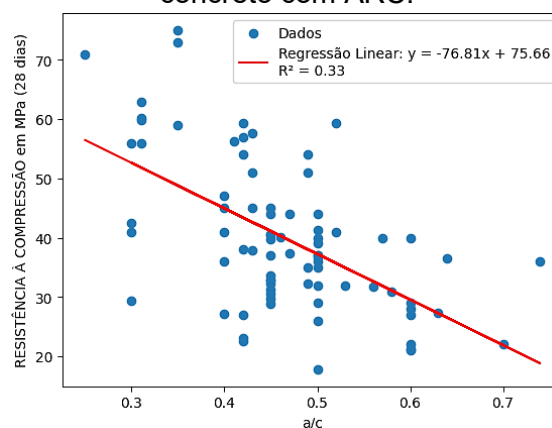
Autor	aa/c	Cimento (kg/m ³)	Ag. miúdo (kg/m ³)	Ag. graúdo natural (kg/m ³)	Res. graúdo (kg/m ³)	Abs. do res. graúdo (%)	% Substituição	Res. à comp. em Mpa (28 dias)
Zhang, Liu, <i>et al.</i> , 2023	00,6	434,2	707,8	0	812,8	4,3	100	28
Zhang, Liu, <i>et al.</i> , 2023	00,6	356,5	581	0	1117,6	4,3	100	29
Liu <i>et al.</i> , 2022	00,43	410	825	540	540	3,8	50	51
Liu <i>et al.</i> , 2022	00,45	410	825	0	1080	3,8	100	45
Sharma <i>et al.</i> , 2023	00,35	390	765	0	935	5,8	100	59
Sharma <i>et al.</i> , 2023	00,53	395	667	454,4	681,6	5,8	60	32
Hakeem <i>et al.</i> , 2023	00,25	500	752,4	0	1128,6	4,26	100	70,9

Fonte: Autoria própria.

2.2 Estudo paramétrico

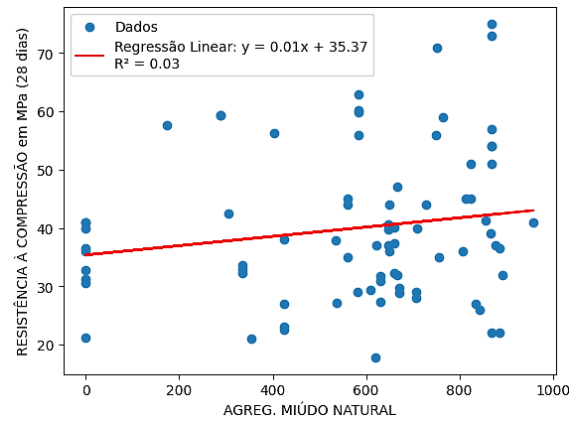
O efeito dos parâmetros de entrada na saída na previsão de resistência à compressão do concreto com agregado reciclado usando regressão multilinear é apresentado nas Figuras 3a, 3b, 3c, 3d e 3e. A resistência à compressão é significativamente influenciada pela relação água/cimento, que são inversamente proporcionais, embora não seja tão expressiva em relação aos concretos fabricados com agregado natural. Adessina *et al.* (2023) utilizaram o ajuste efetivo da relação água/cimento para melhoria das propriedades mecânicas e de durabilidade. A variabilidade do RCD não permite uma correlação elevada com os parâmetros de entrada e a resistência do material. Os demais parâmetros mostraram baixa correlação, reforçando o conceito de que os concretos com RCD possuem um desempenho distinto devido a variabilidade de composição e propriedades do resíduo.

Figura 3a – Correlação entre a relação água/cimento e a resistência à compressão do concreto com ARC.



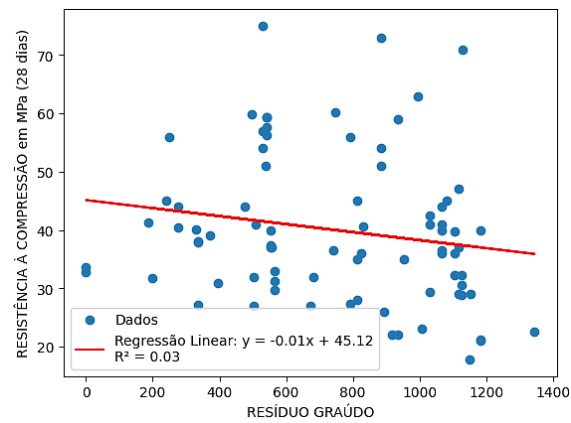
Fonte: Autoria própria.

Figura 3b – Correlação entre a quantidade de agregado miúdo natural e a resistência à compressão do concreto com ARC.



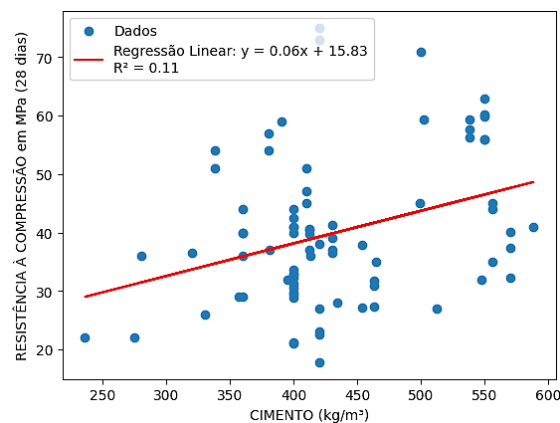
Fonte: Autoria própria.

Figura 3c – Correlação entre a quantidade de agregado graúdo natural e a resistência à compressão do concreto com ARC.



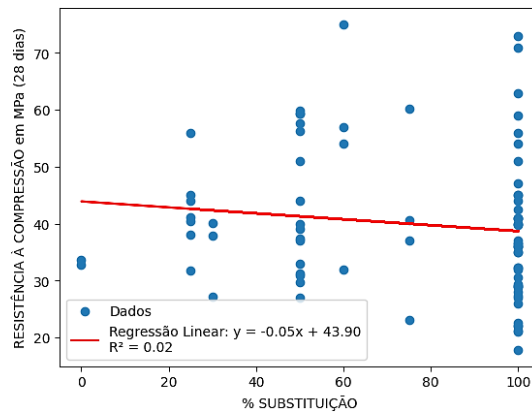
Fonte: Autoria própria.

Figura 3d – Correlação entre a quantidade de cimento e a resistência à compressão do concreto com ARC.



Fonte: Autoria própria.

Figura 3e – Correlação entre a porcentagem de substituição do agregado natural por agregado reciclado e a resistência à compressão do concreto com ARC.



Fonte: Autoria própria.

3 ANÁLISE DE DOSAGEM

Diante da variabilidade de materiais e composição, a previsibilidade do comportamento mecânico apresenta alguns aspectos a serem considerados além do quantitativo de materiais como a idade e resistência do concreto de origem. As dosagens nos estudos de Adessina *et al.* (2023) obtiveram a maior resistência à compressão dos concretos com agregado reciclado selecionados nesse estudo. Com absorção do RCD de 5,55% e substituição de 100% ao agregado natural, os autores controlaram as características do RCD formulado em laboratório com resistência à compressão de $50,5 \pm 1$ MPa. Nas dosagens com 60% e 100% de substituição parcial e total obtiveram uma taxa de perda de 14 e 16%, respectivamente, compensando com a redução da relação água cimento da mistura no valor de 0,35.

Chang *et al.* (2022) também obtiveram resultados significativos quanto a inserção de RCD no concreto controlado com dois graus de resistência (30MPa e 50MPa, aproximadamente) e com dois anos de idade. Nesse estudo, com concreto base controlado para a obtenção dos resíduos com resistência de 51,1MPa gerou um concreto com um comportamento mecânico mais expressivo que o concreto produzido com resíduo da ordem de 30MPa. Porém, segundo os autores, os concretos com resíduos de resistência mais elevada possuem uma redução mais acentuada com o aumento da adoção de RCD. Isso se deve à presença de argamassa residual é mais fraca e propícia a fissuras quando aderida a um concreto de resistência mais elevada.

4 CONCLUSÕES

Concluiu-se que a análise de regressão neste estudo forneceu uma ferramenta quantitativa para verificar a influência de parâmetros conhecidos na resistência do concreto, cujas vantagens residem em serem fáceis de usar e de baixo custo, não necessitando de extensos testes laboratoriais e grandes conjuntos de dados.

As principais conclusões deste estudo estão resumidas a seguir: (i) a relação água/cimento mostrou-se como um dos principais fatores que influenciam a resistência à compressão do concreto com agregado reciclado, confirmando uma correlação inversa entre essas variáveis a despeito do impacto não ser tão expressivo quanto em concretos fabricados com agregados naturais, o sugere que a relação água/cimento ainda é um parâmetro crítico, embora o efeito pode ser modulado pela variabilidade e características do agregado reciclado; (ii) a alta variabilidade na composição e propriedades do RCD contribui para uma baixa correlação entre os parâmetros de entrada e a resistência à compressão do concreto, conforme observado nos resultados, cuja variabilidade dificulta a obtenção de previsões precisas e consistentes, destacando que os concretos com RCD apresentam um desempenho distinto comparado aos concretos tradicionais devido à natureza heterogênea desse tipo de resíduo; (iii) a previsibilidade do comportamento mecânico do concreto com RCD não pode ser baseada exclusivamente nos parâmetros tradicionais, como a relação água/cimento, devendo também considerar fatores como a idade do concreto original, as propriedades específicas do resíduo utilizado e a qualidade da argamassa residual são igualmente importantes, sendo necessário que essas variáveis sejam rigorosamente controladas para garantir a confiabilidade e a performance dos concretos com agregados reciclados; e (iv) a análise estatística revelou que os coeficientes de correlação entre as variáveis de entrada e a resistência à compressão são inferiores a 0,95, o que indica a ausência de uma relação linear forte entre as variáveis e sugere que a relação entre os parâmetros analisados e a resistência à compressão é complexa e pode ser influenciada por interações não lineares, necessitando de modelos mais sofisticados ou não lineares para uma previsão mais precisa.

REFERÊNCIAS

Adessina, A., Fraj, A. Ben, & Barthélémy, J.-F. (2023). Improvement of the compressive strength of recycled aggregate concretes and relative effects on

durability properties. *Construction and Building Materials*, 384, 131447. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.131447>

- Allujami, H. M., Abdulkareem, M., Jassam, T. M., Al-Mansob, R. A., Ibrahim, A., Ng, J. L., & Yam, H. C. (2022). Mechanical properties of concrete containing recycle concrete aggregates and multi-walled carbon nanotubes under static and dynamic stresses. *Case Studies in Construction Materials*, 17, e01651. <https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2022.E01651>
- Ashraf, M. J., Idrees, M., & Akbar, A. (2023). Performance of silica fume slurry treated recycled aggregate concrete reinforced with carbon fibers. *Journal of Building Engineering*, 66, 105892. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.105892>
- Azevedo, A. R. G., Cecchin, D., Carmo, D. F., Silva, F. C., Campos, C. M. O., Shtrucka, T. G., Marvila, M. T., & Monteiro, S. N. (2020). Analysis of the compactness and properties of the hardened state of mortars with recycling of construction and demolition waste (CDW). *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 5942–5952. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.03.122>
- Catherina Vasanthalin, P., & Chella Kavitha, N. (2021). Prediction of compressive strength of recycled aggregate concrete using artificial neural network and cuckoo search method. *Materials Today: Proceedings*, 46, 8480–8488. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2021.03.500>
- Chandru, U., Bahurudeen, A., & Senthilkumar, R. (2023). Systematic comparison of different recycled fine aggregates from construction and demolition wastes in OPC concrete and PPC concrete. *Journal of Building Engineering*, 75, 106768. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.106768>
- Chang, Y. C., Wang, Y. Y., Zhang, H., Chen, J., & Geng, Y. (2022). Different influence of replacement ratio of recycled aggregate on uniaxial stress-strain relationship for recycled concrete with different concrete strengths. *Structures*, 42, 284–308. <https://doi.org/10.1016/J.ISTRUC.2022.05.117>
- Gálvez-Martos, J. L., Styles, D., Schoenberger, H., & Zeschmar-Lahl, B. (2018). Construction and demolition waste best management practice in Europe. *Resources, Conservation and Recycling*, 136, 166–178. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2018.04.016>
- Hakeem, I. Y., Alharthai, M., Amin, M., Zeyad, A. M., Tayeh, B. A., & Agwa, I. S. (2023). Properties of sustainable high-strength concrete containing large quantities of industrial wastes, nanosilica and recycled aggregates. *Journal of Materials Research and Technology*, 24, 7444–7461. <https://doi.org/10.1016/J.JMRT.2023.05.050>
- Infante Gomes, R., Bastos, D., Brazão Farinha, C., Pederneiras, C. M., Veiga, R., de Brito, J., Faria, P., & Santos Silva, A. (2021). Mortars with CDW recycled aggregates submitted to high levels of CO₂. *Infrastructures*, 6(11), 159. <https://doi.org/10.3390/infrastructures6110159>
- Liu, C., Zhang, W., Liu, H., Zhu, C., Wu, Y., He, C., & Wang, Z. (2022). Recycled aggregate concrete with the incorporation of rice husk ash: Mechanical

- properties and microstructure. *Construction and Building Materials*, 351, 128934. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.128934>
- Ma, Z., Hu, R., Yao, P., & Wang, C. (2023). Utilizing heat-mechanical synergistic treatment for separating concrete waste into high-quality recycled aggregate, active recycled powder and new concrete. *Journal of Building Engineering*, 68, 106161. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.106161>
- Mahmood, W., Ayub, T., & Khan, A. ur R. (2023). Mechanical properties and corrosion resistance of recycled aggregate concrete exposed to accelerated and natural marine environment. *Journal of Building Engineering*, 66, 105867. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.105867>
- Naderpour, H., Rafiean, A. H., & Fakharian, P. (2018). Compressive strength prediction of environmentally friendly concrete using artificial neural networks. *Journal of Building Engineering*, 16, 213–219. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2018.01.007>
- Nandal, M., Sood, H., Kumar Gupta, P., & Zia Ul Haq, M. (2022). Morphological and physical characterization of construction and demolition waste. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2022.11.013>
- Rezaei, F., Memarzadeh, A., Davoodi, M. R., Dashab, M. A., & Nematzadeh, M. (2023). Mechanical features and durability of concrete incorporating recycled coarse aggregate and nano-silica: Experimental study, prediction, and optimization. *Journal of Building Engineering*, 73, 106715. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.106715>
- Shamass, R., Rispoli, O., Limbachiya, V., & Kovacs, R. (2023). Mechanical and GWP assessment of concrete using Blast Furnace Slag, Silica Fume and recycled aggregate. *Case Studies in Construction Materials*, 18, e02164. <https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2023.E02164>
- Sharma, H., Sharma, S. K., Ashish, D. K., Adhikary, S. K., & Singh, G. (2023). Effect of various bio-deposition treatment techniques on recycled aggregate and recycled aggregate concrete. *Journal of Building Engineering*, 66, 105868. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.105868>
- Tanphanawiwat, K., Gheewala, S. H., Nilsalab, P., Schoch, M., & Silalertruksa, T. (2024). Environmental sustainability and cost performances of construction and demolition waste management scenarios: A case study of timber and concrete houses in Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 436, 140652. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2024.140652>
- Tejas, S., & Pasla, D. (2023). Assessment of mechanical and durability properties of composite cement-based recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 387, 131620. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.131620>
- Wu, B., Cao, H., & Wu, Q. (2023). Compressive and shrinkage behaviors of recycled aggregate concrete containing recycled sand from weathered residual soil of

- granite and MgO expansion agent. *Journal of Building Engineering*, 68, 106154. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.106154>
- Yan, J., Liu, X., Wang, X., Wang, L., Weng, W., Yu, X., Xing, G., Xie, J., Lu, C., Luo, Y., Lai, Z., & Shan, D. (2022). Influence of nano-attapulgitite on compressive strength and microstructure of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Composites*, 134, 104788. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2022.104788>
- Zhang, H., He, B., Zhao, B., & JM Monteiro, P. (2023). Using diatomite as a partial replacement of cement for improving the performance of recycled aggregate concrete (RAC)-Effects and mechanism. *Construction and Building Materials*, 385, 131518. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.131518>
- Zhang, H., Liu, W., Zhang, J., Liu, F., Lin, X., & Ji, T. (2023). A new look at the resistance of recycled aggregate concrete (RAC) to the external sulfate attacks: The influence of the multiple mesoscopic material phases. *Journal of Building Engineering*, 64, 105653. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2022.105653>
- Zhang, H., Xiao, J., Tang, Y., Duan, Z., & Poon, C. sun. (2022). Long-term shrinkage and mechanical properties of fully recycled aggregate concrete: Testing and modelling. *Cement and Concrete Composites*, 130, 104527. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2022.104527>
- Zhao, M. Z., Zhang, H., Geng, Y., Lehman, D. E., & Wang, Y. Y. (2023). Basic creep behavior and modeling of recycled coarse and fine aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 389, 131724. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.131724>
- Zheng, Y., Zhuo, J., Zhang, P., & Ma, M. (2022). Mechanical properties and meso-microscopic mechanism of basalt fiber-reinforced recycled aggregate concrete. *Journal of Cleaner Production*, 370, 133555. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.133555>