https://doi.org/10.4322/CBPAT.2022.072

Congresso Brasileiro de Patologia das Construções

ESTUDO DOS CONCRETOS COMPOSTOS COM AGREGADOS GRAÚDOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO: ANÁLISE DA PENETRAÇÃO DE CLORETOS

Tiago Luis Possebon Ortolan[1]*, Jairo José de Oliveira Andrade[2]
*Autor de contato: tiago.ortolan@edu.pucrs.br

[1] Programa de Pós-graduação de Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
[2] Programa de Pós-graduação de Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

RESUMO

As indústrias da cadeia da construção civil no Brasil e no mundo cada vez mais estão em foco no que concerne os desafios e as metas para a redução das emissões de gases de efeito estufa até 2050. A mesma cadeia que movimenta bilhões de dólares ao redor do mundo e gera milhares de empregos também é responsável por grandes impactos ambientais, segundo estudos a cadeia produtiva do cimento corresponde a cerca de 8% das emissões de GEE no mundo, assim como a geração de toneladas de resíduos sólidos anualmente, somente no Brasil foram 47 milhões de toneladas em 2020. Com o objetivo de enriquecer a discussão acerca destes problemas da indústria, este trabalho propôs a utilização de resíduos de construção e demolição como substitutos ao agregado natural graúdo em conjunto com a substituição do cimento Portland convencional por cinza volante. Desta forma foram moldados 4 traços, 2 traços com substituição de 40% de cimento por cinza volante, um deles sem agregado reciclado e o outro com 50% de agregado reciclado e os outros 2 traços com cimento Portland CPV-ARI, um deles sem agregado reciclado e o outro com 50% de agregado reciclado. Esses concretos foram analisados com relação à resistência à compressão e a resistência ao avanço de íons cloreto. A compreensão do comportamento dos concretos com agregado reciclado é fundamental para potencializar o uso do material, inclusive para uso estrutural e consequentemente dirimir os impactos ambientais ligados à indústria da construção.

Palavras-chave: Concreto; Agregado Reciclado; Cinza Volante; Cloretos.

ABSTRACT

The industries of the civil construction chain in Brazil and in the world are increasingly in focus regarding the challenges and goals for the reduction of greenhouse gas emissions by 2050. The same chain that moves billions of dollars around the world and generates thousands of jobs is also responsible for major environmental impacts, according to studies the cement production chain corresponds to about 8% of GHG emissions in the world, as well as the generation of tons of solid waste annually, only in Brazil there were 47 million tons in 2020. In order to enrich the discussion about these problems of the industry, this paper proposed the utilization of construction and demolition waste as a substitute for coarse natural aggregate in addition with the replacement of conventional Portland cement with fly ash. In this way, 4 traces were molded, 2 traces with replacement of 40% of cement by fly ash, one of them without recycled aggregate and the other with 50% of recycled aggregate and the other 2 traces with Portland cement CPV-ARI, one of them without aggregate recycled and the other with 50% recycled aggregate. These concretes were analyzed in terms of compressive strength and

resistance to chloride ion advancement. Understanding the behavior of concrete with recycled aggregate is essential to enhance the use of the material, including for structural use and consequently to reduce the environmental impacts linked to the construction industry.

Keywords: Concrete; Recycled Aggregate; Fly Ash; Chlorides.

1. INTRODUÇÃO

O mundo vem enfrentando desafios enormes para conter os avanços do aquecimento global e as consequências que esse problema ocasiona nas cidades modernas. Essa tarefa é extensiva a todos os atores de nossa sociedade principalmente àqueles cujas atividades geram os maiores impactos ambientais. Segundo relatório do *World Population Prospects* ONU (2019), a população mundial em 2050 será de 9,7 bilhões, um crescimento de 26% do registro feito em 2019, e aproximadamente 68% dessas pessoas ONU (2018) estarão vivendo em áreas urbanas. Esse aumento constante da urbanização ocasionará o incremento proporcional da demanda por infraestrutura de transportes e logística, assim como de moradias e áreas de lazer nos grandes centros urbanos. Atualmente a indústria do cimento sozinha emite aproximadamente 8% de dióxido de carbono na atmosfera terrestre, além disso, o estudo de Freedonia (2019) afirma que em 2023, a indústria da construção consumirá 47,5 bilhões de toneladas de agregados para produção de concreto ao redor do mundo, compostos em sua grande maioria por matéria prima natural, gerando por consequência, impacto ambiental associado à depleção de jazidas naturais e assoreamento de rios. Por outro lado, no final da esteira produtiva da cadeia da construção, outro grande problema pede atenção, de acordo com Ginga, Ongpeng, Daly (2020), resíduos de construção e demolição representam hoje em dia 30% dos resíduos sólidos gerados no mundo inteiro, somente no Brasil, segundo a Abrelpe (2021) o volume coletado foi de 47 milhões de toneladas em 2020, 5,5% maior que o ano anterior. Esse volume gigantesco de resíduos é por muitas vezes disposto em aterros sanitários, ocasionando impacto ambiental através do uso extensivo da terra e do transporte desses resíduos para fora dos centros urbanos. (HUANG *et al*., 2018).

Observando esse movimento e com o propósito de mitigar as emissões de gases de efeito estufa, diversas entidades públicas e privadas lançaram estratégias para balizar os esforços para atingir as metas firmadas no tratado de Paris. A GCCA (2020), *Global Cement and Concrete Association*, o CEMBUREAU (2020), *European Cement Association* e o PCA (2021), *Portland Cement Association* levaram a público manifestos expressando suas ambições para os anos vindouros nas indústrias da cadeia do cimento, buscando cumprir uma meta de produzir um concreto *carbon neutral* até 2050. Os documentos contam com a participação dos maiores produtores de cimento do mundo e dentre os principais pontos destacados nas diretrizes dos *roadmaps* estavam à redução de clínquer no cimento ou redução de cimento no concreto e a reutilização de resíduos de construção e demolição como agregado reciclado, evidenciando o papel central dessa discussão na atualidade.

No entanto, ainda existe um longo caminho a ser trilhado para viabilizar a utilização de concretos com agregado reciclado. Liang et al. (2021) afirma que a incorporação do agregado geralmente ocasiona impactos negativos ao concreto, e que apesar de existirem diversos estudos acerca das características microestruturais, propriedades mecânicas e de durabilidade como a carbonatação, ainda são poucos os estudos que tratam sobre o comportamento relativo à penetração de cloretos nos concretos reciclados. Liu et al. (2020) complementa salientando que o ingresso de íons cloreto promove a corrosão da armadura de aço, afetando seriamente as

propriedades mecânicas e acelerando a falha estrutural do concreto armado, reduzindo, portanto, a vida útil das edificações.

Desta forma, este estudo tem o propósito de contribuir para a bibliografia acerca do assunto, observando o comportamento dos concretos com utilização de agregados reciclados e com substituição de cimento por cinza volante em ambiente que simula a condição marinha de imersão e como essa exposição impacta o concreto ao longo do tempo.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Materiais

Para a elaboração do programa experimental deste trabalho empregou-se areia média natural, proveniente da bacia do lago Guaíba de Porto Alegre, agregado graúdo reciclado proveniente de uma demolição feita em Porto Alegre, agregado graúdo de origem basáltica, cimento CPV-ARI, Cinza Volante originária da usina termelétrica Presidente Médici localizada em Candiota/RS. As normas técnicas utilizadas para determinação das características dos materiais assim como a curva granulométrica estão apresentadas na tabela 1, os dados característicos dos materiais estão na tabela 2 e curva granulométrica na figura 1.

Tabela 1 – Ensaios e normas técnicas utilizadas

Ensaio	Norma	Materiais				
		Cimento	Ag. Reciclado	Ag. Natural	Areia	CV
Massa Específica	NBR NM 53:2009		X	X		
	NBR NM 52:2009				X	X
	NBR 16605:2017	X				
Massa Unitária	NBR NM 45:2006		X	X	X	
Módulo de Finura	NBR NM 248:2003		X	X	X	
Granulometria			X	X		

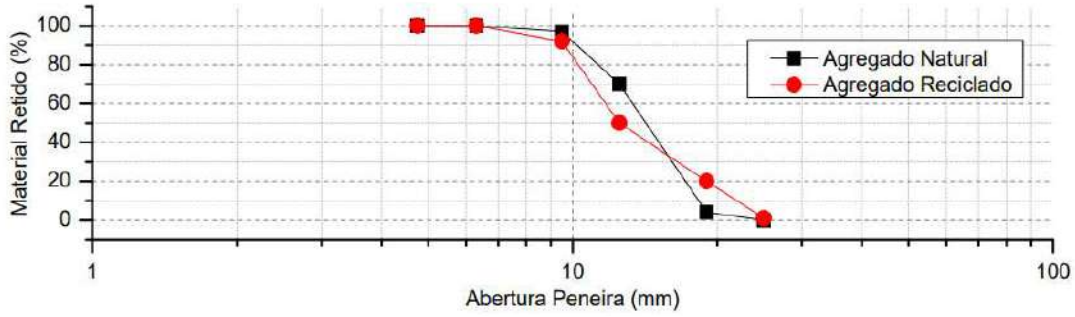
Fonte – O autor

Tabela 2 – Características dos Materiais

Ensaio	Materiais				
	Cimento	Ag. Reciclado	Ag. Natural	Areia	CV
Massa Específica em kg/dm³ (M.E.)	3,07	2,94	2,46	2,62	1,78
Massa Unitária em kg/dm³ (M.U.)	1,04	1,55	0,98	1,61	
Módulo de Finura		6,96	6,84	2,76	

Fonte – O autor

Figura 1 – Curva granulométrica dos agregados graúdos



Fonte – O autor

2.2 Métodos

2.2.1 Dosagem do Traço

O método de dosagem escolhido para moldar os traços foi o da ABCP/ACI, especificando-se um concreto com 30MPa de fck aos 28 dias, slump de 90+-10 e dimensão máxima do agregado de 19mm. Após a execução do estudo das características dos materiais foram calculados 4 traços, 2 traços com substituição de 40% de cimento por cinza volante, um deles sem agregado reciclado e o outro com 50% de agregado reciclado e os outros 2 traços com cimento Portland CPV-ARI, um deles sem agregado reciclado e o outro com 50% de agregado reciclado. A tabela 2 apresenta os traços unitários moldados.

Tabela 3 – Traços dos concretos moldados

Traço	a/c	Traço Unitário						
		Cimento	Cinza Volante	% RCD	Agreg. Miúdo Natural	Agreg. Miúdo Natural	Agreg. Graúdo Reciclado	Água
REF	0,5	1	0	0	1,97	2,9	0	0,5
50-0	0,5	1	0	50	1,97	1,45	1,21	0,5
0-40	0,5	0,6	0,4	0	1,97	2,9	0	0,5
50-40	0,5	0,6	0,4	50	1,97	1,45	1,21	0,5

Fonte: O autor.

2.1.2 Propriedades Físicas

Para verificar as propriedades físicas dos concretos analisados foram moldados para cada traço 2 CPs cilíndricos 10x20 para determinação da porosidade, da massa específica e da absorção de água por imersão. Estes ensaios seguiram o disposto na NBR 9776 (ABNT, 2005).

2.1.2 Resistência à Compressão

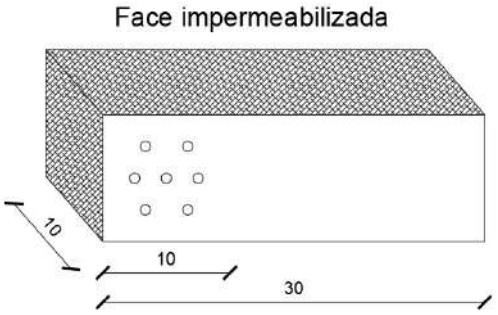
Para cada traço de concreto foram moldados 8 CPs cilíndricos 10x20cm para averiguação da resistência à compressão aos 7, 28, 63 e 91 dias. 24 horas após a moldagem dos corpos de prova os mesmos foram dispostos imersos em água para cura úmida para serem retirados nas

datas programadas para a execução dos ensaios. A verificação da resistência à compressão dos concretos moldados foi realizada seguindo os procedimentos da norma NBR 5739:1994.

2.1.3 Penetração de Cloretos

Para avaliar a penetração de cloretos nos concretos foram moldados 2 corpos de prova prismáticos de 10x10x30 por traço. Após 28 dias de cura úmida, os mesmos foram impermeabilizados em suas faces superior, inferior e nas pontas, permitindo assim que o fluxo de penetração dos íons cloreto ocorresse de maneira unidirecional. Após a impermeabilização dos CPs, os mesmos foram dispostos em um tonel com água e cloreto de sódio, em uma concentração de 3,5% e permaneceram lá até as idades de coleta de material, respectivamente aos 28, 63 e 91 dias de exposição. Decorrido esse período, os CPs foram retirados da água e colocados em ambiente fechado e protegido para secarem durante 7 dias, quando então se procedeu a coleta de material pulverulento através da execução de 7 furos progressivos de 1cm em 1cm. Esses furos foram feitos com broca 8mm até a profundidade máxima de 5cm, essa parte do processo foi executada com furadeira pneumática BOSCH GBH 2-24D e com o auxílio de uma pistola de ar comprimido para proceder com a limpeza dos materiais e do local de coleta do material, evitando assim a contaminação das amostras analisadas. Após a execução dos furos, os buracos foram preenchidos com pasta de cimento CPV-ARI e reservados durante outros 7 dias, quando então foram recolocados na água. A figura 2 demonstra as faces impermeabilizadas do CP assim como a separação do corpo em 3 áreas distintas de 10cm, uma para cada idade analisada.

Figura 2 – Corpo de prova exposto a ensaio de penetração de cloretos

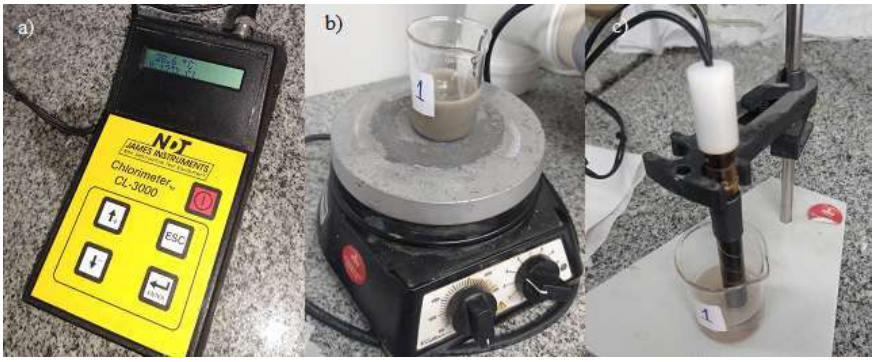


Fonte: o Autor.

Após a coleta do material pulverulento em sacos seláveis, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído (LAMTAC) da UFRGS para a determinação do percentual de cloretos livres nas amostras através do método de potenciometria direta. Este ensaio foi escolhido em função da praticidade na obtenção dos resultados e pelo acesso facilitado aos insumos necessários para a execução do mesmo. O aparelho empregado neste ensaio foi o CL – 3000 da NDT James Instruments, o equipamento conta com um eletrodo íon seletivo de cloreto que funciona a partir de uma calibração com 5 soluções aquosas de concentrações conhecidas e distintas, permitindo que se crie uma curva padrão de resultados. Realizada a calibração do aparelho, inicia-se o ensaio diluindo 3g da amostra em um Becker com 20ml de água deionizada e com o auxílio de um agitador magnético 752A da Fisatom, prossegue-se com a mistura da amostra por 1 minuto para a homogeneização a uma velocidade padronizada, em seguida aguarda-se 1 minuto para a decantação das partículas sólidas da solução e na sequência é feita a medição da concentração de cloretos por 1 minuto até estabilização do valor aferido. Após a execução de todo o processo todos os equipamentos devem

ser lavados com água deionizada, principalmente a ponta do eletrodo seletivo, evitando a contaminação cruzada das amostras analisadas. A figura 3 demonstra o processo descrito acima.

Figura 3 – a) Aparelho de medição b) Homogeneização da amostra c) Aferição da concentração de íons cloreto na amostra



Fonte: O autor.

Subsequente à obtenção dos valores percentuais de íons cloreto ao longo do substrato do concreto procedeu-se o cálculo do coeficiente de difusão e da concentração superficial. Para chegar a esses valores foi utilizada a equação (1) da 2ª lei de Fick em conjunto com a ferramenta *Solver* do software Excel. Utilizou-se como dados de entrada a profundidade, o tempo de exposição e a concentração percentual experimental em cada um dos 5 pontos de profundidade do material recolhido. Na sequência foram aplicadas restrições no software para que os resultados fossem no máximo 5% divergentes para mais ou para menos dos resultados experimentais, de tal maneira que fosse possível estipular a concentração superficial e o coeficiente de difusão na idade analisada. O método foi escolhido pela confiabilidade na previsão da vida útil de concretos já existentes por descrever especificamente o fenômeno da difusão, que é o preponderante no caso da penetração de íons cloreto, o método também foi escolhido pela facilidade na implementação e pela experiência obtida pelo trabalho de outros autores com o modelo.

$$C(x,t) = Cs \times erfc\frac{x}{\sqrt{4(t-t_{ex})D_a}} \quad (1)$$

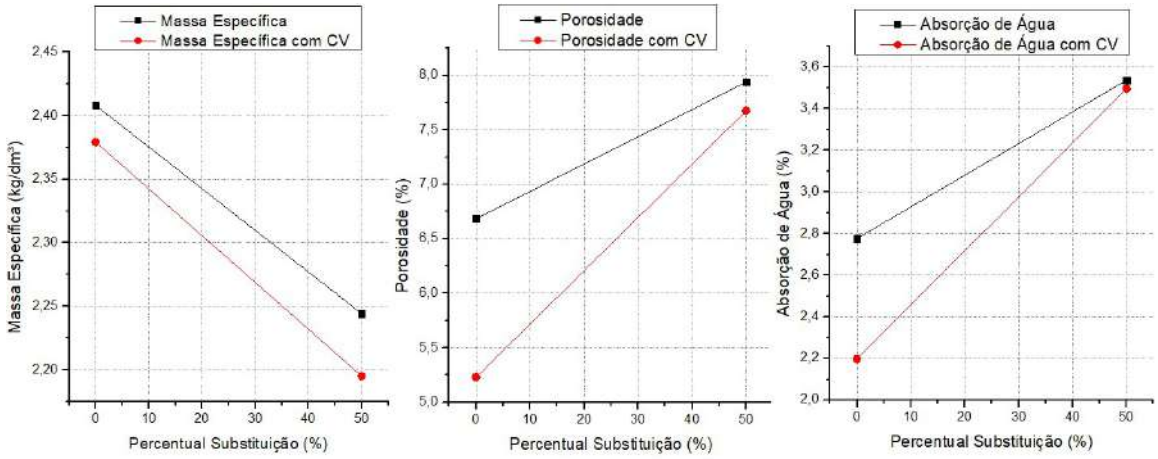
Onde:
Cs = Concentração Superficial (%)
erfc = Função complementar de erro de Gauss (mm);
x = profundidade (cm).
t = tempo (anos)
D = Coeficiente de Difusão (cm²/ano)

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Propriedades Físicas

Os resultados dos ensaios de propriedades físicas dos concretos como porosidade, massa específica e absorção de água estão demonstrados na figura 4 abaixo, os mesmos foram realizados aos 28 dias, após cura úmida dos corpos de prova.

Figura 4 – Porosidade, Massa Específica e Absorção de Água dos concretos com agregado reciclado.



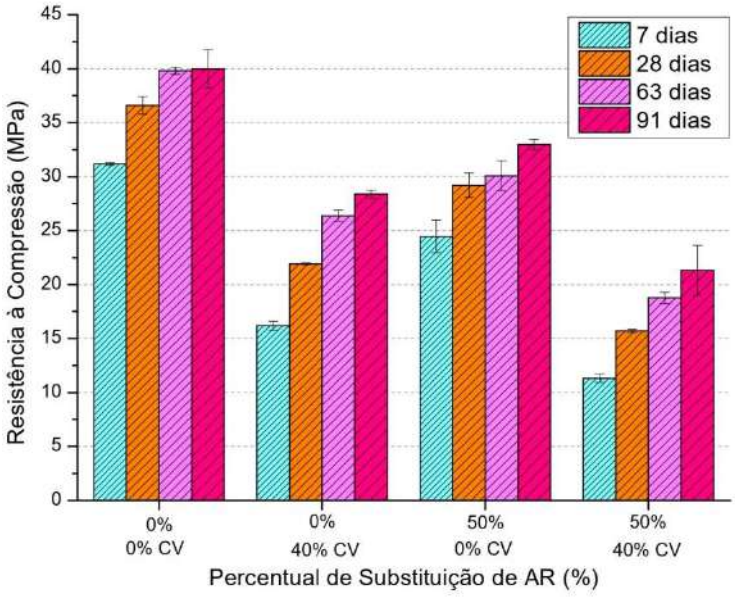
Fonte: O autor.

Conforme observado no gráfico existe uma correlação direta entre o incremento da taxa de agregado reciclado no concreto e a deterioração das propriedades físicas do concreto, a porosidade e a absorção d'água aumentam de maneira proporcional ao aumento da taxa de agregado reciclado, a massa específica por sua vez diminui conforme o incremento do teor de agregado reciclado. Essas características garantem um ambiente facilitado para o ingresso de agentes deletérios ao concreto, como o avanço da carbonatação ou a penetração de íons cloreto, por exemplo.

3.2 Resistência à Compressão

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão estão apresentados na figura 5 abaixo, os traços foram ensaiados aos 7, 28, 63 e 91 dias.

Figura 5 – Resistência à compressão de concretos com e sem cinza volante



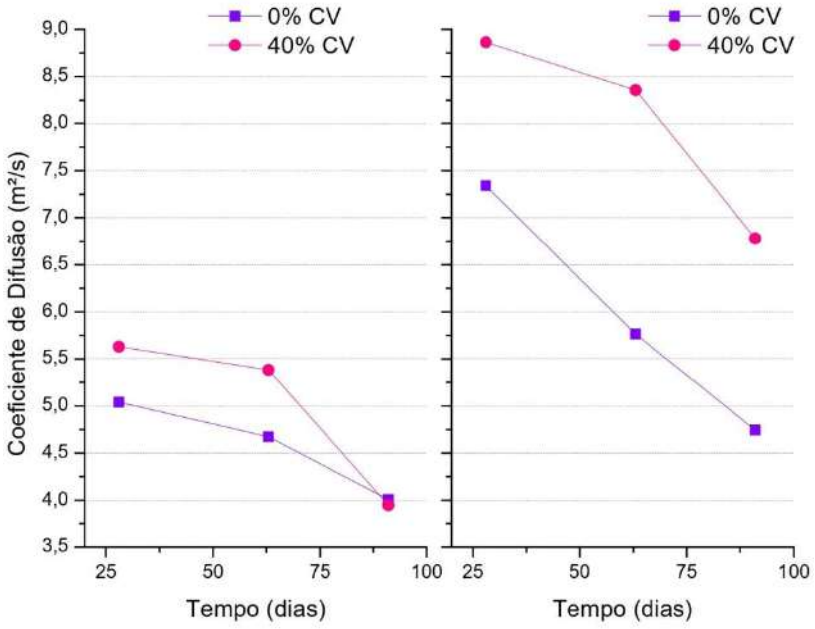
Fonte: O autor.

Os resultados apresentados no ensaio de resistência à compressão apresentam um comportamento amplamente descrito na literatura acerca da influência do RCD nos concretos, Wang et al. (2021), Cantero et al. (2020), Bao et al. (2020), notaram que conforme ocorre o incremento da taxa de substituição de agregado reciclado pelo agregado natural a resistência à compressão diminui proporcionalmente, esse comportamento pode ser observado tanto nos concretos com cinza volante quanto nos sem cinza volante, no entanto, analisando o concreto com 50% de teor de substituição e sem cinza volante, aos 28 dias o resultado é 20% inferior ao concreto de referência, porém aos 91 dias essa diferença reduz para 15%. Ademais, no que tange a influência da cinza volante nas propriedades mecânicas, é notável que a redução em 40% de cimento no traço diminui substancialmente a resistência à compressão aos 7 dias, no entanto, também é possível observar que com o decorrer do tempo a diferença entre os concretos com e sem cinza volante vai reduzindo, aos 28 dias a diferença entre os concretos com 50% de agregado reciclado com e sem cinza volante era de 46%, aos 91 dias essa diferença foi reduzida para 36%. Conforme Chousidis et al. (2015) e Ali et al. (2020) isso decorre fundamentalmente da reação pozolânica da cinza e a formação do C-S-H secundário no substrato do concreto, promovendo o refino e fechamento dos poros e aumentando portanto a resistência mecânica do concreto.

3.2 Cloretos

Os resultados do coeficiente de difusão e a concentração superficial para as idades de 28, 63 e 91 dias e os traços com 0% e 50% de agregado reciclado e com e sem cinza volante estão ilustrados respectivamente nas figuras 6 e 7.

Figura 6 – Coeficiente de difusão de íons cloreto. a) 0% agregado reciclado; b) 50% agregado reciclado.

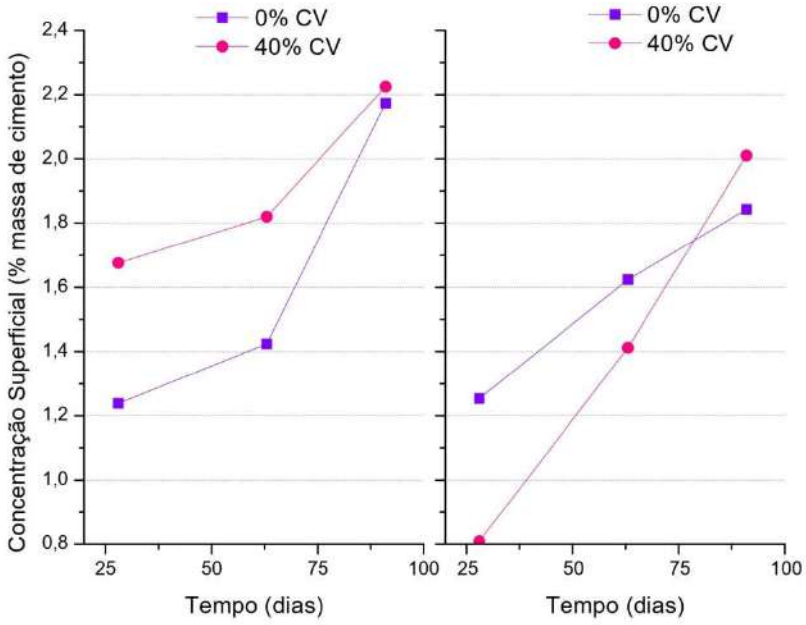


Fonte: O autor.

Conforme apresentado no gráfico fica clara a influência do agregado reciclado no que tange o coeficiente de difusão, a matriz mais porosa e mais permeável do concreto com agregado reciclado confere um ambiente facilitado para a percolação dos íons cloreto ao longo do concreto, também é possível verificar que com o avanço da idade do concreto a difusão apresenta uma

tendência de redução, isso se explica pelo fechamento dos poros e a consequência redução da permeabilidade, dificultando a progressão do fenômeno, resultados semelhantes foram encontrados por Liang et al. (2019), Kurda et al. (2018) e Yu e Lin (2020). Sobre os efeitos da cinza volante no que tange o coeficiente de difusão é possível notar que em ambos os concretos os valores foram maiores, com tendência de redução da diferença para os concretos com cimento CPV-ARI. Esse comportamento vai de acordo com o processo de fechamento dos poros decorrente da reação pozolânica e da formação de C-S-H secundário em altas idades na matriz do concreto, como é possível notar aos 91 dias o concreto com cinza volante já apresenta coeficiente de difusão menor do que o concreto de referência.

Figura 7 – Concentração superficial de Cl-. a) 0% de agregado reciclado b) 50% de agregado reciclado



Fonte: O autor.

Os gráficos apresentam uma tendência de crescimento na concentração superficial dos concretos analisados, como é possível ver o aumento foi mais significativo nos concretos com 0% de agregado reciclado. Isso decorre diretamente da diminuição efetiva da difusão dos íons cloreto na matriz dos concretos, dificultando o ingresso dos íons que ficam concentrados em maior quantidade na camada superficial e imediatamente abaixo, Silvestro, Romano e Dal Molin (2021) observaram esse efeito e concluíram que a concentração superficial é maior em concretos menos permeáveis, Vásquez et al.(2014) também relaciona essa característica a concretos com maiores teores de agregado reciclado, por consequência mais permeáveis. Os concretos com substituição de cinza volante apresentaram valores superiores de concentração superficial aos 91 dias, fazendo um paralelo com o coeficiente de difusão é quando se nota que o processo de refino de poros começa a se tornar mais evidente na matriz do concreto.

4. CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos neste trabalho podemos inferir que a utilização do agregado reciclado em substituição ao agregado natural acarreta significativas alterações no comportamento do concreto, é possível criar uma correlação direta entre a taxa de agregado reciclado e o decréscimo das propriedades mecânicas, conforme é possível perceber nos gráficos,

o concreto com 50% de agregado reciclado apresentou resultados inferiores com relação ao concreto de referência. Isso ocorre em função das características físicas do concreto, como a porosidade e a permeabilidade, que são deterioradas em função da porosidade intrínseca do agregado reciclado. Comportamento semelhante também é notabilizado com relação ao comportamento frente à penetração de íons cloreto, a porosidade e permeabilidade do concreto facilitam a entrada e difusão dos íons ao longo da matriz do material.

A utilização da cinza volante também apresenta efeitos diretos no concreto. Para as propriedades mecânicas, a redução da oferta de cimento no traço reduz a resistência nas idades mais baixas, essa diferença é reduzida ao longo do tempo em função da reação pozolânica, processo que produz C-S-H secundário e diminui a permeabilidade e a porosidade do concreto juntamente com o aumento da resistência mecânica. A cinza volante influenciou significativamente os resultados no que diz respeito à penetração de cloretos, os concretos com substituição de cinza apresentaram resultados inferiores principalmente no que tange o coeficiente de difusão aos 28 e 63 dias. Já aos 91 dias essa tendência apresenta mudança de comportamento e ocorre uma aproximação ao coeficiente dos concretos sem cinza volante, é possível notar essa alteração nos dois traços analisados, com e sem agregado reciclado.

Apesar dos efeitos deletérios apresentados é importante salientar que existe amplo espaço para potencializar a utilização desse material, diversos trabalhos vêm sendo realizados com o âmbito de aprimorar as qualidades intrínsecas do agregado reciclado, de forma a possibilitar seu uso em concretos estruturais. A viabilização do seu uso, mesmo que em menores taxas seria um avanço importantíssimo para aproximarmo-nos de uma ideia de economia circular para a indústria da construção civil.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimento para a equipe do laboratório de materiais de construção da PUCRS e do LAMTAC da UFRGS, Douglas Tischner, José Eduardo Cruz, ao colega e parceiro nessa empreitada Sérgio Roberto da Silva e ao meu professor orientador pela disponibilidade e incentivo Prof. Dr. Jairo José de Oliveira Andrade.

REFERÊNCIAS

ALI, B. et al. A step towards durable, ductile and sustainable concrete: Simultaneous incorporation of recycled aggregates, glass fiber and fly ash. **Construction and Building Materials**, v. 251 p. 118980, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT **NBR 7211**. Agregado para Concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT **NBR 9778**. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT **NBR 8522**. Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro, 2021, 3ª Ed., 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT **NBR 5739**. Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 53**: agregado graúdo - determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 52**: agregado miúdo - determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 45**: agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 248**: agregados - determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 16605**: cimento Portland e outros materiais em pó - determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

BAO, J. et al. Influence of the incorporation of recycled coarse aggregate on water absorption and chloride penetration into concrete. **Construction and Building Materials**, v. 239 p. 117845, 2020.

CANTERO, B. et al. Mechanical behaviour of structural concrete with ground recycled concrete cement and mixed recycled aggregate. **Journal of Cleaner Production**, v. 275 p. 122913, 2020.

CHOUSIDIS, N. et al. Mechanical properties and durability performance of reinforced concrete containing fly ash. **Construction and Building Materials**, v. 101 p.210-817, 2015.

GINGA, C.; ONGPENG, J.; DALY, M. Circular Economy on Construction and Demolition Waste : A Literature Review on Material Recovery and Production. **Materials**, v. 13 p.2970, 2020

HUANG, B. et al. Mechanical Resources, Conservation & Recycling Construction and demolition waste management in China through the 3R principle. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 129 p.36-44, 2018.

KURDA, R. et al. Optimizing recycled concrete containing high volume of fly ash in terms of the embodied energy and chloride ion resistance. **Journal of Cleaner Production**, v.194 p.735-750, 2018

LIANG, C. et al. Chloride permeability and the caused steel corrosion in the concrete with carbonated recycled aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 218 p. 506-518, 2019.

LIANG, C. et al. Chloride transport and induced steel corrosion in recycled aggregate concrete: A review **Construction and Building Materials**, v. 282 p.122547, 2021.

LIU, H. et al. Study on the effect of chloride ion ingress on the pore structure of the attached mortar of recycled concrete coarse aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 263 p.120123, 2020.

Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – ABRELPE < https://abrelpe.org.br/panorama/> Acesso em 1 de abril de 2022.

REACHING CLIMATE NEUTRALITY ALONG THE CEMENT AND CONCRETE VALUE CHAIN BY 2050. Disponível em <https://cembureau.eu/library/reports/2050-carbon-neutrality-roadmap/>Acesso em 1 de abril de 2022

ROADMAP TO CARBON NEUTRALITY Disponível em <https://www.cement.org/docs/default-source/cement-concrete-applications/pca_roadmap-to-carbon-neutrality_jan-2022.pdf?sfvrsn=33d8fcbf_2> Acesso em 1 de abril de 2022.

SILVESTRO, L.; ROMANO, F. S.; DAL MOLIN, D. C. C. Penetração de cloretos em concretos expostos em zona de atmosfera marinha por um período de 9 anos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 101-118, 2021.

The GCCA 2050 Cement and Concrete Industry Roadmap for Net Zero Concrete <https://gccassociation.org/concretefuture/wp-content/uploads/2021/10/GCCA-Concrete-Future-Roadmap-Document-AW.pdf> Acesso em 1 de abril de 2022

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). World Urbanization Prospects 2018: Highlights.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). World Population Prospects 2019: Highlights.

VÁZQUEZ, E. et al. Improvement of the durability of concrete with recycled aggregates in chloride exposed environment. **Construction and Building Materials**, v. 67 p.61-67, 2014.

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

YU, Y.; LIN, L. Modeling and predicting chloride diffusion in recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 264 p.120620, 2020.