XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Filito como substituto da cal dolomítica hidratada em argamassas de revestimento: propriedades físicas, mecânicas e emissões

Phyllite as a substitute for hydrated lime in coating mortars: emissions, physical and mechanical properties

Gabriel Rossetto Pedry
UNILA | Foz do Iguaçu | Brasil | gabrielpedry@gmail.com
Gabriel Werner Simoneto
UNILA | Foz do Iguaçu | Brasil | gabriel.werner02@gmail.com
Rafaela Goulart Gomes Oliveira
UNILA | Foz do Iguaçu | Brasil | ggorafa@gmail.com
Katia Regina Garcia Punhagui
UNILA | Foz do Iguaçu | Brasil | katia.punhagui@unila.edu.br
Edna Possan
UNILA | Foz do Iguaçu | Brasil | epossan@gmail.com

Resumo

O objetivo deste trabalho é avaliar o uso de filito como substituto da cal dolomítica hidratada na produção de argamassas de revestimento, avaliando as propriedades físicas (absorção de água), mecânicas (resistência à compressão, tração e aderência) e emissões de CO_2. Foram avaliadas 12 argamassas mistas com cal, cal e filito e apenas com filito em substituição à cal, nas proporções 1:1:6 e 1:2:9 (cimento:cal e/ou filito:areia). Os resultados indicam que com a substituição de cal por filito ocorre um aprimoramento em algumas propriedades físicas e mecânicas e a redução das emissões associadas à produção das argamassas.

Palavras-chaves: Argamassa, Filito, Emissões

Abstract

The aim of this paper is to evaluate the use of phyllite as a substitute for hydrated dolomitic lime in the production of coating mortars, evaluating the physical properties (water absorption), mechanical (compressive strength, tension and adhesion) and CO_2 emissions. Twelve mixed mortars with lime, lime and phyllite and only phyllite instead of lime, in proportions 1:1:6 and 1:2:9 (cement:lime and/or phyllite:sand) were evaluated. The results indicate that with the replacement of lime by phyllite, there is an improvement in some physical and mechanical properties and reduction in emissions associated with the production of mortars.

Keywords: Mortar, Phyllite, Emissions

Como citar:
PEDRY, G. R.; SIMONETO, G. W.; OLIVEIRA, R. G. G.; PUNHAGUI, K. R. G.; POSSAN, E. Filito como substituto da cal dolomítica hidratada em argamassas de revestimento: propriedades físicas, mecânicas e emissões. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO,19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-11.

1. INTRODUÇÃO

A maior concentração de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera tem colaborado para o aumento da temperatura média global. O período de 2011-2020 apresentou incremento de 1,09ºC em relação ao período pré-industrial (1850 a 1900)[1].O principal causador são atividades humanas que têm colaborado para o incremento da concentração gases de efeito estufa, destacando-se o CO_2.A consequência é a mudança climática que afeta diversas regiões do mundo com ondas de calor, ciclones tropicais, precipitação elevada e secas [1, 2].

Entre as principais fontes antropogênicas de CO_2tem-se a decomposição de rochas carbonáticas e a queima combustíveis fósseis para produção de cimento, responsável por cerca 8% das emissões globais de dióxido de carbono [3].No Brasil, a produção do cimento emite em média 609 $kgCO_2/t$ [4].

Cerca de 40% do cimento brasileiro é empregado na produção de argamassas [5]. Em parte destas, adiciona-se a cal hidratada dolomítica, que apresenta emissão de CO_2entre 365,8 a 642 $kgCO_2/t$; valor de mesma ordem de grandeza do cimento[6]. Para redução de emissões de carbono em argamassas de assentamento e revestimento algumas estratégias podem ser adotadas, como ouso de argamassa industrializada, com menor teor de cimento que a produzida em obra, emprego de aditivos incorporadores de ar [7] e a substituição da cal por material menos emissivo como o filito.

O filito é um tipo de rocha metamórfica composta majoritariamente de óxidos, sendo 60,2% de SiO_2, 22,33% de $A_{l2}O_3$ e 6,27% de Fe_2O_3 [8]. Possui baixo valor agregado e requer apenas moagem para ser inserido como fíler em argamassa. Este processo possui baixo consumo energético e emissões de CO_2. Sua função na argamassa é semelhante à da cal, prover trabalhabilidade e plasticidade [9]. No país há disponibilidade para exploração deste mineral no estado do Paraná [8], São Paulo [10] e Minas Gerais [11–13].A maior produtora do país está instalada no Estado de São Paulo e produz cerca de 300.000 t por ano [14].

A viabilidade técnica (físico-química) da substituição de cal por filito (Phyllite)é comprovada no estado fresco pelo ensaio de fluxo, com pouca diferença para aplicação da argamassa em comparação à cal[9]. No estado endurecido os resultados não foram satisfatórios quanto à resistência de aderência a tração (< 0,3 MPa) [15, 16].Contudo, devido o potencial de mitigação de CO_2, a estratégia de uso de filito em substituição de cal pode ser melhor explorada, empregando proporcionamento e combinação de materiais adequados.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é avaliar a influência da adição de filito em substituição parcial ou total da cal em argamassas, suas propriedades físicas, mecânicas e suas consequências nas emissões de CO_2.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

Neste estudo foram produzidas12 diferentes misturas de argamassa (Tabela 1), tomando como referência as proporções de 1:1:6 e 1:2:9 (cimento: cal: areia). Em cada mistura variou-se a quantidade de filito empregado, de forma a obter argamassas convencionais mistas de cimento e cal, argamassas mistas de cimento cal e filito (blendas) e argamassas mistas de cimento e filito. As argamassas foram produzidas por mistura mecânica, visando um índice de consistência de 260 ± 5 mm, conforme a normativa NBR 13276 [17]. Para o controle tecnológico foram produzidas amostras prismáticas em triplicada com dimensões de 4x4x16 cm.

Tabela 1: Proporção e Consumo de Materiais

Proporção*				Consumo de Material (Kg/m³)					
C	**A**	**Cal**	**Filito**	**Cimento**	**Filito**	**Cal**	**Areia**	**Água**	**a/agl**
1	6	1	0	140,35	-	93,33	1477,57	349,62	2,5
		0,25	0,75	139,98	32,78	69,81	1473,67	348,70	2,5
1	6	0	0,25	147,26	137,94	-	1550,30	306,51	2,1
			0	151,25	106,26	-	1592,32	301,42	2,0
			0,5	158,05	74,03	-	1663,89	284,35	1,8
			1	156,86	36,74	-	1651,42	303,93	1,9
1	9	2	0	87,01	-	115,71	1373,98	397,36	4,6
		0,50	1,50	94,18	44,11	93,94	1487,30	344,11	3,7
1	9	0	0,50	96,17	180,17	-	1518,63	319,41	3,3
			1	97,87	137,52	-	1545,57	325,08	3,3
			1,5	102,47	95,99	-	1618,11	311,98	3,0
			2	104,41	48,9	-	1648,74	317,88	3,0

*em volume, C: Cimento, A: Areia, a/agl: água/aglomerante

Na produção das argamassas empregou-se o cimento CP IV-32 RS, cal hidratada tipo CH III, filito natural e areia de origem quartzosa, conforme características físicas apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Propriedades Físicas dos Materiais

Caracterização	Material			
	Cimento	Cal	Filito	Areia
Massa Unitária (g/cm³)	0,90	0,60	0,85	1,52
Massa específica (g/cm³)	2,97	2,32	2,58	2,65
Diâmetro d50 (µm)	12,84	8,52	12,34	273,11
Diâmetro d90 (µm)	35,66	45,96	34,76	443,77
Módulo de Finura (%)	-	-	-	1,24

Os materiais foram caracterizados conforme especificações normativas vigentes e procedimentos da literatura (Tabela 2). Para a realização da granulometria por difração a laser, utilizou-se o equipamento da marca CILAS (modelo 1190), com faixa

de leitura entre 0,04 e 2500 µm. Neste ensaio as partículas foram analisadas em meio aquoso (água destilada), sem a presença de dispersantes, com um índice de obscuração próximo a 25%.

Tabela 3: Normativas e procedimentos empregados na caracterização dos materiais

Ensaio	Cimento e Cal	Filito	Areia
Granulometria por difração a laser	ISO 13320 [18]	[18]	[18]
Massa específica	NBR 16605 [19]	Rocha e Xavier [20]	[20]
Massa unitária	Mattana [21]	NBR NM 45[22]	[22]
Módulo de finura	-	-	NBR 7211 [23]

A determinação da massa específica da areia e do filito foi conduzida por meio do processo do picnômetro conforme descrito por Rocha e Xavier [20]. Neste processo o picnômetro é inicialmente cheio de água e pesado (Pag), em seguida retira-se uma parcela da água e adiciona-se uma amostra (a) de massa (m) conhecida do material a ser analisado, completa-se o picnômetro com água e pesa-se o conjunto com água e amostra (Pag+a). A massa específica é então obtida através da equação1.

$$Massa\ específica\ (g/cm^3) = \frac{m}{Pag-[(pag+a)-m]} \qquad (1)$$

Para a determinação da massa unitária do cimento e da cal utilizou-se o procedimento descrito por Mattana [21]. Foi utilizado um recipiente cilíndrico calibrado de volume conhecido (400 cm³), um funil com 1 cm de diâmetro de abertura e um suporte com regulagem de altura de forma a possibilitar a queda do material a uma altura de 8 cm entre a saída do funil e a borda do recipiente, garantindo desta forma altura de queda e vazão padronizadas durante o ensaio. A massa unitária é dada através da relação entre a massa de material presente no recipiente e seu volume.

2.2ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOSNO ESTADO ENDURECIDO

Os parâmetros de resistência foram estabelecidos de acordo com a NBR 13.279[24]ensaiando corpos de prova de formato prismático (4x4x16 cm) aos 7, 14 e após 28 dias de idade em prensa com dispositivo de Rilen. Para o ensaio de tração na flexão, foram empregadas três amostras para cada traço, aplicando uma carga de 50±10 N/s no meio do vão do corpo de prova. Para o ensaio de resistência à compressão, foram utilizadas duas metades de cada amostra ensaiada à tração, total de 6 amostras, com carga de 500±10 N/s. O ensaio de resistência potencial de aderência a tração foi realizado de acordo com a NBR 15258 [25],consistindo no arrancamento de amostras de argamassa de um modelo reduzido de alvenaria (12 repetições).O ensaio de absorção de água por capilaridade foi executado de acordo com a NBR 15259 [26]com leituras adicionais de10, 30, 45, 60 e 90min.

2.3 ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE CO_2

A estimativa das emissões de CO_2 para a produção das argamassas, foi realizada por meio da soma proporcional das emissões de cada material que constitui a argamassa, conforme observa-se na equação 2. Na tabela 4 são apresentados os valores de emissões adotados para cada um dos materiais. Nos resultados são apresentados valores médios.

$$E_{arg} = E_{cim}xC_{cim} + E_{cal}xC_{cal} + E_{ag}xC_{ag} + E_{fl}xC_{fl} \quad (2)$$

Onde Earg: Emissão total para produção da argamassa ($kgCO_2/t$); Ecim: Emissão para a produção do cimento ($kgCO_2/t$); Ecal: Emissão para a produção da cal ($kgCO_2/t$); Eag: Emissão para a produção do agregado natural ($kgCO_2/t$); Efl: Emissão para a produção do filito ($kgCO_2/t$); Ccim: Consumo de cimento para produzir 1 m³ (kg); Ccal: Consumo de cal para produzir 1 m³ (kg); Cag: Consumo de agregado natural para produzir 1 m³(kg); Cfl: Consumo de filito para produzir 1 m³(kg)

Tabela 4: Emissões CO_2 associadas à produção dos materiais, considerando escopo da extração à "porta" da fábrica

Tipo	$kgCO_2/t$ produto		Fonte
	Mín.	Máx.	
CP IV 32 RS	406	862	[27]
Cal hidratada dolomítica (CH III)	365	642	[6]
Filito	0*	8	[28]
Areia natural	0	12,5	[29]

* Filito residual, carbono neutro.

3. RESULTADOS

3.1 RESULTADOS NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO

Observa-se na Tabela 5, que as argamassas produzidas possuem baixa resistência mecânica (entre 0,84 a 3,23 MPa), com densidade da ordem de 1,8 g/cm³.

Na Figura 1 comparam-se resultados de argamassas com cal e com filito nos teores 1:1:6 e 1:2:9. Argamassas com filito apresentam resistência à tração superiores às de cal (49% maior no traço 1:1:6 e 25% maior no traço 1:2:9), isso se deve a menor relação água/cimento dos traços produzidos com filito (Tabela 1), para a resistência à compressão não houve grande variação dos resultados. Pode-se afirmar que em todos os casos o filito mostrou resultados em termos de resistência à compressão e à tração de argamassas iguais ou superiores as das argamassas com cal.

Para análise de resultado de resistência de aderência a tração, é considerado como valor mínimo 0,2 MPa para ambientes internos com acabamento em pintura e

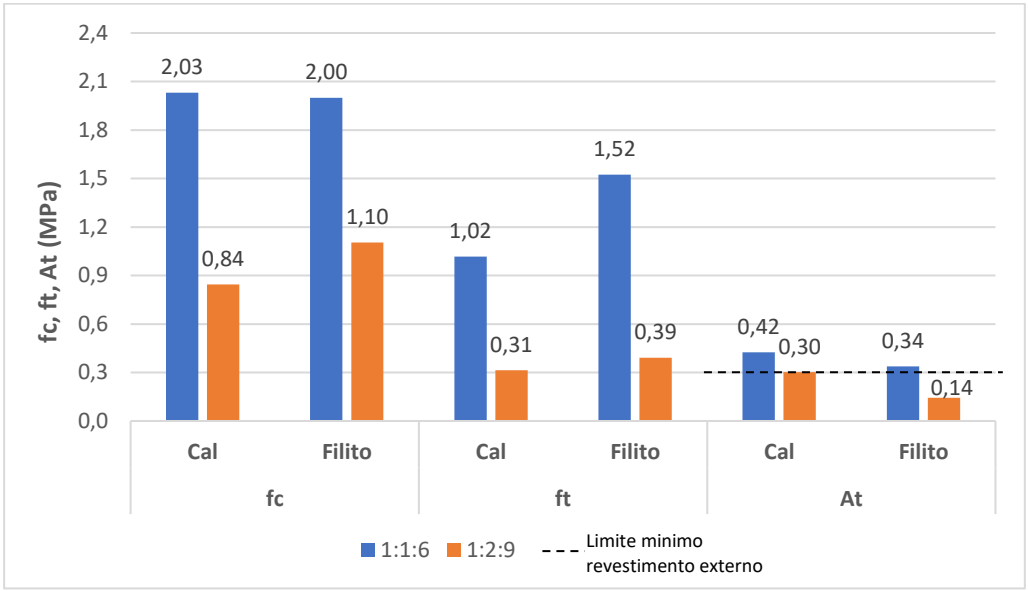
0,3 MPa para revestimentos internos e externos com cerâmica ou externos somente com pintura de acordo com NBR 13749 [30].

Tabela5: Propriedades Físicas e Mecânicas no Estado Fresco e Endurecido

Proporção*				Estado Fresco				Estado Sólido				
C	A	Cal	Filito	IC (mm)	MEA (g/cm³)	AI (%)	RA (%)	AC (g/dm².√min)	MEA (g/cm³)	ft (MPa)	fc (MPa)	At** (MPa)
1	6	1	0	262,3	1,99	1,42	96,34	20,37	1,81	1,02	2,03	0,424
		0.25	0.75	261,2	2,02	1,25	96,58	20,67	1,81	0,55	0,84	0,485
1	6	0	0.25	256,5	2,01	5,71	98,00	8,60	1,75	2,11	3,23	0,501
			0.5	263,6	2,02	6,87	98,47	9,80	1,78	1,02	1,76	0,398
			0.75	259,2	2,05	3,98	95,59	11,97	1,76	0,78	1,49	0,302
			1	256,7	2,07	2,49	93,95	14,83	1,80	1,52	2,00	0,338
1	9	2	0	255,2	1,99	2,83	95,73	21,00	1,77	0,31	1,10	0,302
		0.50	1.50	264,2	2,01	2,13	97,39	23,07	1,76	1,09	1,65	0,319
1	9	0	0.50	260,0	1,99	5,14	97,43	15,85	1,78	0,94	1,99	0,347
			1	258,3	2,02	4,32	97,49	15,10	1,76	1,02	1,51	0,294
			1.5	264,8	2,03	2,69	95,69	21,15	1,79	0,63	1,08	0,211
			2	262,0	2,05	2,22	95,62	23,30	1,78	0,39	1,00	0,144

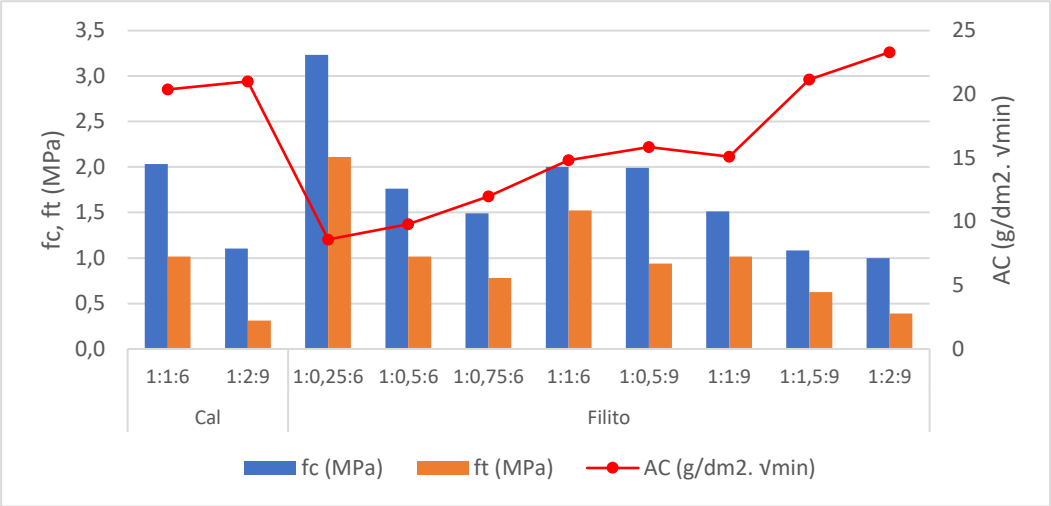
*em volume, C: Cimento, A: Areia, IC: Índice de Consistência; MU: Massa Unitária, AI: Teor de Ar Incorporado, RA: Retenção de Água, AC: Coeficiente de Absorção por Capilaridade; MEA: Massa Específica Aparente; ft: Resistência a tração, fc: Resistência a compressão, At: Resistência de aderência à tração. **Os dados de At estão presentes no TCC de Paco [31] e são parte do projeto de pesquisa do LADEMA (Laboratório de Desempenho, Estruturas e Materiais - UNILA) para a produção desse artigo.

Figura 1: Resistência à tração, compressão e aderência em função do proporcionamento



Para análise de coeficiente de absorção por capilaridade (Figura 2 e Tabela 5), o resultado do traço 1:1:6 somente com filito(14,83) apresenta menor valor comparando ao traço com cal (20,37).

Figura 2: Resistência (tração e compressão) e Absorção por capilaridade em função do proporcionamento



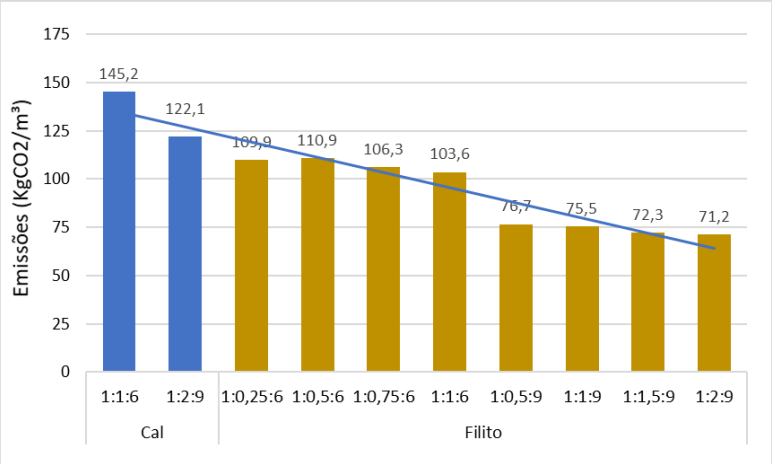
Pela Figura 2, nota-se relação entre maiores resistências mecânicas (fc, ft) com menores coeficientes de capilaridade, observado por Melo el al. [32] e Ribeiro et al. [15]. Menor absorção por capilaridade indica baixa porosidade da argamassa, portanto maior durabilidade [33], [34]. O melhor resultado obtido foi em traço 1:0,25:6 (8,60), mais rico em cimento, porém menos eficiente do ponto de vista ambiental. No estudo realizado por Paes et al. [16] são comparados traços com cal e filito e o coeficiente de capilaridade é menor na cal comparado ao filito, cerca de 60%. Ribeiro et al.[15] relatam, para argamassas com filito, alta absorção e coeficiente de capilaridade implicando em manifestações patológicas como formação de bolor e empolamento, devido a umidade. Isso se deve as impurezas presentes no material. Arce, Garzón e Sánchez-Soto [35] afirmam que o filito é uma adição com potencial para melhorar impermeabilização da argamassa. Os resultados divergem e podem variar em função do traço, tipo de cal, tipo de filito, porosidade e execução dos ensaios.

3.2 EMISSÕES DE CO_2

As emissões de CO_2 referentes a produção de 1 m^3 das argamassas podem ser observadas na Figura 3.

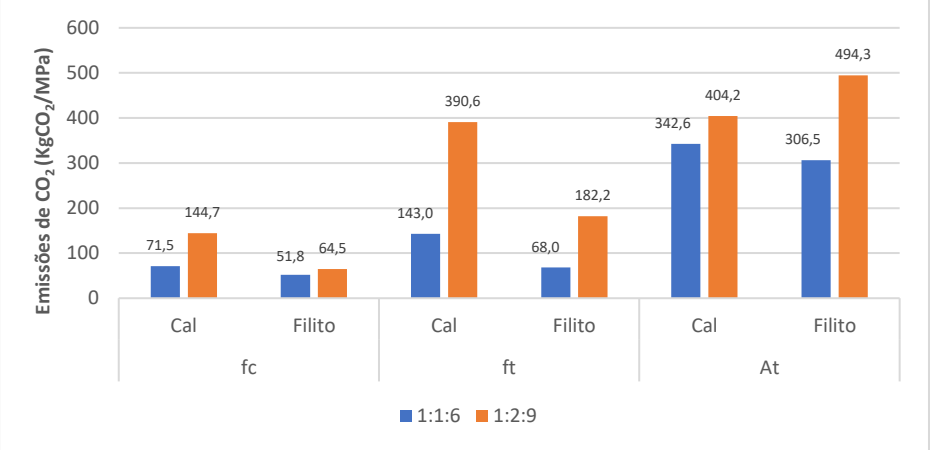
Observando os resultados das emissões constata-se que as argamassas convencionais a base de cal dolomítica, apresentam emissões maiores quando comparadas as argamassas a base de filito. No traço base de 1:1:6 se observa que a argamassa a base de filito apresenta uma redução de 28,65% em relação a argamassa a base de cal dolomítica. Já no traço base de 1:2:9 a argamassa a base de filito apresentam uma redução de 41,68% em relação a argamassa a base de cal dolomítica. Observa-se também a tendencia de redução das emissões à medida que se eleva a proporção de filito nas argamassas, isso é justificado pelas emissões no processo de produção (Tabela 4).

Figura 3: Emissões em kgCO_2 por m³ de argamassa



Tomando um indicador ambiental (emissões de CO_2) representado pela relação entre a quantidade de CO_2 emitida para a produção de 1m³ e a resistência característica à compressão (fc), à tração (ft) e aderência à tração (At) após os 28 dias (Figura 3), fez-se a análise de eficiência ambiental das argamassas produzidas.

Figura 4: Indicador ambiental (emissão de CO_2 por fator de resistência de aderência)



Observa-se que as argamassas nos traços 1:1:6 e 1:2:9 a base de filito apresentam menores emissões quando comparadas com as argamassas a base de cal, levando em consideração a resistência a tração na flexão (ft) e resistência à compressão (fc). Em relação a resistência de aderência, no traço 1:1:6 as argamassas a base de filito seguiram apresentando menores emissões em comparação ao traço a base de cal dolomítica, enquanto que no traço 1:2:9 as argamassas a base de cal apresentaram melhores resultados em relação a argamassa com filito. Isso se deve, pois a resistência a aderência encontrada no traço 1:2:9 foi muito inferior à do traço 1:1:6. Este resultado diverge dos resultados encontrados por Ribeiro et al.[15] que apresentam uma relação linear entre a resistência à tração na flexão e a resistência ao arrancamento das argamassas.

4. Conclusão

Analisando os resultados obtidos pôde-se chegar às seguintes conclusões:

a. A adição de filito em substituição a cal dolomítica nas argamassas é benéfica em relação a resistência à tração e à compressão, apresentando aumento de resistência em ambos os traços, com exceção da resistência à compressão no traço 1:1:6 que não apresentou variação significativa;
b. A adição de filito em substituição total ou parcial da cal dolomítica apresentou uma redução das emissões de CO_2; e quanto maior a proporção de filito adicionado menores foram as emissões associadas a produção das argamassas, na ordem de 30% para traço 1:1:6 e 40%para traço 1:2:9.
c. A adição de filito em substituição a cal dolomítica nas argamassas proporcionou uma maior eficiência ambiental em todas as situações, com exceção, do traço 1:2:9 quando comparado a resistência de aderência.
d. Para aplicação em revestimento externo, a aplicação do traço 1:1:6 com filito apresenta maior eficiência de emissões e cumpre com requisito mínimo de resistência de aderência à tração (0,3 MPa).

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES código 001) e à PRPPG/Unila pelo fomento à pesquisa, à Itaipu Binacional e à UNIOESTE Campus Cascavel pelo auxílio na execução dos ensaios.

REFERÊNCIAS

[1] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2021 The Physical Science Basis Summary for Policymakers Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2021. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf. Acesso em: 09 de maio de 2022

[2] AHMED, M. Introduction to Modern Climate Change. Andrew E. Dessler: Cambridge University Press, 2011, 252 pp, ISBN-10: 0521173159. **Science of the Total Environment**, v. 734, n. May, p. 139397, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139397

[3] ANDREW, R. M. Global CO2 emissions from cement production, 1928-2018. **Earth System Science Data**, v. 11, n. 4, p. 1675–1710, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.5194/essd-11-1675-2019

[4] GNR PROJECT. **Gross CO_2 Emissions - Brazil 2019**. CSI, 2019. Disponível em: https://gccassociation.org/gnr/Brazil/GNR-Indicator_59cDGWct-Brazil-2019.html. Acesso em: 10 de maio de 2022.

[5] SCRIVENER, K. L.; JOHN, V. M.; GARTNER, E. M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based materials industry. **Cement and Concrete Research**, v. 114, n. March, p. 2–26, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015

[6] MARTINS, K. H.; PUNHAGUI, Katia R.G.; JOHN, Vanderley M. **Relatório de coleta de dados para o Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção: Cal**.

São Paulo: Sidac, 2022.
[7] COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Estudo de Baixo Carbono para a Indústria de Cimento no Estado de São Paulo de 2014 a 2030**. 1ºed. São Paulo, 2018. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2018/09/CIMENTO-PUBLICA%C3%87%C3%83O_on-line.pdf. Acesso em: 15 de maio de 2022
[8] BIONDI, J. C.; MARCZYNSKI, E. S. Caracterização física e química dos filitos Açungui (PR) visando sua utilização pela indústria cerâmica. **Cerâmica**, v. 50, n. 313, p. 21–32, 2004. Disponível em: https://doi.org/10.1590/s0366-69132004000100004
[9] ROMANO, R. C. O et al.Caracterização reológica de suspensões cimentícias mistas com cales ou filitos. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 1, p. 75–84, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1590/s1678-86212014000100007
[10] MORETO, A. L. R.. **Características química, mineralógica e tecnológica dos filitos da região de Itapeva-SP empregados na indústria de cerâmica**. 96 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Exploratória) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em: https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/11204. Acesso em: 8 de maio de 2022
[11] LANA, M. S. Numerical modeling of failure mechanisms in phyllite mine slopes in Brazil. **International Journal of Mining Science and Technology**, v. 24, n. 6, p. 777–782, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2014.10.007
[12] CARVALHO, T. R. R.; LEÃO, M. F.; MARQUES, E. A. G.. Characterization of phyllite weathering profiles developed under tropical climate on Quadrilátero Ferrífero region, MG, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 103, n. June, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102727
[13] KNAUER, L. G.; SCHRANK, A.. A Origem Dos Filitos Hematíticos Da Serra Do Espinhaço Meridional, Minas Gerais. **Geonomos**, 1993. Disponível em: https://doi.org/10.18285/geonomos.v1i1e2.235
[14] MINERAÇÃO ITAPEVA. **Mineração Itapeva: Conheça nossa história**, 2019. Disponível em: https://www.mineracaoitapeva.com.br/empresa/. Acesso em: 24 maio 2022.
[15] RIBEIRO, D.; VIEIRA, S.; VIEIRA, R. Correlação entre os índices físicos de argamassas produzidas com diferentes materiais inertes, as manifestações patológicas e as propriedades do revestimento. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES – CBPAT 2016. 2016, Belém. **Anais...**.Porto Alegre: ALCONPAT, 2016.
[16] PAES, A. L. C. *et al.*Revestimento com Incorporação de Filito pelo Método de Projeção Mecanizada. In: 74º Congresso Anual da ABM. 2019, São Paulo. **Anais...**2019.
[17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.
[18] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 13320**: Particle Size Analysis - Laser Diffraction Methods. Genebra, 2009.
[19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.
[20] ROCHA, J. C.; XAVIER, L. L. Materiais de Construção Civil. Apostila do curso de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.
[21] MATTANA, A. J. **Estudos de Cales Hidratadas de Mercado:**CaracterizaçãoQuímica, Física e Comportamento Reológico da Pasta**.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em:https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/35250?locale-attribute=pt_BR. Acesso em: 8 de maio de 2022
[22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45:** Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
[23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:** Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2019.
[24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.**NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005a.
[25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15258** - Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da

resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2021.

[26] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro**,** 2005b.

[27] BELIZARIO-SILVA, F.; OLIVEIRA, L. A.; JOHN, V. M. **Relatório de coleta de dados para o Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção: cimento.**São Paulo: Sidac, 2022.

[28] MILLER, S. A. *et al.*Carbon dioxide reduction potential in the global cement industry by 2050. **Cement and Concrete Research**, v. 114, n. August, p. 115–124, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.08.026

[29] SCHMALFUSS, L. M; TIMM, J.; PASSUELLO, A. C. B. **Relatório de coleta de dados para o Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção: Minerais**. São Paulo: Sidac, 2022.

[30] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.**NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

[31] PACO, A. L. M. **Avaliação das Propriedades Físico-Mecânicas de Argamassas Produzidas com Filito em Foz do Iguaçu.** 2021. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil de Infraestrutura) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2021.

[32] MELO, K. A.; ANDRADE A. F. L.; LIRA E. M.; FRANÇA M. S.; QUEIROZ M. M.;CARNEIRO A. M. P. A influência do teor de cal hidratada nas propriedades deargamassas de cimento, cal e areia**.** In: 2 Congresso Nacional de Argamassas de Construção. 2007, Lisboa. **Anais...** 2019**.**Disponível em:https://www.apfac.pt/congresso2007/comunicacoes/Paper% 2045_07.pdf . Acesso em: 13 de maio de 2022

[33] KIRCHHEIM, A. P. **Concreto De Cimento Portland Branco Estrutural:** Avaliação Da Carbonatação E Absorção Capilar Concreto De Cimento Portland Branco Estrutural. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

[34] MARVILA, M. T. et al.Estudo Da Capilaridade Para Argamassas De Múltiplo Uso. In: 72º Congresso Anual da ABM. 2017, São Paulo. **Anais...** Disponível em: https://doi.org/10.5151/1516-392x-30736.

[35] ARCE, C. ; GARZÓN, E. ; SÁNCHEZ-SOTO, P. J. Phyllite clays as raw materials replacing cement in mortars: Properties of new impermeabilizing mortars. **Construction and Building Materials**, v. 224, p. 348–358, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.081.