



Ministério da Educação – Brasil
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
Minas Gerais – Brasil
Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas
ISSN: 2238-6424
QUALIS/CAPEs – LATINDEX
Nº. 22 – Ano XI – 10/2022
<http://www.ufvjm.edu.br/vozes>

Reutilização do silicado de alumínio na incorporação de argamassa cerâmica para fabricação de concreto.

Sidinei Silva Araújo
Engenheiro Civil e de Segurança do Trabalho, Licenciatura em Matemática e
especialista em Matemática Financeira e Estatística
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
<http://lattes.cnpq.br/6702383011553349>
araujosidinei17@gmail.com

Stênio Cavalier Cabral
Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
<http://lattes.cnpq.br/2452889693767673>
stenio.cavalier@ufvjm.edu.br

Jair Sebastião de Paula
Engenheiro Civil, Engenheiro de Segurança do Trabalho, Engenheiro Ambiental e
Sanitarista, Licenciatura em Química
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
<http://lattes.cnpq.br/8843277739290856>
jairspeng@gmail.com

Resumo: A indústria da construção civil impacta o meio ambiente de várias formas. Os MCS são geralmente incorporados como um substituto para o cimento por apresentarem propriedades interessantes a esta aplicação. Desta forma a presente pesquisa tem como objetivo estudar a composição e microestrutura da escória de lítio, obtida de uma indústria de lítio de Minas Gerais e estudar a absorção de água e resistência à compressão de corpos de prova de concreto, contendo 0%, 1%, 2%, 3%, 4% e 5% de escória de lítio (substituição e adição) e cimento Portland CP-V, com 3, 7, 14 e 28 dias de cura. Em termos de composição química escória de lítio

presentou majoritariamente SiO_2 (57,821) e Al_2O_3 (23,653%). Corpos de prova contendo diferentes quantidades de escória de lítio aos 28 dias não apresentaram diferença da resistência à compressão em relação a corpos de prova preparados com 0% de escória de lítio.

Palavras Chave: Escória de lítio. Cimento Portland. Material Cimentício Suplementar. Concreto (MCS).

Introdução

O setor da construção civil produz os bens com maiores dimensões físicas do planeta e é o maior consumidor de recursos naturais de qualquer economia (JOHN V. M. et al., 2000). A indústria de construção usa aproximadamente 1,6 bilhões de toneladas de cimento (A.ABBAS et al., 2009). O concreto é uma das combinações de materiais utilizados na construção civil, que é barato, robusto e apresenta relativa facilidade de uso (W.P. BOSHOF., 2015). A indústria da construção civil é uma das grandes responsáveis por gerar impactos ambientais no mundo (A. G. ARAÚJO et al., 2017), com o atual crescimento populacional e taxa de urbanização, só se pode esperar que a taxa de produção de concreto aumentará em conformidade (NAFISA TAMANNA et al., 2020; A. TORRES et al., 2017; SAMUEL TETSOPGANG et al., 2020). Anualmente a produção de cimento é responsável por cerca de 5 a 7% das emissões de CO_2 na atmosfera. A indústria de cimento tem aumentado a emissão de gases de estufa no decorrer dos anos. As emissões de CO_2 a partir de fábricas de cimento em 1990 foram de 500 milhões de toneladas, em 2006 a emissão destes gases chegou a 1,88 bilhões de toneladas (A.ABBAS et al., 2009). Além disso, no processo de produção de cimento, grandes mineradoras exploram calcário, argila e carvão (combustível para produção de cimento) do meio ambiente, causando assim desmatamento e perda superficial do solo (A.ABBAS et al., 2009). A produção de cimento atingiu 337,32 milhões de toneladas em 2018-19, e contabiliza 278,79 milhões de toneladas a partir de abril de 2019 a janeiro de 2020. A produção de cada tonelada de cimento Portland aproximadamente 1 tonelada de CO_2 são lançados, conforme mostrado na figura 2, que é um grande contribuinte para o emissão de gases de efeito estufa responsáveis pelo aquecimento global (ASHWINI R.PATIL et al., 2020).

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é um método valioso para avaliar os impactos ambientais da produção de cimento. Devido a essas considerações ambientais críticas, muitos estudos usaram a ACV para esse fim. Outras medidas potenciais de melhoria são o uso de combustíveis alternativos, eficiência energética e substituição de materiais, porque essas medidas são econômicas e tecnicamente sustentáveis (OLUWAFEMI et al. 2021). Embora a demanda de cimento tenha se estabilizado em muitos países desenvolvidos recentemente, várias economias emergentes e em desenvolvimento experimentaram aumentos importantes na demanda (IVAN et al. 2019). Aumentar a resistência do cimento requer mais energia elétrica para moer o cimento em partículas mais finas, o que garante que a maior parte do clínquer e outras partículas reativas sejam hidratadas aos 28 dias; e aumentando as fases reativas do cimento, como o teor de clínquer. Ambas as opções melhoram a reatividade do cimento e podem reduzir o consumo de cimento para obter o mesmo desempenho mecânico do concreto (DANIEL et al, 2020). Materiais de construção sustentáveis são materiais socialmente aceitos e reduzem os perigos para o meio ambiente, não apenas hoje, mas também no futuro durante a fabricação e construção de novas estruturas (ASHWINI R.PATIL et al., 2020; J.W. ISLER., 2012).

A fabricação do cimento Portland envolve a moagem, dosagem da mistura crua, homogeneização da mistura crua, formação do clínquer, resfriamento e adições finais. A formação do clínquer consiste do aquecimento controlado da mistura crua, devidamente dosada e homogeneizada, em forno apropriado até temperaturas de aproximadamente 1450 a 1500°C (ALDO et. al., 2007; COUTINHO et al., 1998; ZAMPIERI et al., 1993; GOGUEL, R. L et al. 1993; ALDO et. al., 2007). No Brasil assim como na maioria dos países com produção de cimento significativa, são fabricados diversos tipos de cimento, por meio das adições e aditivos utilizados no clínquer,(CARMINE L. et al., 2013). O termo hidratação refere-se às reações do cimento com a água que ocorrem com o transcorrer do tempo, dando origem a uma matriz firme e resistente (JÚLIA P. V. et al., 2009; ANDREZA K. C. N. et al., 2010; VALDECIR A. Q. et al., 2008; BONAVETI V. et al., 2000). A porosidade e permeabilidade são características fundamentais da qualidade do concreto, que estão relacionadas entre si. A durabilidade de um concreto está ligada a sua porosidade capilar. (MEHTA et al. 1994; MEHTA et al. 2008). A permeabilidade e a

porosidade estão também relacionadas com a resistência do concreto a ataques químicos. Recena et al. (2014), informam que em um concreto com muitos poros pode haver a penetração de água do meio externo, podendo assim levar, em solução, agentes agressivos, diminuindo a sua durabilidade. A permeabilidade é proveniente da relação água/cimento e do grau de hidratação do cimento (HELENE et al. 1986; LEITE et al. 2018).

Desde a década de 1990, muitos pesquisadores importantes começaram a advogar o uso de materiais cimentícios suplementares (MCS), como cinzas volantes (PFA) e escória de alto-forno granulada moída devido à sua capacidade de substituir parcialmente o cimento e até torná-lo um ligante mais eficaz no concreto. Os benefícios que foram demonstrados inicialmente em estruturas de concreto armado incluíram (i) redução da pegada de carbono usando os MCS que são resíduos, (ii) aprimoramento da resistência das interfaces de pasta agregado e concreto; (iii) diminuição da permeabilidade; (iv) aumento da resistividade elétrica; (v) redução do risco de reação álcali-sílica; (vi) redução da evolução do calor de hidratação; (vii) aumento da resistência a cloretos e sulfatos; e (viii) redução no custo do concreto. Muitas descobertas de pesquisas nas últimas décadas também mostraram que a incorporação de MCS' s, com uma diminuição simultânea na quantidade comum de clínquer Portland no concreto, é talvez o caminho mais viável para a sustentabilidade, especialmente quando uma vida útil longa e livre de corrosão é esperada (R. G. PILLAI et al., 2007). Os Materiais Cimentícios Suplementares (MCS) são geralmente incorporados como um substituto para o cimento (M.S. HEMALATHA et al., 2018). E estes envolvem materiais pozzolânicos, materiais hidráulicos e materiais inativos ou apresentando apenas pequena reatividade no sistema de cimento (BARBARA P. et al., 2020). Muitos dos SCMs são classificados como resíduos; entre estes, alguns representam uma ameaça crítica ao meio ambiente. Cinzas volantes, um forma de SCM, é um resíduo fino resultante da combustão de carvão pulverizado. Eliminação de cinzas volantes no ambiente aberto resulta na deterioração do solo, bem como águas subterrâneas (SANCHIT G. et al., 2020). Partículas de cinzas volantes também podem espalhar-se por meio do ar e representa um sério risco para a saúde (WU S., et al., 2016). Os riscos ambientais não se limitam às cinzas volantes; vários dos resíduos quando deixados sem controle no ambiente resultam em graves consequências. Convencionalmente,

resíduos na forma de pó com propriedades pozolânicas, como cinzas volantes, têm sido usadas como uma substituição para cimento (DEMIR T. et al., 2019); e, resíduos grosseiros e finos, como resíduos de mármore, têm sido usados como um substituto para agregados (TUNC E.T. et al., 2018). A escória de lítio (E.L) pode ser usada como ativador de ligantes (LIU et al., 2019) e cinzas volantes e escória de alto-forno granulado moído podem ser usados para fazer geopolímeros de uma parte curados em ambiente, uma alternativa ecologicamente correta e tecnicamente viável ao cimento convencional (ODERJI, S.Y. et al., 2019). Outra forma de reduzir essa emissão de CO₂, consiste em explorar as possibilidades do uso de cimentos alternativos (JOSEPH J. B. et al 2017; ELLIS G. et al., 2018, GLASSER F.P. et al., 2016; GALVEZ M. J. et al., 2016; MORRISON J. et al., 2016; REGNAULT O. et al., 2009; CIZER O. et al., 2012); SHI C. et al., 2011; MAC G. JG. et al; 1997; ALI NAQI et al., 2019; GLASSER F.P. et al., 2016; GALVEZ M. J. et al., 2016; MORRISON J. et al., 2016).

A produção de lítio através do processamento de ácido sulfúrico resulta na geração de resíduos industriais sob a forma de subprodutos, nomeadamente escórias de lítio (EL) (G. C. MOREIRA et al., 2017; EVANGELOS KALLITSIS et al., 2020; SYED FARASAT ALI SHAH et al., 2020; WANG YIREN e al, 2019; MEDINA E EL-NAGAR., 1984; SONGYAN JIANG et al., 2020; HABASHI, 1997; WANG YIREN e al, 2019). Aproximadamente 10 toneladas de escória de lítio são geradas durante a produção de uma tonelada de carbonato de lítio. O descarte ineficaz de escória de lítio pode representar uma séria ameaça ao meio ambiente, dentre outros, devido ao SO₄²⁻ lixiviado que pode poluir ambos terra e água (SYED FARASAT ALI SHAH et al., 2020; Z.H. He et al 2018.; H.B. TAN et al., 2015; L. ZHANG et al., 2015; M.Y. ZHAI 2017). Portanto, é importante explorar meios eficazes de utilização da escória de lítio para o desenvolvimento sustentável da indústria de lítio. Os principais componentes da escória de lítio são alumino-silicato amorfo, quartzo, gesso, albita, sulfato de cálcio (SYED FARASAT ALI SHAH et al., 2020). As fases da escória de lítio estudadas por pesquisadores usando o DRX incluiu principalmente a fase de quartzo (SiO₂), gesso (CaSO₄2H₂O), calcita (CaCO₃), pirofilita [Al₂Si₄O₁₀ (OH)₂] e SiO₂ e Al₂O₃ amorfo, e uma pequena quantidade de espodumênio (LiAlSi₂O₆), caulinita e carbonato de lítio (Li₂CO₃) (M.Y. ZHAI et al., 2017; Y. QIU et al., 2016; L. ZHANG et al., 2012 et al., D. CHEN et al., 2015; Z.H. HE. et al., 2017). Poucos são

os estudos de reutilização de escória de lítio encontrados na literatura (WANG YIREN e al, 2019)

Cientistas não mede esforços no estudo envolvendo possíveis alternativas ao cimento Portland. (ANDRESSA et al. 2017; JOSÉ et al. 2022; FERNANDA et al. 2022). RIMVYDA et al. 2020; OKORIE et al. 2020); (HONGBO et al. 2020; SYED FARASAT ALI SHAH et al., 2020; TAN et al., 2015; Z.H. He et al 2018; MAOSEN et al. 2021; TING Z. et al., 2020). Pesquisadores estudaram a resistência à compressão, módulo de elasticidade, idade de retração por secagem e fluência de concreto contendo escória de lítio como material cimentício suplementar (MCS). Os efeitos da escória de lítio (EL) sobre essas propriedades mecânicas foram examinadas experimentalmente usando corpos de prova com diferentes teores de escória de lítio (0%, 10%, 20% e 30% de ligante) curados com 7 e 28 dias. O cimento usado no estudo foi Portland comum cimento de Grau P O 42.5 de acordo com o cimento Portland comum (Chinês GB 175-2007). A escória de lítio usada foi fornecida por Sichuan uma planta de sal de lítio na China. A composição química do cimento utilizado de SO_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O e perda ao fogo foi de 2,42; 20,34; 3,43; 4,76; 61,87; 1,34; 0,55; 0,06 e de 3,11 respectivamente. A composição química da escória de lítio utilizada de SO_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O e perda ao fogo foi de 7,15; 53,22; 1,48; 17,11; 10,11; 0,41; 0,53; 0,33 e de 8,25 respectivamente. Adicionalmente as técnicas envolvendo a porosimetria por intrusão de mercúrio e microscópio eletrônico de varredura também foram utilizadas para investigar microestrutura dos concretos com diferentes teores de escória de lítio. Foi demonstrado que, a adição de escória de lítio no concreto pode melhorar o propriedades mecânicas do concreto curado, incluindo a resistência à compressão, módulo de elasticidade, encolhimento por secagem e fluência, se a quantidade certa de escória de lítio for usada (Z.H. HE. et al., 2017).

Objetivo.

A presente pesquisa tem com objetivo estudar composição química, mineralógica e a microestrutura da escória de lítio obtido de uma indústria de lítio localizada em Minas Gerais, Brasil. Adicionalmente também é objetivo desta pesquisa e estudar a absorção de água e resistência à compressão de corpos de

prova de concreto, contendo 0%, 1%, 2%, 3%, 4% e 5% de escória de lítio (substituição e adição) e cimento Portland CP-V, com 3, 7, 14 e 28 dias de cura.

Metodologia.

Na presente pesquisa o resíduo denominado escória de lítio obtido de uma indústria de lítio localizada no estado de Minas Gerais, Brasil, foi submetido a caracterização envolvendo a determinação da distribuição de tamanhos de partículas, difratograma de Raio-X (DRX), Fluorescência de Raios X (FRX), ensaios de lixiviação e de solubilização, microscopia eletrônica de varredura (MEV), nos aumentos de 400, 1000 e 3000x, e EDS, ensaio de dilatação linear, análises térmica diferencial (DTA) e análise térmica gravimétrica (TGA). Foram preparados corpos de prova de concreto com percentuais de escória de lítio predefinidos, sendo de 1%, 2%, 3%, 4% e 5% deste resíduo. O Cimento Portland utilizado foi o Cimento Portland de alta resistência inicial - CP-V. O método de dosagem utilizado para a fabricação do concreto foi o ACI/ABCP. Os corpos de prova foram submetidos a cura de 3, 7, 14 e 28 dias. Posteriormente os corpos de prova foram submetidos a ensaios de absorção de água e de resistência à compressão de acordo com as respectivas normas adaptadas. Foi aplicado tratamento estatístico envolvendo testes de normalidade e testes de hipótese adequado a cada situação, posteriormente os dados foram plotados em gráficos e tabelas, em seguida apresentados nos resultados e discussões da presente pesquisa. Todos os ensaios foram realizados de acordo com suas respectivas normas técnicas.

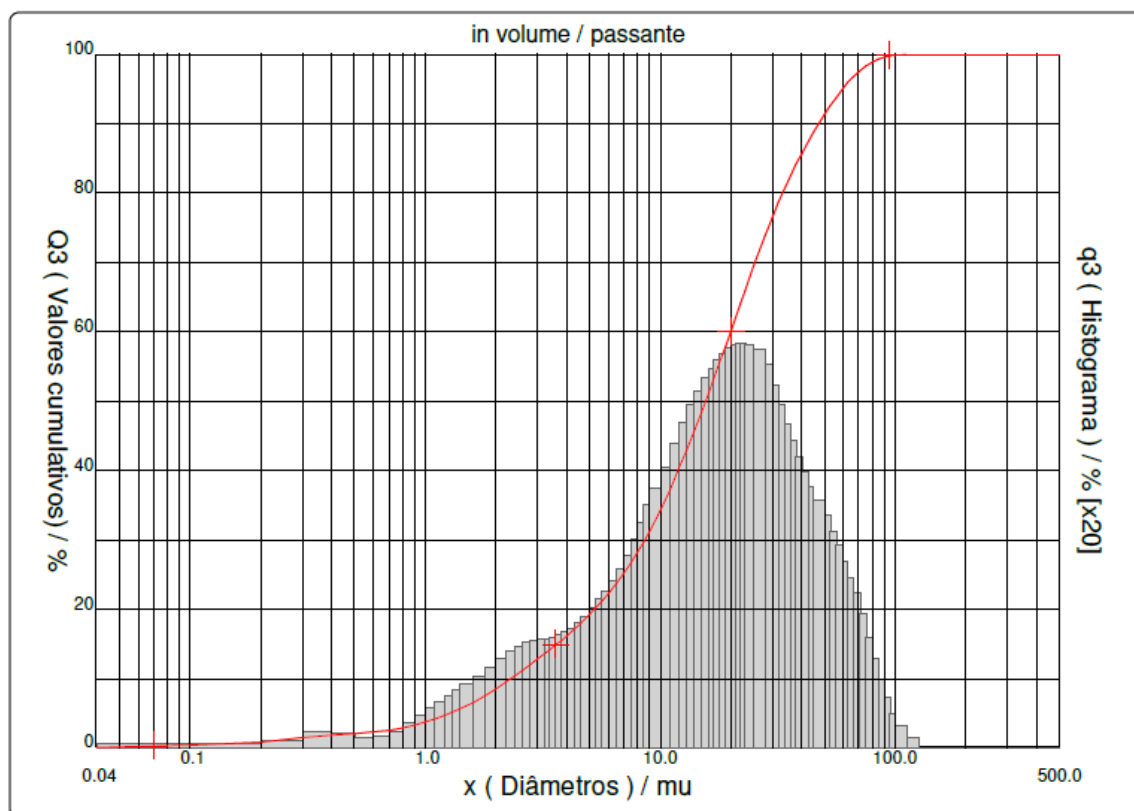
Resultados e Discussões.

Caracterização do silicato de alumínio.

A escória de lítio é um resíduo industrial da extração de lítio do mineral espodumênio após ser submetido à temperatura de 1.200°C e ácido sulfúrico. O presente relatório apresenta os resultados da caracterização de silicato de alumínio também conhecido na literatura científica internacional como escória de lítio ((EDICARLOS, 2016; TING, 2020). Os resíduos de silicatos foram caracterizados via ensaios de lixiviação e solubilização. Eles também foram caracterizados fisicamente, por granulometria à laser, mineralogicamente por Difração de Raio X, quimicamente

por Fluorescência de Raio X, termicamente ATD/TG/DSC, e morfologicamente, por Microscopia eletrônica de varredura (MEV). Foram feitas ainda outras análises, a pedido dos alunos, como: Teor de umidade, perda ao fogo e particulometria. Na Figura 1 é apresentado o resultado da granulometria à laser dos silicatos. Analisando a Figura 1 é possível observar que o resíduo apresenta majoritariamente partículas pequenas, onde 90% foi passante em peneira 47,39 μm , e apenas 10% passante na peneira de 2,31 μm .

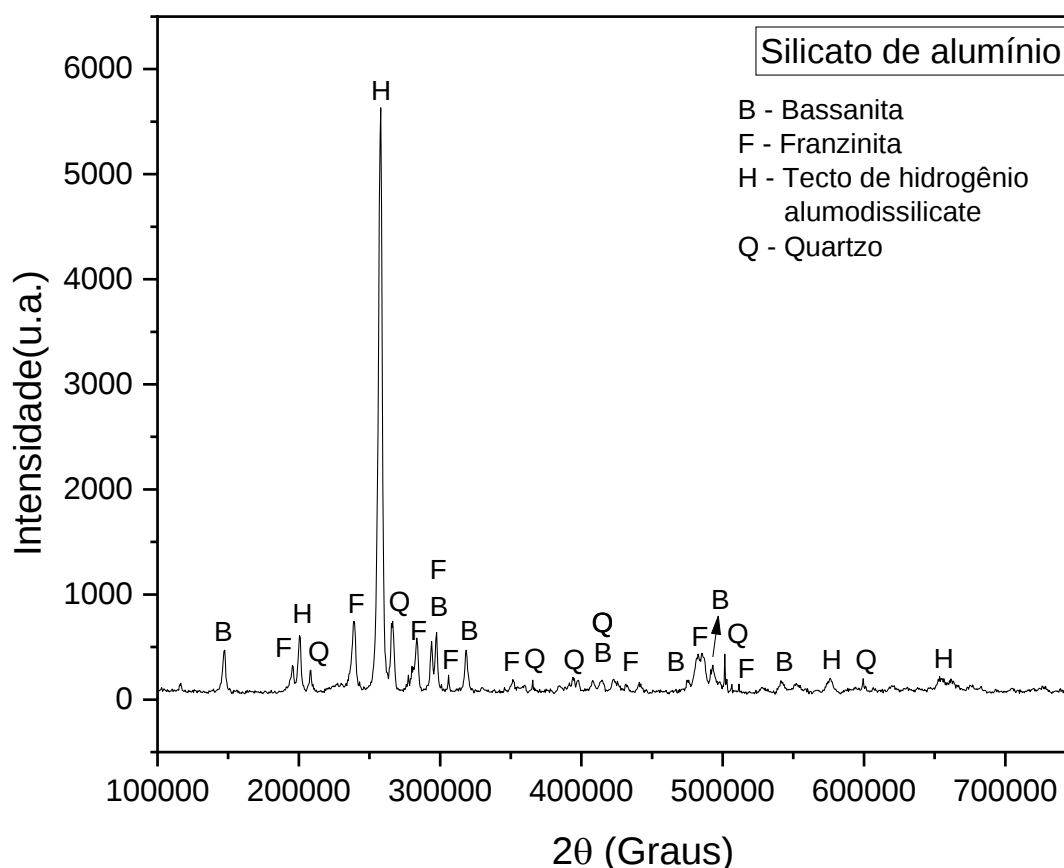
Figura 1: Determinação da distribuição de tamanhos de partículas.



	Composição Granulométrica			
	2,31 μm	15,62 μm	47,39 μm	112,00 μm
Silicato de Alumínio	10%	50%	90%	100%

A Figura 2 apresenta o difratograma de raios-X da amostra de silicato de alumínio. É possível observar que o silicato de alumínio apresenta as seguintes fases presentes: bassanita, franzinita, quartzo e tecto de hidrogênio aluminossilicato (Al_2SiO_5). A bassanita se constitui do sulfato de cálcio hemi-hidratado, $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ (RUN, 2020). A franzinita pode assumir uma combinação entre os átomos com a seguinte configuração $\{[\text{Na}_{20,56} \text{K}_{6,7} \text{Ca}_{11,7} (\text{SO}_4)_{10} \text{Cl}_{0,3} \text{F}_{0,1} (\text{H}_2\text{O})_2] [\text{Si}_{29,8} \text{Al}_{30,2} \text{O}_{119,7}]\}$ (TREACY, 2017). O quartzo é formado por combinações silicatos tetraédricos completamente interconectados formando uma rede cristalina organizada e o tecto de hidrogênio aluminossilicato apresenta em sua composição moléculas de água e Al_2SiO_5 . Com a análise do difratograma de raios-X é possível dizer que a amostra apresenta composição mineralógica semelhante aquelas descrições mineralógicas encontradas outrora na literatura científica por outros estudos envolvendo caracterização de escória de lítio (TING, 2020; WANG, 2019).

Figura 2: Difratograma de Raio-X da amostra de silicato de alumínio.



A Tabela 1 apresenta os principais componentes presentes na amostra de silicato de alumínio obtidos por meio de um espectrofotômetro de fluorescência de

raios-X da marca UNICAM, modelo Solar 969, do SENAI - Unidade de Criciúma/SC - Centro de Tecnologia em Materiais - Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais. A perda ao fogo foi determinada através da obtenção do peso das massas antes e depois. Com a análise da tabela é possível notar que os componentes majoritários envolvem o óxido de alumínio (Al_2O_3) com 20,112% em peso, a sílica (SiO_2) com 74,98% em peso e a água (H_2O) 24% em peso. O ensaio de perda ao fogo assume um valor em torno de 7,57% e está relacionado a perda de água e de possíveis impurezas constituídas por material orgânico (MARIANA, 2022) ou por água fisicamente e quimicamente combinada.

Tabela 1: Composição química das matérias-primas (% em peso).

Componente	Silicato de alumínio
Li_2O	0,456
Al_2O_3	20,112
CaO	3,317
Fe_2O_3	0,392
K_2O	0,095
MgO	0,129
MnO	0,1
Na_2O	0,247
SiO_2	74,985
SO_4^{--}	0,069
H_2O	24
P_2O_5	0,167
PF*	7,573

*Perda ao Fogo.

A metodologia utilizada para a análise ambiental com a respectiva classificação ambiental do resíduo seguiu às recomendações de um conjunto de normas da ABNT [NBR - 10007, NBR - 10004, NBR - 10005, NBR - 10006]. Inicialmente foi feita uma identificação da origem dos resíduos, e consulta às listagens dos Anexos A e B da norma NBR - 10004. Se o resíduo constar em uma dessas listagens, deve ser considerado como Classe I - Resíduos Perigosos. Assim, verificou-se que o resíduo não está incluído na listagem. Desta forma, foi feita a caracterização do seu grau de periculosidade através do ensaio de lixiviação, segundo a norma NBR - 10005. Os valores do extrato lixiviado foram comparados com os limites máximos definidos na listagem de Anexo F da norma NBR - 10004.

Como o resíduo foi considerado como não perigoso, então foi submetido ao teste de solubilização, de acordo com a NBR - 10006. Os valores do extrato solubilizado foram comparados com os limites máximos definidos na lista do Anexo G da norma NBR – 10004, para determinar sua classificação. A Tabela 2 apresenta os resultados de lixiviação e de solubilização do silicato de alumínio. De acordo com a valores máximos permitidos estabelecidos, os parâmetros não ultrapassam os limites máximos no extrato lixiviado. Já os valores máximos permitidos para o extrato solubilizado estabelecidos, os parâmetros fluoreto, cloreto e sulfato ultrapassam os limites máximos permitido assumindo valores de 2,80 mg/L para fluoreto, 2120,12 mg/L para cloreto e 3135,20 mg/L para sulfato. Desta forma, com as características e resultados encontrados deste resíduo, o mesmo, é classificado como RESÍDUO CLASSE II – A – NÃO PERIGOSO - NÃO INERTE.

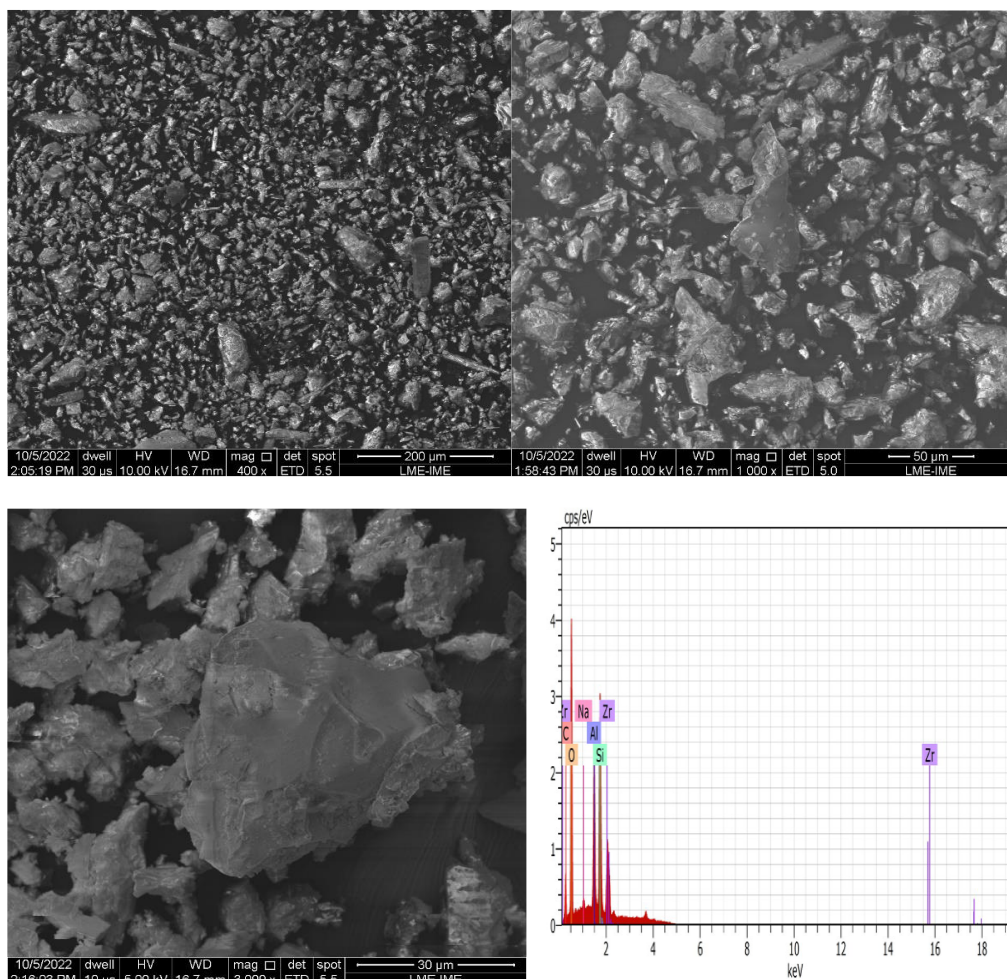
Tabela 2: Resultados de lixiviação e de solubilização do silicato de alumínio.

Extrato Lixiviado				Extrato Solubilizado		
Análise	Resultado	Unidade	Limite máximo (NBR 10005)	Resultado	Unidade	Limite máximo (NBR 10006)
Cianeto Total	0,218	mg/kg	250	0,0100	mg/L	0,07
Surfactantes	-	-	-	< 0,08	mg/L	0,5
Fluoreto	0,21	mg/L	150	2,80	mg/L	1,5
Cloreto	-	-	-	2120,12	mg/L	250
Nitrato (como N)	-	-	-	< 0,23	mg/L	10
Sulfato	-	-	-	3135,20	mg/L	250
Alumínio	-	-	-	< 0,074	mg/L	0,2
Arsênio	< 0,003	mg/L	1	0,004	mg/L	0,01
Bário	0,054	mg/L	70	0,044	mg/L	0,7
Cádmio	< 0,001	mg/L	0,5	< 0,001	mg/L	0,005
Cobre	-	-	-	0,030	mg/L	2
Chumbo	< 0,009	mg/L	1	< 0,005	mg/L	0,01
Cromo	< 0,007	mg/L	5	< 0,007	mg/L	0,05
Ferro	-	-	-	0,034	mg/L	0,3
Zinco	-	-	-	0,136	mg/L	5
Prata	< 0,004	mg/L	5	< 0,004	mg/L	0,05
Selênio	< 0,004	mg/L	1	< 0,004	mg/L	0,01
Mercúrio	< 0,005	mg/L	0,1	< 0,00005	mg/L	0,001
Sódio	-	-	-	11,140	mg/L	200
Aldrin + Dieldrin	< 0,000005	mg/L	0,003	< 0,000005	mg/L	0,00003
Clordano (cis +trans)	< 0,0001	mg/L	0,02	< 0,0001	mg/L	0,0002
p,p'-DDT + p,p'-DDD + p,p'-DDE	< 0,000005	5 mg/L	0,2	< 0,000005	mg/L	0,002
Endrin	< 0,00003	mg/L	0,06	< 0,00003	mg/L	0,0006
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	< 0,00001	mg/L	0,003	< 0,000001	mg/L	0,00003
HCH gama (Lindano)	< 0,00004	mg/L	0,2	< 0,00004	mg/L	0,002
Metoxicloro	< 0,0001	mg/L	2	< 0,00006	mg/L	0,02
Pentaclorofenol	< 0,00005	mg/L	0,9	-	-	-
Cresóis	< 0,00005	mg/L	200	-	-	-

o-Cresol (2Metilfenol)	< 0,00005	mg/L	200	-	-	-
m-Cresol (3Metilfenol)	< 0,00005	mg/L	200	-	-	-
p-Cresol (4-Metilfenol)	< 0,00005	mg/L	200	-	-	-
2,4,5-Triclorofenol	< 0,00005	mg/L	400	-	-	-
2,4,6-Triclorofenol	< 0,00001	mg/L	20	-	-	-
Toxafeno	< 0,00005	mg/L	0,5	< 0,00005	mg/L	0,005
2,4,5-T	< 0,00005	mg/L	0,2	< 0,00005	mg/L	0,002
2,4,5-TP	< 0,00005	mg/L	1	< 0,00005	mg/L	0,03
2,4-D	< 0,00005	mg/L	3	< 0,00005	mg/L	0,03
Nitrobenzeno	< 0,00005	mg/L	2	-	-	-
2-Butanona	< 1,000	µg/L	200	-	-	-
Benzeno	< 0,001	mg/L	0,5	-	-	-
Piridina	< 0,050	mg/L	5	-	-	-
Cloreto de Vinila	< 0,001	mg/L	0,5	-	-	-
Clorobenzeno	< 0,001	mg/L	100	-	-	-
Clorofórmio	< 0,001	mg/L	6	-	-	-
1,1-Dicloroeteno	< 0,001	mg/L	3	-	-	-
1,2-Dicloroetano	< 0,001	mg/L	1	-	-	-
Tetracloro de Carbono	< 0,001	mg/L	0,2	-	-	-
Tetracloroeteno	< 0,001	mg/L	4	-	-	-
Tricloroeteno	< 0,001	mg/L	7	-	-	-
Benzo(a)pireno	< 0,00005	mg/L	0,07	-	-	-
2,4-Dinitrotolueno	< 0,00005	mg/L	0,13	-	-	-
1,4-Diclorobenzeno	< 0,001	mg/L	7,5	-	-	-
Hexaclorobenzeno	< 0,000001	mg/L	0,1	< 0,000001	mg/L	0,001
Hexaclorobutadieno	< 0,00005	mg/L	0,5	-	-	-
Hexacloroetano	< 0,00005	mg/L	3	-	-	-
Fenóis Totais	-	-	-	< 0,00005	mg/L	0,01

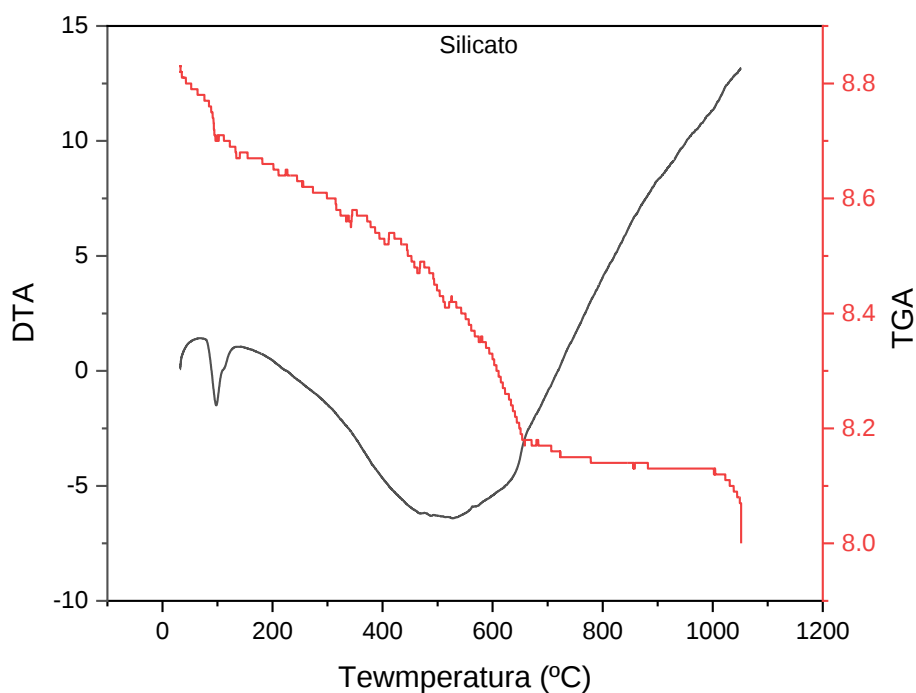
A Figura 3 apresenta a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do resíduo, nos aumentos de 400, 1000 e 3000x, e EDS. É possível observar que apresentam partículas com formato irregulares, e através da análise do EDS, é possível observar picos mais intensos de Al, Si e O, corroborando com a análise de FRX. ⁵ Estas partículas grossas, angulares e escamosas podem ser notadas em outros estudos envolvendo análise por MEV e escória de lítio (TAN, 2015).

Figura 3: Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do resíduo, nos aumentos de 400, 1000 e 3000x, e EDS.



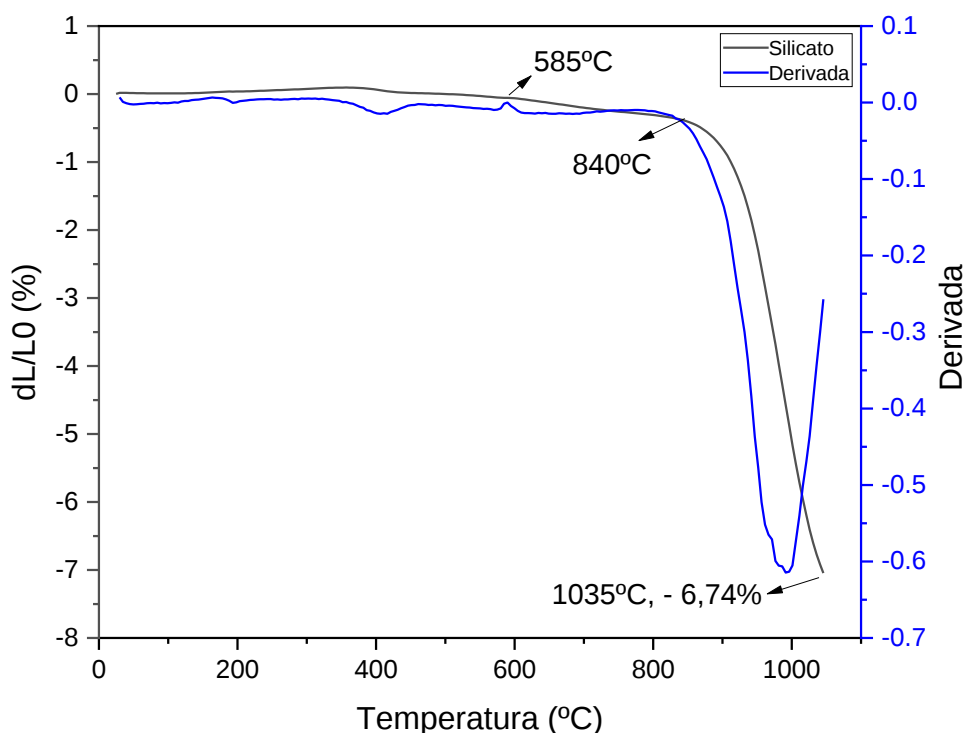
A Figura 4 apresenta as análises térmica diferencial (DTA) e análise térmica gravimétrica (TGA) da escória de lítio. Os eventos térmicos acentuados por volta de 97,56°C estão relacionados a perda de umidade presente na amostra em estudo. Tanto a absorção de calor (DTA) como a perda de massa (TGA) até por de 575°C estão relacionadas a perda de água quimicamente combinado aos minerais outrora apontados por meio da análise de difratometria de Raios-X (DRX) assim como também possíveis impurezas na forma de matéria orgânica que pode estar presente na amostra. Decomposição de sulfatos em SO_3 assim como a decomposição de aluminossilicatos podem ter grande contribuição nesta perda de massa claramente notata acima de 200°C (GHAZ, 2007; NURUI, 2015; JOÃO 2019) Acima de 700°C o comportamento em active da curva de DTA pode estar relacionado a eventos térmicos envolvendo mudança de fase ou/ e sinterização na amostra (SOUZA, 2015; DELIA, 2009; CONCONI, 2019).

Figura 4: Análise Térmica Gravimétrica do Resíduo.



A Figura 5 apresenta o resultado de dilatometria linear da amostra de silicato de alumínio e dos cimentos. É possível observar que até cerca de 800°C a amostra de silicato não teve muita variação. Em aproximadamente 585°C é possível observar um pico, indicando a presença de quartzo livre, o que corresponde à transformação do quartzo α (baixa temperatura) para quartzo β (alta temperatura), representando alteração dimensional devido ao aumento de volume de suas partículas. Após, por volta de 840°C a curva apresenta uma inflexão mais acentuada, e por volta de 1035°C ocorre uma retração da peça de 6,74%. Esta retração pode ter ocorrido em função de uma possível sinterização ou/e mudança de fase (TEBCHERAN, 2003; SOUZA, 2015; DELIA, 2009; CONCONI, 2019).

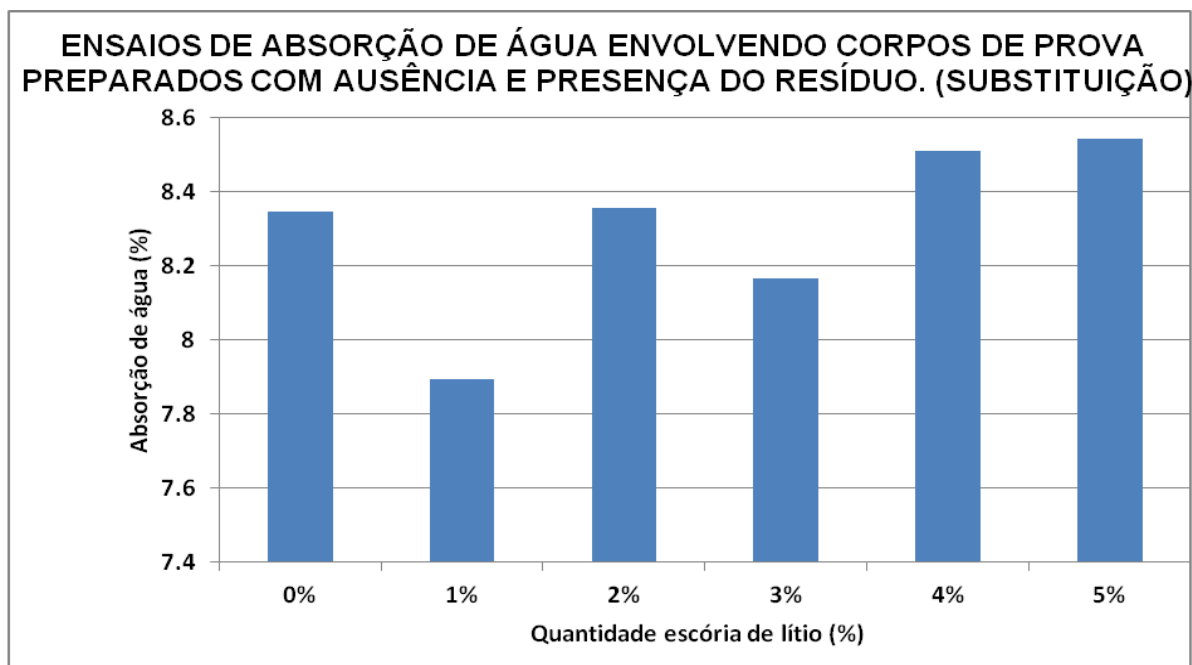
Figura 5: Determinação do coeficiente de dilatação lineal.



Ensaio de absorção de água e resistência à compressão.

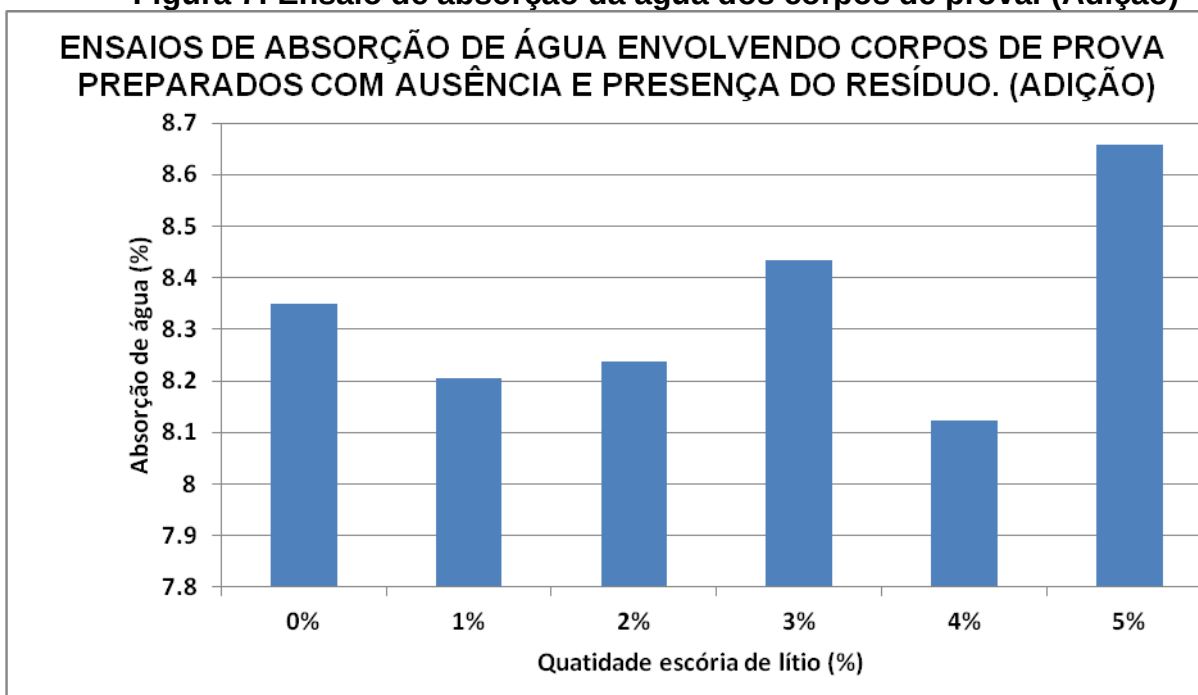
A Figura 6 apresenta os resultados do ensaio de absorção de água (AA) dos corpos de prova de concreto preparados apartir de diferentes concentrações (substituição) de escória de lítio. A absorção de água dos corpos de prova preparados apartir de 1 e 3% de escória de lítio apresentaram valores inferiores a 8,2%. Por outro lado corpos de prova de concreto preparados apartir de 4% e 5% de escória de lítio apresentaram valores de próximos a 8,5%. Os maiores valores de AA para corpos de prova de concreto absorção preparados apartir de 4% e 5% de escória de lítio podem estar relacionados a maior porosidade e permeabilidade do material.

Figura 6: Ensaio de absorção da água dos corpos de prova. (Substiuição)



A Figura 7 apresenta os resultados do ensaio de absorção de água (AA) dos corpos de prova de concreto preparados apartir de diferentes concentrações (adição) de escória de lítio.

Figura 7: Ensaio de absorção da água dos corpos de prova. (Adição)

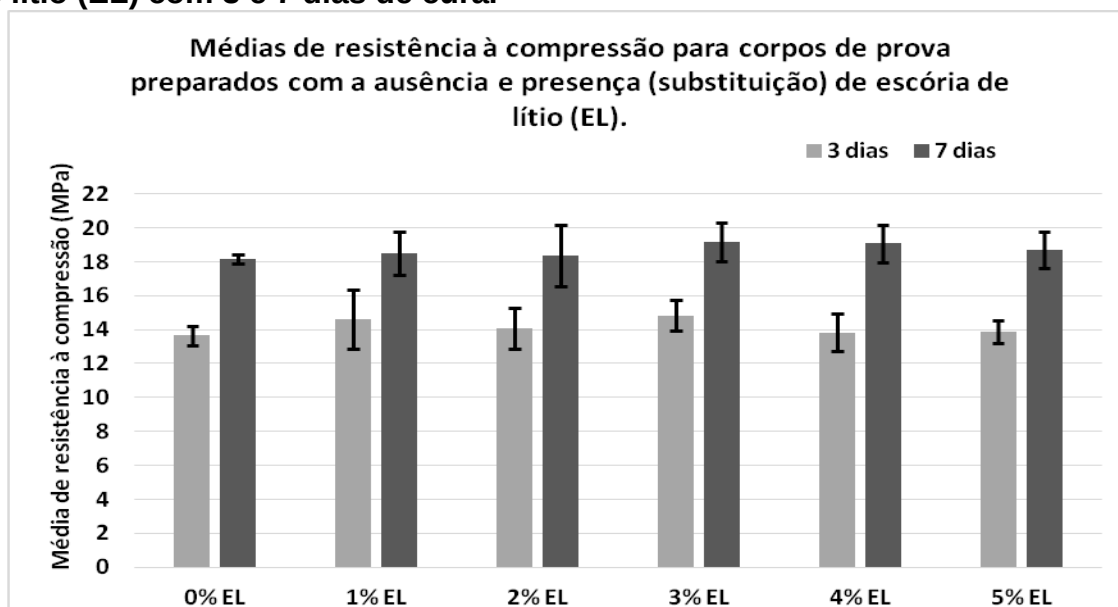


A absorção de água dos corpos de prova preparados apartir de 3% e 5% de escória de lítio apresentaram valores superiores a 8,4%. Por outro lado, a absorção de água dos corpos de prova de concreto preparados apartir de 1%, 2% e 4% de escória de lítio, apresentaram valores inferior a 8,3%. Os maiores valores de AA para corpos de prova de concreto absorção preparados apartir de 3% e 5% de escória de lítio podem estar relacionados a maior porosidade e permeabilidade do material.

A Figura 8 apresenta as médias de resistência à compressão para corpos de prova preparados com ausência e diferentes concentrações (substituição) de escória de lítio (EL) com 3 e 7 dias de cura. Os corpos de prova preparados com 0, 1, 2, 3, 4, e 5% de escória de lítio (EL) em substituição ao cimento Portland, apresentaram com 3 dias de cura médias de resistência à compressão de 13,65; 14,62; 14,07; 14,84; 13,83 e 13,86 Mpa, respectivamente. As medidas de tendência central destas amostras não apresentaram diferença (p-valor=0,159847). Os corpos de prova preparados com 0, 1, 2, 3, 4, e 5% de escória de lítio (EL) em substituição ao cimento Portland, apresentaram com 7 dias de cura médias de resistência à compressão de 18,14; 18,51; 18,34; 19,15; 19,07 e 18,70 Mpa, respectivamente. As medidas de tendência central destas amostras não apresentaram diferença (p-valor=0,3781).

A Figura 9 apresenta as médias de resistência à compressão para corpos de prova preparados com ausência e diferentes concentrações (substituição) de escória de lítio (EL) com 14 e 28 dias de cura. Os corpos de prova preparados com 0, 1, 2, 3, 4, e 5% de escória de lítio (EL) em substituição ao cimento Portland, apresentaram com 14 dias de cura médias de resistência à compressão de 24,33; 22,98; 24,20; 21,70; 23,12 e 22,31 Mpa, respectivamente. As medidas de tendência central destas amostras apresentaram diferença (p-valor=0,01979). Corpos de prova preparados com 3, 4 e 5% de EL (substituição) apresentaram menores medidas de tendência central comparados a corpos de prova preparados com 0% de EL com 14 dias de cura. Os corpos de prova preparados com 0, 1, 2, 3, 4, e 5% de escória de lítio (EL) em substituição ao cimento Portland, apresentaram com 28 dias de cura médias de resistência à compressão de 28,21; 27,37; 27, 25; 27,43; 28,25 e 26,43 Mpa, respectivamente. As medidas de tendência central destas amostras não apresentaram diferença (p-valor=0,103351).

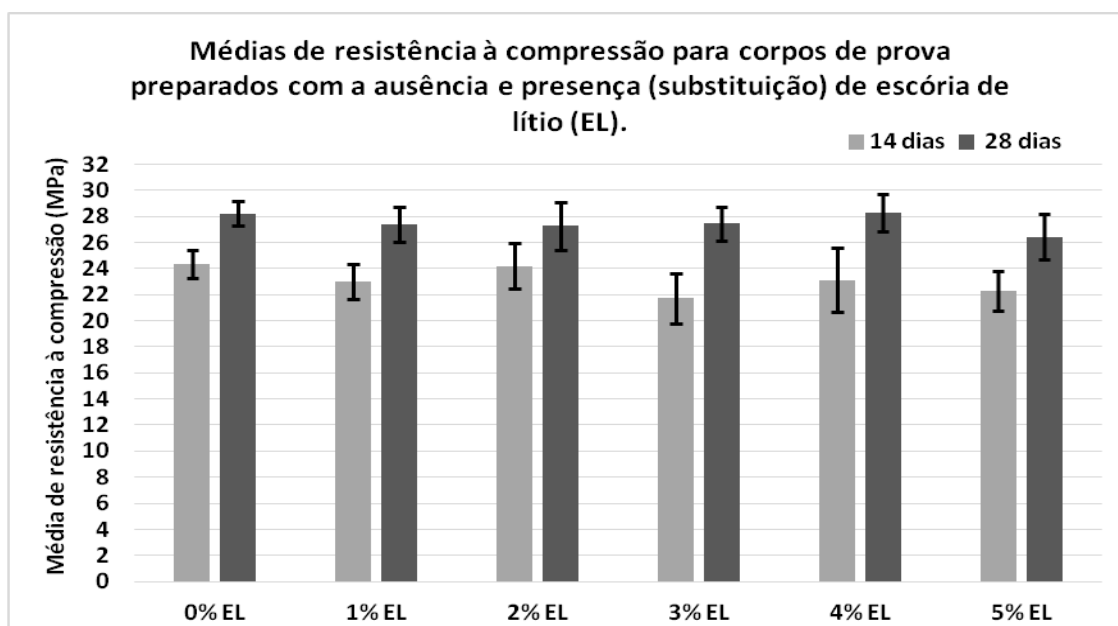
Figura 8: Médias de resistência à compressão para corpos de prova preparados com ausência e diferentes concentrações (substituição) de escória de lítio (EL) com 3 e 7 dias de cura.



p-value = 0,15947 (ANOVA). Corpos de prova com 3 dias de cura.

p-value= 0,3781 (Kruskal-Wallis). Corpos de prova com 7 dias de cura.

Figura 9: Médias de resistência à compressão para corpos de prova preparados com ausência e diferentes concentrações (substituição) de escória de lítio (EL) com 14 e 28 dias de cura.



p-value = 0,01979 (Kruskal-Wallis) Corpos de prova com 14 dias de cura.

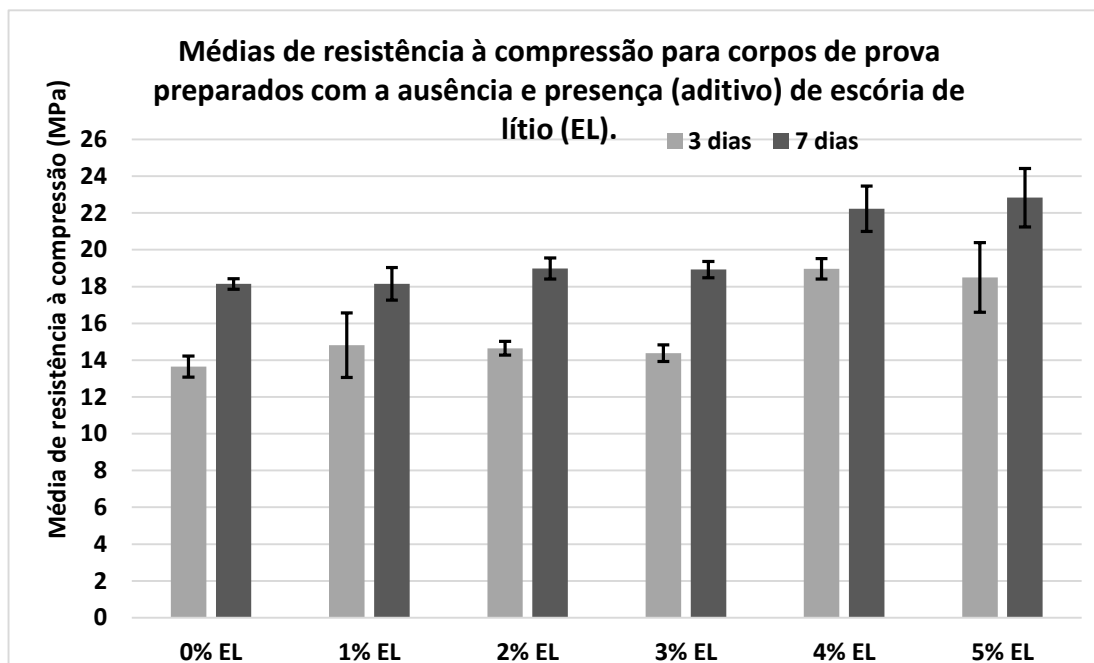
Pares. (Dunn)	x1-x4	x1-x6	X3-x4	x1-x5
p-value.	0,003535	0,01642	0,00679	0,02856
p-value = 0,103351 (ANOVA) Corpos de prova com 28 dias de cura.				
Onde: x1 (0% EL); x3 (2% EL); x4 (3% EL); x5 (4% EL); x6 (5% EL)				

A Figura 10 apresenta as médias de resistência à compressão para corpos de prova preparados com ausência e diferentes quantidades (aditivo) de escória de lítio (EL) com 3 e 7 dias de cura. Os corpos de prova preparados com 0, 1, 2, 3, 4, e 5% de escória de lítio (EL) em relação ao cimento Portland, apresentaram com 3 dias de cura médias de resistência à compressão de 13,65; 14,81; 14,64; 14,37; 18,95 e 18,49 Mpa, respectivamente. As medidas de tendência central destas amostras apresentaram diferença (p-valor=0,000002014). Corpos de prova preparados com 4 e 5% de EL (aditivo) apresentaram maiores medidas de tendência central comparados a corpos de prova preparados com 0, 1 e 2 % de EL com 3 dias de cura. Os corpos de prova preparados com 0, 1, 2, 3, 4, e 5% de escória de lítio (EL) em relação ao cimento Portland, apresentaram com 7 dias de cura médias de resistência à compressão de 18,14; 18,14; 18,98; 18,93; 22,22 e 22,83 Mpa, respectivamente. As medidas de tendência central destas amostras apresentaram diferença (p-valor= $2,479 \times 10^{-7}$). Corpos de prova preparados com 4 e 5% de EL (aditivo) apresentaram maiores medidas de tendência central comparados a corpos de prova preparados com 0, 1, 2 e % de EL com 7 dias de cura.

A Figura 11 apresenta as médias de resistência à compressão para corpos de prova preparados com ausência e diferentes quantidades (aditivo) de escória de lítio (EL) com 14 e 28 dias de cura. Os corpos de prova preparados com 0, 1, 2, 3, 4, e 5% de escória de lítio (EL) em relação ao cimento Portland, apresentaram com 14 dias de cura médias de resistência à compressão de 24,33; 24,33; 23,37; 21,60; 25,29 e 26,41 Mpa, respectivamente. As medidas de tendência central destas amostras apresentaram diferença significativa (p-valor= $2,76885 \times 10^{-7}$). Corpos de prova preparados com 5% de EL (aditivo) apresentaram maiores medidas de tendência central comparados a corpos de prova preparados com 0, 2 e 3 % de EL com 14 dias de cura. Corpos de prova preparados com 3% de EL (aditivo) apresentaram menores medidas de tendência central comparados a corpos de prova preparados com 0 e 1 % de EL com 14 dias de cura. Os corpos de prova preparados com 0, 1, 2, 3, 4, e 5% de escória de lítio (EL) em relação ao cimento Portland, apresentaram com 28 dias de cura médias de resistência à compressão de 28,21; 28,58; 26,73; 28,43; 29,51 e 29,80 Mpa, respectivamente. As medidas de tendência central destas amostras apresentaram diferença significativa (p-valor= 0,0219779). Corpos de prova preparados com 4 e 5% de EL (aditivo) apresentaram maiores

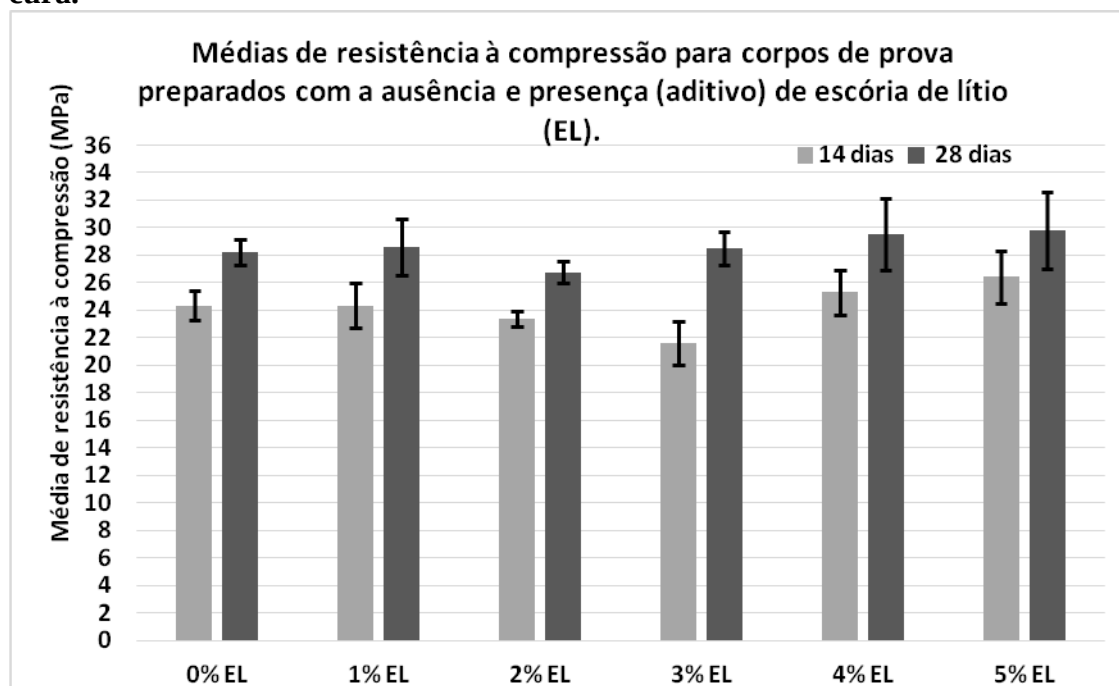
medidas de tendência central comparados a corpos de prova preparados com 2% de EL com 28 dias de cura.

Figura 10: Médias de resistência à compressão para corpos de prova preparados com ausência e diferentes quantidades (aditivo) de escória de lítio (EL) com 3 e 7 dias de cura.



3 dias de cura p-value = 0,000002014 (Kruskal-Wallis)	7 dias de cura p-value = 2.479x10⁻⁷ (Kruskal-Wallis)
Post hoc (Dunn)	Post hoc (Dunn)
x1-x3 0.02278 x1-x5 0.000001479 x1-x6 0.00001238 x2-x5 0.0007287 x2-x6 0.003192 x3-x5 0.01118 x3-x6 0.03628 x4-x5 0.001196 x4-x6 0.005162	x1-x5 0.00001242 x1-x6 0.000002431 x2-x5 0.00006572 x2-x6 0.00001527 x3-x5 0.01449 x3-x6 0.005294 x4-x5 0.01049 x4-x6 0.003694
Onde: x1 (0% EL); x2 (1% EL); x3 (2% EL); x4 (3% EL); x5 (4% EL); x6 (5% EL)	

Figura 11: Médias de resistência à compressão para corpos de prova preparados com ausência e diferentes quantidades (aditivo) de escória de lítio (EL) com 14 e 28 dias de cura.



14 dias de cura p-value = $2,76885 \times 10^{-7}$ (ANOVA)	28 dias de cura p-value = 0,0219779 (ANOVA)
Post hoc (Tukey)	Post hoc (Tukey)
x1-x4 0.003056 x1-x6 0.04371 x2-x4 0.004352 x3-x6 0.0007617 x4-x5 0.00003313 x4-x6 0,0001175	x3-x5 0.03725 x3-x6 0.0156
Onde: x1 (0% EL); x2 (1% EL); x3 (2% EL); x4 (3% EL); x5 (4% EL); x6 (5% EL)	

Conclusão

De uma forma geral, a presente pesquisa permite dizer que, concretos preparados com substituição do cimento de alta resistência inicial CP-V por escória de lítio (EL) apresenta um pontecial tecnológico interessante após os 28 dias cura. A presente pesquisa também permite dizer que com exceção de concretos preparados com 2% de adição de EL ao cimento de alta resistência inicial CP-V por escória de lítio, os concretos preparados com as demais porcentagem de escória de lítio apresenta um pontecial tecnológico interessante após os 28 dias cura.

Referências bibliográficas.

A. ABBAS, G. Fathifazlb, B. Fournierc, O.B. Isgord, R. Zavadile, A.G. Razaqpurf, S. Foog. Quantification of the residual mortar content in recycled concrete aggregates by image analysis. **Materials characterization**. 2009. 60: 716-728.

A. G. ARAÚJO Jr, A. E. Vale, A. G de S Azevedo, k. Strecker. Estudo do Reaproveitamento do cimento Portland de alta resistência Inicial. **Cerâmica**. 2017. 63: 58-64.

ALDO Giuntini de Magalhães. Caracterização e análise macro e microestrutural de concretos fabricados com cimentos contendo escórias de alto-forno. 2007. Tese (Doutorado). **Universidade Federal de Minas Gerais**. Belo Horizonte, MG.

ALI Naqi, Jeong Gook Jang. Recent Progress in Green Cement Technology Utilizing Low-Carbon Emission Fuels and Raw Materials: **A Review. Sustainability**. 2019. 11: 537.

Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro.

ANDRESSA F. Angelin, Rosa C. Cecche Lintz, Luísa A.Gachet-Barbosa, Wislei R.Osórioab. The effects of porosity on mechanical behavior and water absorption of an environmentally friendly cement mortar with recycled rubber. **Construction and Building Materials**. 2017. 151: 534-545.

ANDREZA Kelly Costa Nóbrega. Formulação de pastas cimentíceas com adição de suspensões de qutosana para cimentação dos poços de petróleo. 2009. Tese Doutorado. **Universidade Federal do Rio Grande do Norte**. Natal/RN.

ASHWINI R. Patil, Sheetal B. Sathe. Feasibility of sustainable construction materials for concrete paving blocks: A review on waste foundry sand and other materials. **Materials Today: Proceedings**. 2020. 1: 1-10.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT (10004: 2004b)**. Resíduos Sólidos – Classificação.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT (NBR – 10007:2004a)**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT (NBR 10005: 2004c)**. Procedimento para obtenção de extrato de lixiviação de resíduos sólidos. Rio de

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT (NBR 10006: 2004d)**. Procedimento para obtenção de extrato de resíduos sólidos solubilizados. Rio de Janeiro.

BARBARA Pacewska, Iwona Wilińska. Usage of supplementary cementitious materials: advantages and limitations. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**. 2020. 142: 371–393.

BONAVETI V, Donaz H, Rahhal V, Irassar E. Influence of initial curing on the properties of concrete containing limestone blended cement. **Cem Concr Res**. 2000. 30: 703-8.

CARMINE Lima, Antonio Caggiano, Ciro Faella, Enzo Martinelli, Marco Pepe, Roberto Realfonzo. Physical properties and mechanical behaviour of concrete made with recycled aggregates and fly ash. **Construction and Building Materials**. 2013. 47: 547-559.

CIZER O, Rodriguez-Navarro C, Ruiz-Agudo E, et al. Phase and morphology evolution of calcium carbonate precipitated by carbonation of hydrated lime. **J Mater Sci**. 2012. 47: 6151-6165.

COUTINHO A. S. Fabrico e propriedades do Concreto. **Laboratório Nacional de Engenharia Civil**, Lisboa. 1998. 1.

D. CHEN, X. Hu, L. Shi, Q. Cui, H.Y. Wang, H.Q. Yao. Synthesis and characterization of zeolite X from lithium slag. **Appl. Clay Sci**. 2012. 5: 148–151.

DANIEL C Reis, Pedro C R A Abrão, Tongbo Sui, Vanderley M John. Influence of cement strength class on environmental impact of concrete. **Resources, Conservation and Recycling**. 2020. 163. 105075.

DEMIR, T., Ulucan, M., Tunc, E.T., Saglam, R.N., Alyamac, K.E. Development of mix design method for sustainable concrete produced with fly ash. **In: International Civil Engineering and Architecture Conference (ICEARC 2019).**

EDUARDO Nuernberg Colombo; Jorge Henrique Piva. AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA DO CONCRETO COM IMPERMEABILIZANTES FLEXÍVEIS DE PINTURA SUBMETIDOS A VARIAÇÃO TÉRMICA. Trabalho de Conclusão de Curso. UNESC- **Universidade do Extremo Sul Catarinense.** 2017.

ELLIS Gartner, Tongbo Sui. Alternative cement clinkers. **Cement and Concrete Research.** 2018. 114: 27–39.

EVANGELOS Kallitsis, Anna Korre, Geoff Kelsall, Magdalena Kupfersberger, Zhenggang Ni. Environmental life cycle assessment of the production in China of lithium-ion batteries with nickel-cobalt-manganese cathodes utilizing novel electrode chemistries. **Journal of Cleaner Production.** 2020. 254: 120067.

FERNANDA Brekailoa, Eduardo Pereira, Elias Pereira, Marcelo M. Farias, Ronaldo A. Medeiros-Junior. Red ceramic and concrete waste as replacement of portland cement: Microstructure aspect of eco-mortar in external sulfate attack. **Cleaner Materials.** 2022. 3: 100034.

G. C. MOREIRA, Gonçalves, Franca & Braga. Uma nova rota tecnológica para a produção de hidróxido de lítio a partir de minério de Espodumênio. **HOLOS.** 2017. 33: 162-169.

GALVEZ-MARTOS J, Morrison J, Jauffret G, et al. Environmental assessment of aqueous alkaline absorption of carbon dioxide and its use to produce a construction material. **Resour Conserv Recycl.** 2016. 107: 129-141.

GLASSER FP, Jauffret G, Morrison J, et al. Sequestering CO₂ by mineralization into useful nesquehonite-based products. **Front Energy Res.** 2016. 4: 3.

GOGUEL, R. L.; St John, D.A. Chemical identification of Portland cements in new Zealand concretes: the Ca-Sr-Mn plot in cement identification and the effect of aggregates. **Cement and Concrete Research.** Tarrytown. 1993. 23: 283-93.

H.B. Tan, X.G. Li, H.E. Chao, B.G. Ma, Y. Bai, Z.T. Luo. Utilization of lithium slag as an admixture in blended cements: physico-mechanical and hydration characteristics. **J. Wuhan Univ. Technol. (Mater. Sci. Ed.)**. 2015. 30: 129– 133.

HABASHI, F. Handbook of Extractive Metallurgy. **Wiley-VCH**. 1997.

HELENE, P. R. L.: Corrosão em armaduras para concreto armado. **São Paulo: PINI**, 1986.

HONGBO Tan et al. Effect of wet grinded lithium slag on compressive strength and hydration of sulphoaluminate cement system. **Construction and Building Materials**. 2020. 267: 18–19.

IANVázquez, Rowea, Kurt Ziegler Rodriguez, Jara Laso, Isabel Quispe, Rubén Aldaco, Ramz, Kahhata. Production of cement in Peru: Understanding carbon-related environmental impacts and their policy implications. **Resources, Conservation and Recycling**. 2019. 142: 283-292.

J.W. ISLER. Assessment of Concrete Masonry Units Containing Aggregate Replacements of Waste Glass and Rubber Tire Particles. 2012. Master of Science in Civil Engineering Thesis. **University of Colorado Denver**.

JIANGHU LU, Zhexuan Yu, Yuanzhe Zhu, Shaowen Huang, Qi Luo, and Siyu Zhang. Effect of Lithium-Slag in the Performance of Slag Cement Mortar Based on Least-Squares Support Vector Machine Prediction. **Materials (Basel)**. 2019. 12: 1652.

JOHN,V. M. Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. Tese (Livre Docência). **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**. São Paulo. SP.

JOSÉ ALEXANDRE, Bogas Ana, Carriço Sofia Real. Durability of concrete produced with recycled cement from waste concrete. **Materials Today: Proceedings**. 2022. 58: 1149-1154.

JOSEPH J. BIERNACKI, Jeffrey W. Bullard, Gaurav Sant, Kevin Brown, Fredrik P. Glasser, Scott Jones, Tyler Ley, Richard Livingston, Luc Nicoleau, Jan Olek, Florence Sanchez, Rouzbeh Shahsavari, Paul E. Stutzman, Konstantine Sobolev,

Tracie Prater. Cements in the 21st century: Challenges, perspectives, and opportunities. **Journal of the American Ceramic Society**. 2017. 100: 2746-2773.

JÚLIA Paulo Vieira. Interação Cimento-superplastificante, avaliação da estabilidade do comportamento. Dissertação (Mestrado) 2010. **Universidade Técnica de Lisboa**. Lisboa/ Portugal.

LEITE, H. R.; GIRARDI, R.; HASTENPFLUG, D. / **Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana** n.8 (2018) pp. 14-25

L. ZHANG, S.Z. Lv, Y. Liu, S.Y. Xiao, P.S. Zhou. Influence of lithium slag on cement properties. **J. Wuhan Univ. Technol.** 2015. 37: 23–27.

LIU, Z., Wang, J., Jiang, Q., Cheng, G., Li, L., Kang, Y., Wang, D. A green route to sustainable alkali-activated materials by heat and chemical activation of lithium slag. **J. Clean. Prod.** 2019. 225: 1184-1193.

M.S. Hemalatha, Manu Santhanam. Characterizing supplementary cementing materials in blended mortars. **Construction and Building Materials**. 2018. 191: 440–459.

M.Y. Zhai, J.H. Zhao, D.M. Wang. Applying lithium slag powders to cement based materials as supplementary cementitious component: an overview. **Mater. Rev.** 2017. 31: 139–144.

MACGREGOR JG, Wight JK, Teng S, et al. Reinforced Concrete: Mechanics and Design. Vol 3. **Upper Saddle River, NJ**: Pearson Education International; 1997.

MAOSEN Li, Huai Liu, Ping Duanab, Shaoqin Ruan, Zuhua Zhangg Wen Geah. The effects of lithium slag on microstructure and mechanical performance of metakaolin-based geopolymers designed by response surface method (RSM). **Construction and Building Materials**. 2021. 299: 123950.

MEDINA L., El-Naggar, M. Handbook of Extractive Metallurgy. **Metallurgical Transactions**. 1984. 15: 725-726.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. Concreto: microestrutura propriedades e materiais. 3ª Ed. **Ibracon**, São Paulo, 2008.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.: Concreto: estrutura, propriedades e materiais. **São Paulo: Pini**. 1994.

MOREIRA G.C, GONÇALVES C.C, FRANCA S.C, BRAGA P.F. UMA NOVA ROTA TECNOLÓGICA PARA A PRODUÇÃO DE HIDRÓXIDO DE LÍTIO A PARTIR DE MINÉRIO DE ESPODUMÊNIO XXVII **Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa Belém-PA**, 23 a 27 de Outubro de 2017

MORRISON J, Jauffret G, Galvez-Martos JL, et al. Magnesiumbased cements for CO₂ capture and utilisation. **Cem Concr Res**. 2016. 85: 183-191.

NAFISA Tamanna, Rabin Tuladhar, Nagaratnam Sivakugan. Performance of recycled waste glass sand as partial replacement of sand in concrete. **Construction and Building Materials**. 2020. 239: 117804.

ODERJI S.Y., Chen B., Ahmad M.R., Shah S.F.A. Fresh and hardened properties of one-part fly ash-based geopolymer binders cured at room temperature: effect of slag and alkali activators. **J. Clean. Prod**. 2019. 225: 1-10.

OKORIE Ekwe Agwu Julius Udoh Akpabio Moses Gideon Akpabio. Potentials of waste seashells as additives in drilling muds and in oil well cements. **Cleaner Engineering and Technology**. 2020. 1: 100008.

OLUWAFEMI E. Ige, Oludolapo A. Olanrewajua, Kevin J. Duffy, Collins Obiora. A review of the effectiveness of Life Cycle Assessment for gauging environmental impacts from cement production. **Journal of Cleaner Production**. 2021. 15: 129213.

R. G. PILLAI, R. Gettu, M. Santhanam. Uso de materiais cimentícios suplementares (SCMs) em sistemas de concreto armado - Benefícios e limitações. **Revista Alcompat**. 2007. 147-164.

RECENA, F. A. P.: Retração do concreto. Porto Alegre: **EDIPUCRS**. 2014. 151.

REGNAULT O, Lagneau V, Schneider H. Experimental measurement of portlandite carbonation kinetics with supercritical CO₂. **Chem Geol**. 2009. 265: 113-121.

RIMVYDAS Kaminskas, Raimonda Kubiliute, Brigita Prialgauskaite. Smectite clay waste as an additive for Portland cement. **Cement and Concrete Composites**. 2020. 113: 103710.

SAMUEL Tetsopgang, B. Bertrand Bongsiysi, L. Shula Dinayen, T.F. Divine Nkenglefac. Geotechnical assessment of sand for civil engineering in western Cameroon. **The Extractive Industries and Society**. 2020. 7: 497-504.

SANCHIT Gupta, Sandeep Chaudhary. State of the art review on Supplementary Cementitious Materials in India e I: An overview of legal perspective, governing organizations, and development patterns. **Journal of Cleaner Production**. 2020. 261: 121203.

SERGEY A. Mizuriaev, Anna Yu. Zhigulina, Galina S. Solopova. Production Technology of Waterproof Porous Aggregates Based on Alkali Silicate and Non-bloating Clay for Concrete of General Usage. **Procedia Engineering**. 2015. 111: 540-544.

Sergey A. Mizuryaev Aleksandr G. Chiknovorian Galina S. Solopova Roman V.Demidov. SOME Aspects of the Development and Application of Silicate Expanded Aggregates in Lightweight Concrete Structures. **Procedia Engineering**. 2016. 153. 599-603.

SHI C, Jim_enez AF, Palomo A. New cements for the 21st century: the pursuit of an alternative to Portland cement. **Cem Concr Res**. 2011. 41: 750-763.

SONGYAN Jiang, Ling Zhang, Fengying Li, Hui Hua, Xin Liu, Zengwei Yuan, Huijun Wu. Environmental impacts of lithium production showing the importance of primary data of upstream process in life-cycle assessment. **Journal of Environmental Management**. 2020. 262: 110253.

SYED Farasat Ali Shah, Bing Chen, Muhammad Riaz Ahmad, M. Aminul Haque. Development of Cleaner One-part geopolymers from lithium slag. *Journal of Cleaner Production*. 2020. 24: 125241.

TING Zhanga, Baoguo Maa, HongTan, Xiaohai Liu, Pian Chen, Zhongtao Luo. Effect of TIPA on mechanical properties and hydration properties of cement-lithium slag system. *Journal of Environmental Management*. 2020. 276. 111274.

TORRES, J. Brandt, K. Lear, J. Liu, A looming tragedy of the sand commons. *Science*. 2017. 357: 970-971.

TUNC, E.T., Alyamac, K.E. Use of waste marble: architectural concrete. **International conference on innovative engineering (CIEA 2018)**. 3: 586-594.

VALDECIR Angelo Quarcioni. Influência da cal hidratada nas idades iniciais de hidratação do cimento portland: estudo em pasta. 2008. Tese (Doutorado). **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**. São Paulo. SP.

W.P. BOSHOFF. CONCRETE: FRIEND OR FOE? Inaugural Lecture Stellenbosch University. **Stellenbosch**. 2015. 1: 371.

WANG Yiren, Wang Dongmin, Cui Yong, Zheng Dapeng, Liu Ze. Micro-morphology and phase composition of lithium slag from lithium carbonate production by sulphuric acid process. **Construction and Building Materials**. 2019. 10: 304-313.

WU, G.Q. Wang, K.B. Shi, J. Hao, C. Zhai. The comprehensive utilization of lithium slag. *Fly Ash Compr. Util.* 2012. 3: 46–50.

WU, S., Zhou, J., Pan, Y., Zhang, J., Zhang, L., Ohtsuka, N., Yonemochi, S., Oh, K., Hosono, S., Qian, G.. Dioxin distribution characteristics and health risk assessment in different size particles of fly ash from MSWIs in China. **Waste Manag.** 2016. 50: 113-120.

Y. QIU, D. Wu, L. Yan, Y. Zhou. Recycling of spodumene slag: preparation of green polymer composites, **RSC Adv.** 2016. 43: 36942–36953.

Z.H. HE, L.Y. Li, S.G. Du. Mechanical properties, drying shrinkage, and creep of concrete containing lithium slag. **Constr. Build. Mater.** 2017. 147: 296-304.

Z.H. HE, S.G. Du, D. Chen. Microstructure of ultra high performance concrete containing lithium slag. **J. Hazard. Mater.** 2018. 353: 35–43.

ZAMPIERI, V. Cimento Portland aditivado com pozolanas de argilas calcinadas: fabricação, hidratação e desempenho mecânico. 1993. Tese (Doutorado). **Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo**. São Paulo. SP.

Processo de Avaliação por Pares: (*Blind Review* - Análise do Texto Anônimo)

Revista Científica Vozes dos Vales - UFVJM - Minas Gerais - Brasil

www.ufvjm.edu.br/vozes

QUALIS/CAPES - LATINDEX: 22524

ISSN: 2238-6424