



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>

## **Investigação da Incorporação de Silicato de Alumínio na Massa para Fabricação de Blocos Cerâmicos de Vedação**

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

Stênio Cavalier Cabral  
Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais  
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF)  
<http://lattes.cnpq.br/2452889693767673>  
[stenio.cavalier@ufvjm.edu.br](mailto:stenio.cavalier@ufvjm.edu.br)

Sidinei Silva Araújo  
Engenheiro Civil e Segurança do Trabalho  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM  
<http://lattes.cnpq.br/6702383011553349>  
araujosidinei17@gmail.com

**Resumo:** O reaproveitamento de resíduos sólidos consiste em uma alternativa aos impactos ambientais causados pelas indústrias. O silicato de alumínio tem sido tema de pesquisas em vários trabalhos no âmbito nacional e internacional. Na presente pesquisa foi possível estudar composição química, mineralógica e a microestrutura do silicato de alumínio obtido de uma indústria de lítio localizada em Minas Gerais, Brasil. Adicionalmente também foi possível estudar a absorção de água e a resistência à compressão de corpos de prova de blocos cerâmicos, preparados a partir de diferentes concentrações de silicato de alumínio na argamassa da cerâmica utilizada para a fabricação dos blocos. Os percentuais de silicato incorporados na argamassa cerâmica foram; 10%, 15%, 20%, 25% e 30% de adição. As massas cerâmicas preparadas a partir de 15% e 20% de resíduos de silicato de alumínio, podem ser uma alternativa interessante do ponto de vista tecnológico na fabricação de blocos cerâmicos comparados aqueles preparados com ausência do resíduo.

**Palavras-chave:** Silicato de alumínio. Cerâmica vermelha. Investigação. Resíduo. Argamassa.

## Introdução

É indiscutível que o descarte de resíduos sólidos é um dos grandes e principais problemas atualmente enfrentados pela sociedade. Tais resíduos são geralmente provenientes da atividade antrópica e em sua maioria de origem industrial. É válido salientar que este processo impacta direta e indiretamente a atmosfera, o solo, ecossistema causando também danos à saúde pública (ALVES et al., 2019; ARAÚJO et al., 2017). Sendo assim para contribuir com a mitigação de problemas ambientais oriundos dos mais diversos processos industriais, se destaca o setor da cerâmica vermelha que apresenta uma gama de alternativas para a incorporação de diversos resíduos (OLIVEIRA et al. 2004).

Cerâmica é uma palavra derivada do grego “*kerameikos*”, que se refere a “feito de terra”, a cerâmica vermelha recebe este nome por sua coloração avermelhada, englobando produtos como tijolos e suas variações (BETINI, 2007). Os materiais cerâmicos são geralmente formados por compostos inorgânicos, que por sua vez são constituídos de elementos químicos metálicos e não metálicos, na maioria são óxidos, nitretos e carbeto. Os materiais mais comuns são compostos por óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dióxido de silício (ou sílica  $\text{SiO}_2$ ), carbeto de silício (SiC) e nitreto de silício ( $\text{SiN}_4$ ). Geralmente os materiais cerâmicos apresentam fragilidade, e são suscetíveis à fratura. Como se sabe, a argila é a principal matéria prima utilizada na fabricação de produtos cerâmicos, a massa cerâmica passa por várias transformações físico-químicas, alcançando as propriedades solicitadas para o que se deseja. Os materiais cerâmicos são na maioria das vezes são submetidos a altas temperaturas para sua produção. De acordo com a classificação das massas cerâmicas, elas se distinguem em vermelhas e brancas, qual coloração se comprova após a etapa da queima. As matérias primas ainda se classificam como plásticas e complementares, em que as plásticas se enquadram nas argilas carbonáticas, plásticas gressificadas, brancas e cauliníticas (CÉSAR; PUREZA, 2004). Por outro lado, as complementares são constituídas de feldspato, quartzo e calcita (OLIVEIRA, 2000). Os materiais cerâmicos produzidos a partir da argila vermelha apresentam cor vermelha pós queima, boa vitrificação e retração por igual. A plasticidade e resistência mecânica é conferida pela presença das argilas, demais compostos podem contribuir para outras características tais como melhor compactabilidade;

secagem e diminuição de retração na queima; vitrificação na queima, garantindo maior densidade e resistência mecânica. Não se pode negligenciar que os resultados que se deseja obter varia muito com as propriedades físico-químicas das argilas utilizadas.

Argila é uma rocha fina, constituída por argilominerais, podendo conter minerais como a calcita, dolomita, quartzo, aluminita etc. São empregadas na fabricação de tijolos, possuindo plasticidade para moldagem, com um valor parametrizado para o módulo de ruptura à flexão. Em queima a baixas temperaturas, (800°C a 950°C) apresentam cor vermelha. Devido as características de plasticidade, resistência mecânica após a queima, processamento simples e grande disponibilidade a argila é utilizada em uma vasta gama de produtos cerâmicos. Em qualquer lugar do mundo as argilas são utilizadas na fabricação de produtos de cerâmica vermelha. (VIEIRA; HOLANDA; PINATTI, 2000). As argilas apresentam estruturas básicas que são; bilaminares (contendo uma lâmina octaédrica e uma lâmina tetraédrica) e uma estrutura trilaminar (contendo uma lâmina octaédrica e duas lâminas tetraédricas). Os argilominerais conhecidos são formados pelas estruturas tetraédricas e octaédricas em que podem se encaixar para formar as camadas. A classificação das argilas é vinculada no tipo de arranjo destas camadas e nos elementos químicos envolvidos (BETINI, 2007).

A indústria cerâmica possui uma potencialidade significativa em absorver resíduos sólidos, diminuindo a utilização da matéria-prima principal que é a argila, reduzindo o uso de recursos naturais e alguns casos obtendo a melhoria na qualidade do produto (SILVA, 2006). Desta forma um processo muito comum na indústria de cerâmica é a adição de materiais e/ou resíduos para corrigir deficiências, por exemplo a blendagem com carbonato de cálcio é uma alternativa para melhorar as propriedades mecânicas dos tijolos, como também reduzir a temperatura de sinterização (OLIVEIRA et al., 2011). A utilização da cerâmica vermelha é altamente aplicada para a produção de tijolos de conformação e sinterização, devido serem compostas por baixo teor de caulim como matéria prima principal. Devido a estrutura do silicato de alumínio é que é possível a reatividade do resíduo da cerâmica vermelha. Estrutura esta formada durante o processo de sinterização (COTA; REIS, 2021). E no que se refere a construção civil, um dos materiais mais utilizados no Brasil são os tijolos, em que sua matéria prima principal

é a argila, que foi utilizada pela primeira vez em 8.000 a.C. e em 4.500 a.C. os tijolos de argila cozida. No que se refere a utilização de resíduos na produção de tijolos, há processos envolvendo como alternativas materiais como granito, cinzas pozolânicas, cinza voltantes, cinza vermelha cerâmica, etc (COLETTI et al., 2021).

É possível encontrar na literatura trabalhos de pesquisa que estudam a possibilidade de utilização de resíduos industriais como matéria prima para a fabricação de materiais cerâmicos. Buscando contribuir para a diminuição do impacto ambiental provocado pela disposição de resíduos da indústria de lavanderias têxteis no ambiente, pesquisadores estudaram uma alternativa para reciclagem do lodo gerado no tratamento dos efluentes das indústrias de lavanderias têxteis por meio de incorporação à massa de argila para fabricação de blocos cerâmicos de vedação utilizados na construção civil. Com a proporção lodo/argila de 20%, foram produzidas 50 unidades de blocos de vedação com seis furos, com dimensão de 190 mm de comprimento, 90 mm de largura e 140 mm de altura, além de 50 unidades de blocos controle, produzidas apenas com argila. A quantidade de blocos cerâmicos foi estabelecida com base nas amostragens mínimas necessárias exigidas nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Constatou-se que é possível incorporar até 15% de lodo na fabricação dos blocos cerâmicos, sem perda de suas qualidades essenciais. Os resultados dos ensaios realizados estão dentro dos limites estabelecidos pelas normativas. O aproveitamento do lodo de lavanderia têxtil pode aumentar a eficiência das indústrias envolvidas na fabricação dos blocos cerâmicos, promovendo uma redução na extração de recurso natural utilizado, assim como proporcionar à indústria de lavanderia têxtil uma destinação sustentável do resíduo poluente (VICTÓRIA, 2021). Em outra pesquisa foi avaliado a incorporação de resíduo sólido, conhecido como fercoque, proveniente do setor siderúrgico, em massas argilosas para fabricação de cerâmica vermelha. Foram preparadas massas com os seguintes teores de resíduo: 0; 1,5; 3,0 e 4,0%. As composições de 0% foram submetidas à queima às temperaturas de 800, 900 e 1000 °C, para determinar a temperatura ideal de queima. Em seguida, todas as composições foram queimadas à temperatura ideal de 900 °C, durante os períodos de 1h, 1h30min e 2h. As propriedades físicas e mecânicas foram determinadas em função do tempo de queima e da adição do resíduo. Os resultados obtidos indicaram que houve alteração nas propriedades dos corpos de prova, com a utilização do

ferrocoque, revelando que o melhor tempo de queima foi de 2h e a composição mais adequada para a produção de cerâmica vermelha foi de 3,0% ( LORENA, 2013).

Em outra pesquisa, resíduos de mármore foram utilizados para formulações de massa e esmalte de cerâmica. Resíduos de mármore foram utilizados em duas formulações diferentes como vidrado e corpo. Análises químicas, características morfológicas, informações cristalográficas de diferentes formulações foram feitas com XRF , SEM e XRD, respectivamente. Quando o teste de dureza os resultados do corpo cerâmico e das amostras vidradas foram examinados, os valores de dureza das amostras adicionadas de resíduos de mármore aumentaram 1,9% em comparação com as amostras padrão. De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que a utilização de resíduos de mármore na indústria cerâmica é muito importante tanto por razões econômicas quanto ambientais (FATMA, 2022).

Em outra pesquisa cientistas avaliaram a incorporação de dregs de licor verde, um resíduo sólido inorgânico da fábrica de celulose Kraft e resíduo de corte de vidro plano (FGCW) em formulações de cerâmica vermelha. Como no Brasil os aterros sanitários ainda são o principal destino de resíduos industriais como os utilizados nesta pesquisa, foi feito um levantamento para identificar o número de aterros na região de origem de cada resíduo e a quantidade de resíduos que poderia ter esse destino evitado. Os efeitos da temperatura de queima e incorporação simultânea de ambos os resíduos industriais foram analisados para otimizar o tratamento térmico e o teor de resíduos na formulação para a fabricação de produtos de cerâmica vermelha. A influência da borra de licor verde e da incorporação de FGCW na massa argilosa foi avaliada variando o teor de resíduo entre 0 e 50% em peso. Os corpos de prova foram preparados por prensagem uniaxial, queimados a 850 e 950 °C, e tiveram suas propriedades físico-mecânicas e características mineralógicas e microestruturais analisadas. Os melhores resultados foram obtidos para a formulação com 10% em peso de dregs de licor verde e 30% em peso de FGCW queimado a 950 °C. Esse resultado destaca o potencial de aproveitamento da borra de licor verde, resíduo de difícil reciclagem devido à sua composição química, associado ao FGCW, que atua como um fundente em formulações cerâmicas (LORENA et al. 2021).

## **Objetivo.**

A presente pesquisa tem com objetivo estudar composição química, mineralógica e a microestrutura do silicato de alumínio obtido de uma indústria de lítio localizada em Minas Gerais, Brasil. Adicionalmente também é objetivo desta pesquisa, estudar a absorção de água e a resistência à compressão de corpos de prova de blocos cerâmicos preparados a partir de diferentes concentrações (10%, 15%, 20%, 25% e 30% de adição).

## **Metodologia.**

Neste trabalho resíduo formado por silicato de alumínio obtido de uma indústria de lítio localizada em Minas Gerais, 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 blocos cerâmicos com percentuais de silicato de alumínio predefinidos, sendo de 10%, 15%, 20%, 25% e 30% deste resíduo. Posteriormente os corpos de prova foram submetidos a ensaios de absorção de água e de resistência à compressão. Aos dados foram aplicados tratamento estatístico e posteriormente foram plotados em gráficos e tabela em seguida apresentados nos resultados e discussões da presente pesquisa. Todos os ensaios foram realizados de acordo com suas respectivas normas técnicas. A argila utilizada foi da própria cerâmica que se situa na região do sul da Bahia.

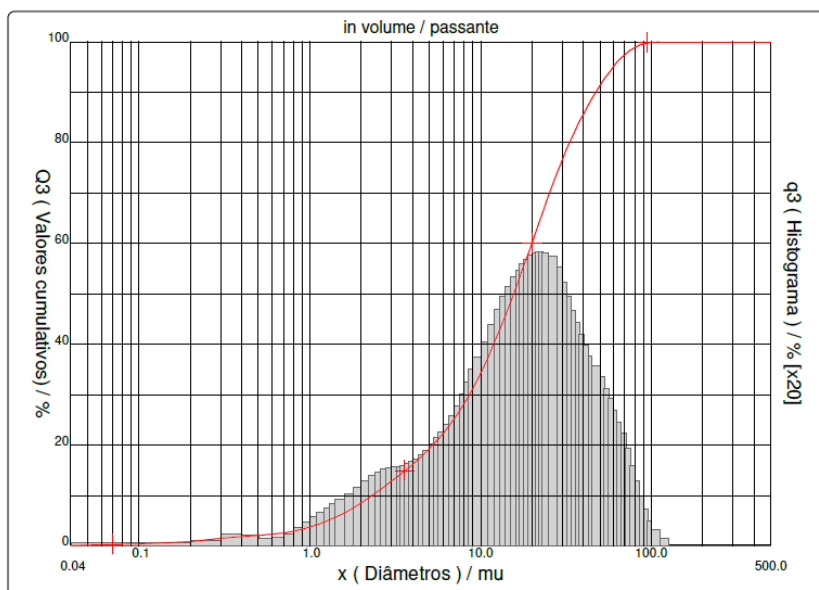


## Resultados e Discussões.

### Caracterização do silicato de alumínio.

O Silicato de Alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) é um resíduo industrial da extração de Lítio do mineral espodumênio após ser submetido à temperatura de  $1.200^\circ\text{C}$  e ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) (EDICARLOS, 2016). O presente relatório apresenta os resultados da caracterização de silicato de alumínio também conhecido na literatura científica internacional como escória de lítio (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% foram passante em peneira  $47,39 \mu\text{m}$ , e apenas 10 passante na peneira de  $2,31 \mu\text{m}$ .

**Figura 1: Determinação da distribuição de tamanhos de partículas.**

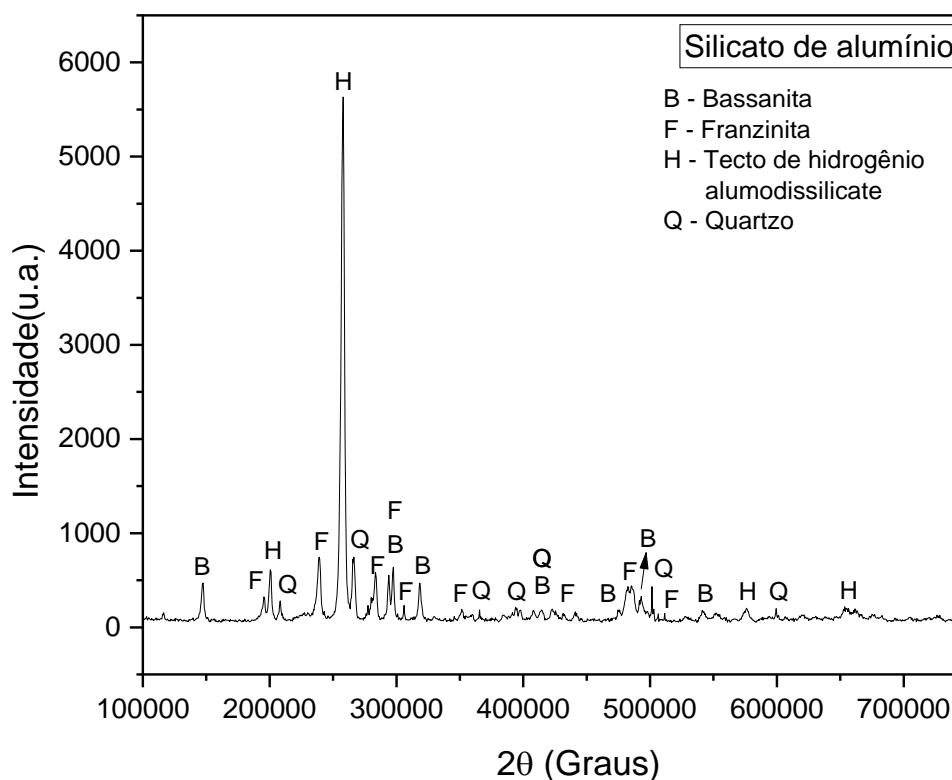


Composição Granulométrica				
	<b>2,31 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>15,62 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>47,39 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>112,00 <math>\mu\text{m}</math></b>

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 ( $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ ). 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  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ . Com a análise do difratograma de raios-X é possível dizer que a amostra apresenta composição mineralógica semelhante às 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 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) com 20,112% em peso, a sílica ( $\text{SiO}_2$ ) com 74,98% em peso e a água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) 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
$\text{Li}_2\text{O}$	0,456
$\text{Al}_2\text{O}_3$	20,112
$\text{CaO}$	3,317
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,392
$\text{K}_2\text{O}$	0,095
$\text{MgO}$	0,129
$\text{MnO}$	0,1
$\text{Na}_2\text{O}$	0,247
$\text{SiO}_2$	74,985
$\text{SO}_4^{--}$	0,069
$\text{H}_2\text{O}$	24
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,167
<b>PF*</b>	<b>7,573</b>

\*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.

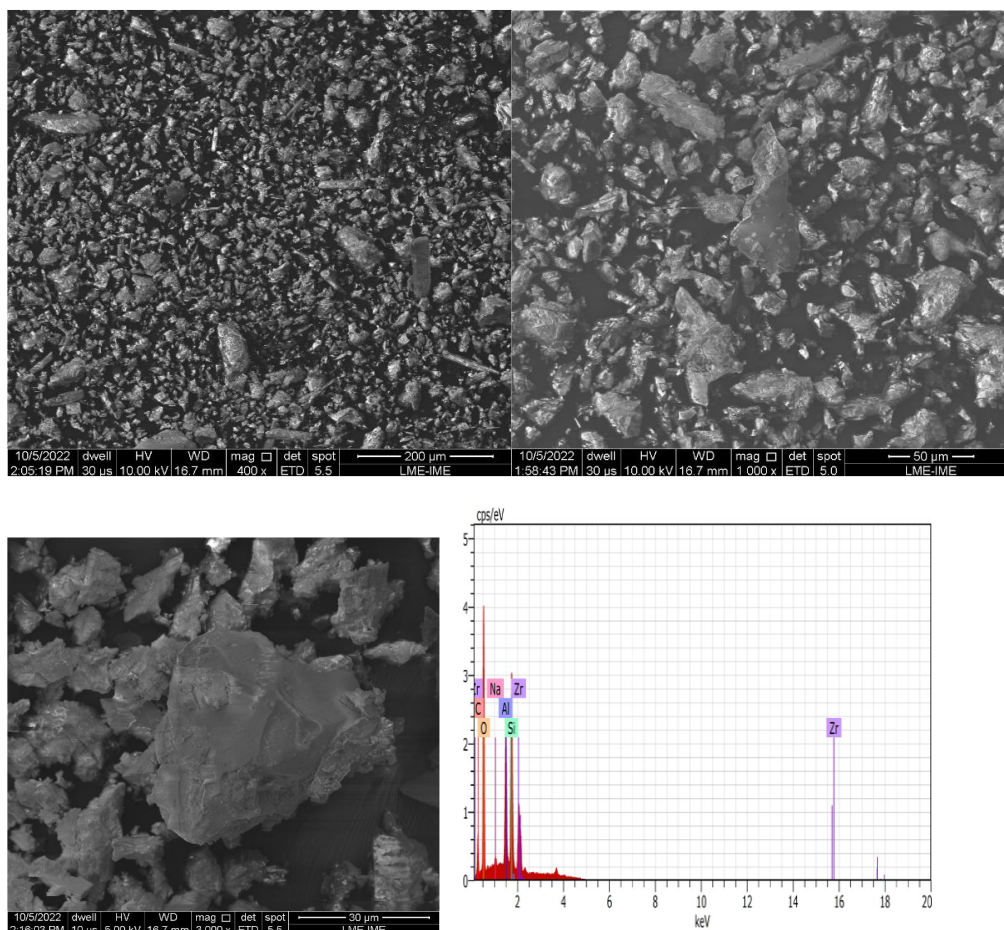
**Tabela 2: Resultados de lixiviação e de solubilização do silicato de alumínio.**

Análise	Extrato Lixiviado			Extrato Solubilizado		
	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	-	-	-
Tetracloroeto 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

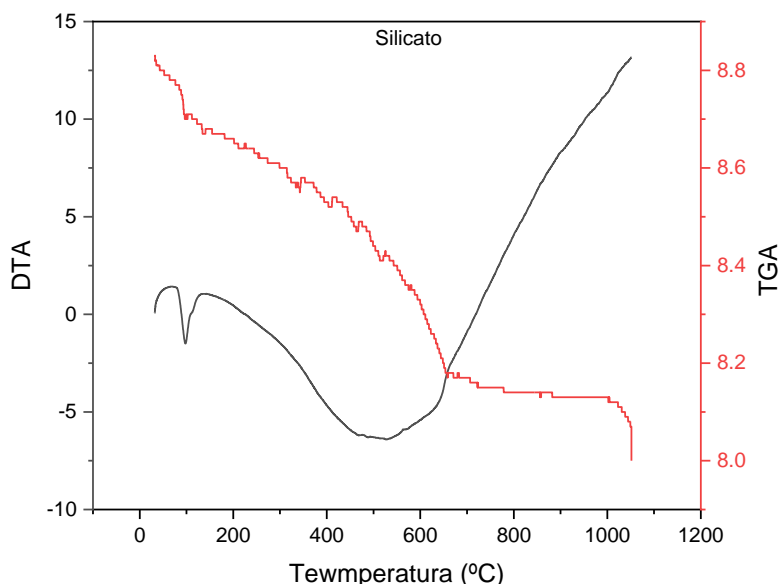
A Figura 3 apresenta a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do resíduo, nos aumentos de 400, 1000 e 3000x, e EDS. É possível observar que apresentam partículas com formato irregulares, e através da análise do EDS, é possível observar picos mais intensos de Al, Si e O, corroborando com a análise de FRX. <sup>5</sup> 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.**



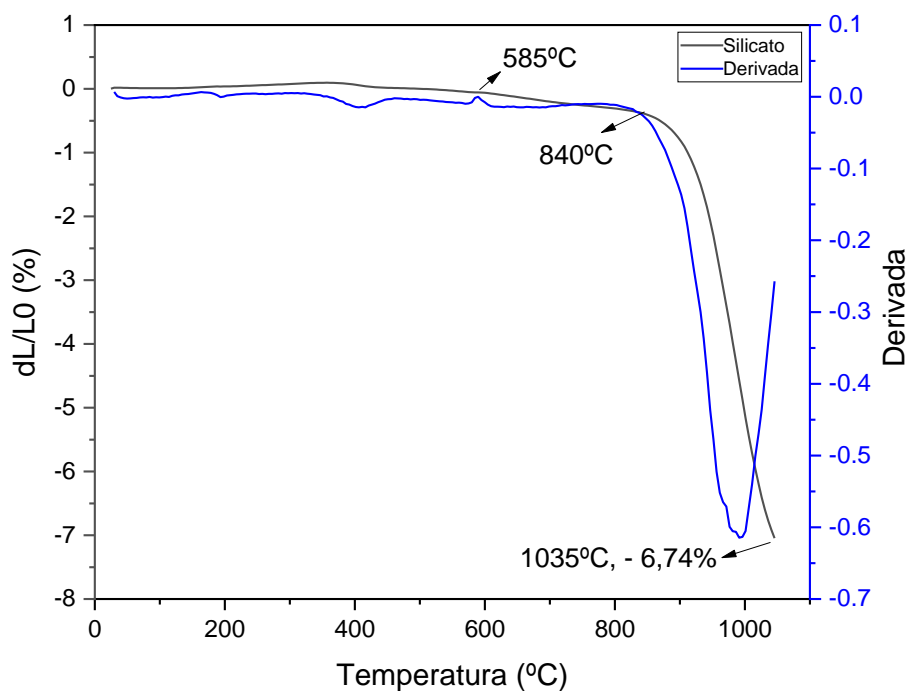
A Figura 4 apresenta as análises térmica diferencial (DTA) e análise térmica gravimétrica (TGA) da escória de lítio. Os eventos térmicos acentuados por volta de 97,56°C estão relacionados a perda de umidade presente na amostra em estudo. Tanto a absorção de calor (DTA) como a perda de massa (TGA) até 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  $\text{SO}_3$  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 comportamteno em aclave da curva de DTA pode estar relacionado a enventos térmicos envolvendo mundaça de fase ou/e siterização 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 correspondente à transformação do quartzo  $\alpha$  (baixa temperatura) para quartzo  $\beta$  (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.**

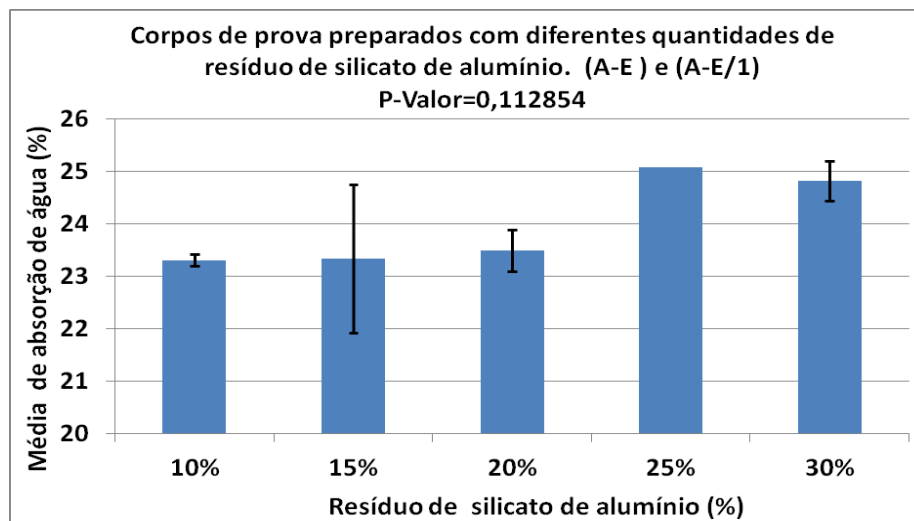


### **Ensaio de absorção de água e resistência à compressão.**

A Figura 6 apresenta os resultados do ensaio de absorção de água (AA) dos blocos cerâmicos preparados a partir de diferentes concentrações de silicatos de alumínio nas massas cerâmicas. As médias de absorção de água dos blocos cerâmicos preparados a partir de 10%, 15% e 20% de silicato de alumínio nas massas cerâmicas precursoras, apresentaram valores de próximos a 23%. Por outro lado, as médias de absorção de água dos blocos cerâmicos preparados a partir de 25 e 30% de silicato de alumínio nas massas cerâmicas precursoras, apresentaram valores de próximos a 25%. O aumento desta média de absorção de água pelos blocos cerâmicos preparados a partir maiores quantidades de silicatos de alumínio pode estar relacionado a maior presença de poros nos blocos cerâmicos.

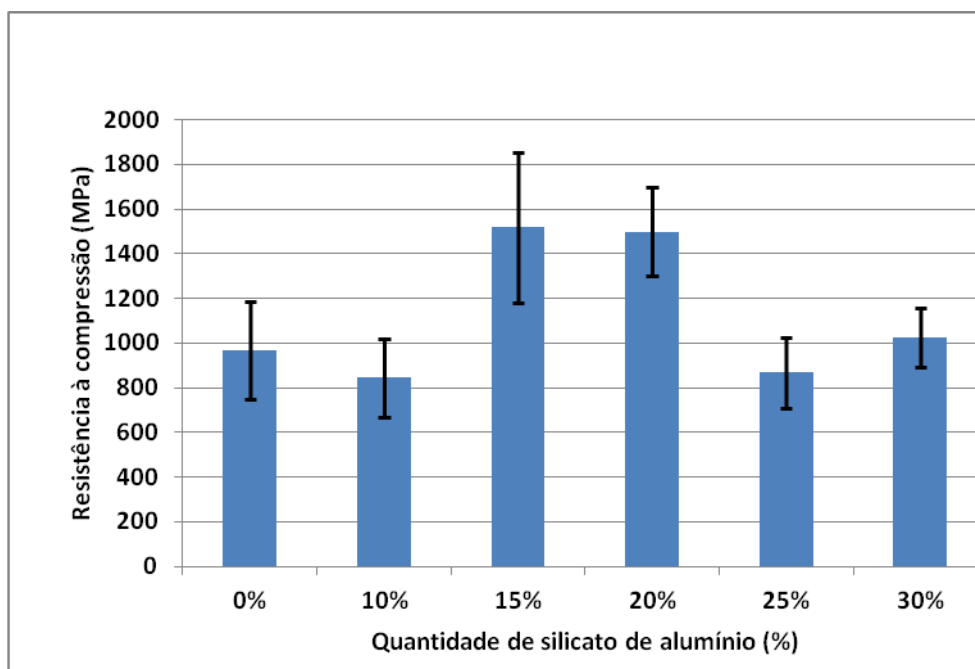


**Figura 6: Ensaio de absorção da água dos corpos de prova.**



A Figura 7 apresenta os resultados do ensaio de compressão para blocos cerâmicos preparados a partir de diferentes concentrações de silicatos de alumínio nas massas cerâmicas.

**Figura 7: Ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova.**



Amostras	p-valor	Amostras	p-valor	Amostras	p-valor	Amostras	p-valor	Amostras	p-valor
x1-x2	0.9587	x2-x3	0.002384	x3-x4	1	x4-x5	0.001817	x5-x6	0.8507
x1-x3	0.01502	x2-x4	0.003156	x3-x5	0.001336	x4-x6	0.04489		
x1-x4	0.0197	x2-x5	1	x3-x6	0.03462				
x1-x5	0.9755	x2-x6	0.8233						
x1-x6	0.9986								

Foram aplicados nas amostra estudadas testes de normalidade e posteriormente teste paramétricos. Os resultados mostraram que corpos de prova de blocos cerâmicos preparados com 15% e 20 % de silicato de alumínio apresentam resistência à compressão maiores que corpos de prova de blocos cerâmicos preparados sem o resíduo e corpos de prova de blocos cerâmicos preparados com 25% e 30% de silicato de alumínio.

## **Conclusão**

A presente pesquisa permite dizer que, massas cerâmicas preparadas a partir de 15% e 20% de resíduos de silicato de alumínio, podem ser uma alternativa interessante do ponto de vista tecnológico na fabricação de blocos cerâmicos comparados àqueles preparados com ausência do resíduo. Contudo são necessários serem realizadas mais pesquisas científicas para que esta afirmação ganhe robustez prática no contexto da construção civil.

## Referências bibliográficas.

ALVES, A. C. et al. Reaproveitamento da lama de alto forno em cerâmica. **V seminário de Iniciação científica**. Pará. 2019.

ARAÚJO A.G 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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (**NBR – 10007:2004a**). Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro.

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

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

BETINI, D. G. Inovação na tecnologia de produtos de cerâmica vermelha com uso de chamote em São Miguel do Guamá. **UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**. Dissertação. p. 145, 2007.

CÉSAR, J.; PUREZA, C. Utilização de resíduos industriais de baixa granulometria em massas cerâmicas de argila vermelha: aspectos tecnológicos e ambientais. **UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**. DISSERTAÇÃO p. 148, 2004.

COLETTI, C. et al. Construção Uso de lodo de cerâmica industrial na produção de tijolos : efeito estético qualidade e propriedades físicas. **Construção e materiais de construção** V. 124, n. 2016, p. 1–7, 2021.

CONCONI M. S. et al. Thermal behavior (TG-DTA-TMA), sintering and properties of a kaolinitic clay from Buenos Aires Province, Argentina. **Cerâmica**. V. 65: 227-235. 2019.

COTA, T. G.; REIS, E. L. Incorporação de resíduos da fabricação de ligas de ferromangânes e pó de pedra-sabão na produção de cerâmica vermelha. **Ciência Aplicada à Argila**. v. 161, n. 2018, p. 274–281, 2021.

DELIA do Carmo Vieira\* e Celso Xavier Cardoso. ANÁLISES TÉRMICAS E PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO DA CERÂMICA  $\text{KSr}_2\text{Nb}_5\text{O}_{15}$  DOPADA COM  $\text{CuO}$ . **Quim. Nova**. V. 32: 1704-1709. 2009.

EDICARLOS Batista Castro et al. Silicato de Alumínio em Substrato para Produção de Mudanças de *Corymbia citriodora*. **Floresta e Ambiente**. V. 23: 229-236. 2016

FATMA Gol, Selin Cibuk,, Emre Kacar, ,Zeynep, Gizem Saritas, ,Ali Yilmaz, ,Melek Arsla, ,Fatih Sem. Evaluation of solid wastes in the manufacture of ceramic tableware glazes. **Ceramics International**. V. 48: 15622-15628. 2022.

GHAZI K. WAKILI et al. Gypsum Board in Fire – Modeling and Experimental Validation. **Journal of Fire Sciences**. V. 25: 267 2007.

JOÃO Tadeu et al. DECOMPOSIÇÃO REDUTORA E CATALÍTICA DE SULFATOS COBRE, FERRO, NÍQUEL E MAGNÉSIO. **Departamento de Engenharia Química e de Materiais**. PUC-RIO. 2019.

LORENA Houry Machado Lima, Simone Cristina Reis, Leonardo Ribeiro Borges.UTILIZATION OF SOLID RESIDUE FROM SIDERURGICAL INDUSTRY IN CLAY CERAMIC BLOCK. **Rev. Exacta**. 6. 2.2013

LORENA Raphael Rodrigues. Potential use of Kraft pulp mill and flat glass cutting wastes in red ceramic products. **Ceramics International** V. 47: 17971-17979. 2021.

M.M.J.TREACY, J.B.Higgins. FRA – Franzinite. **Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolites. (Fifth Edition) 2007**: 182-183.

MARIANA Zani Pagio et al. Characterization of steelmaking waste aimed at its application in cementitious matrices. **Ambiente Construído**. V. 22: 167-186. 2022.

NURUI Alam and Robert Mokaya. Strongly acidic mesoporous aluminosilicates prepared via hydrothermal restructuring of a crystalline layered silicate. **Journal of Materials Chemistry**. V. 3: 7799–7809. 2015.

OLIVEIRA, A. P. N. Tecnologia de Fabricação de Revestimentos Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 5, n. 6, p. 37–47, 2000.

OLIVEIRA, G. E.; HOLANDA, J. N. F. Reaproveitamento de resíduo sólido proveniente do setor siderúrgico em cerâmica vermelha ( Utilization of solid waste from siderurgical industry in red ceramic ). **Cerâmica**, v. 50, p. 75–80, 2004.

OLIVEIRA, J. C. DA S. et al. Importância do Carbonato de Cálcio na Fabricação de Tijolos. **Cerâmica Industrial**, v. 16, n. 5–6, p. 34–38, 2011.

RUN Sheng Lin et al. Increasing the early strength of high-volume Hwangtoh–cement systems using bassanite. **Journal of Building Engineering**. V. 30. 101317. 2020.

SILVA, M. C. DA. Silva, Miriam Cooper. Reciclagem de pó de aciaria elétrica como matéria-prima na fabricação de materiais cerâmicos argilosos : controle das

emissões atmosféricas de zinco. Universidade **FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**. Dissertação. 2006.

SOUZA, J.P.1 ; Martinelli, J.R.1. ESTUDO DA SINTERIZAÇÃO DE VIDROS ALUMINOSSILICATOS POR CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL. **58º Congresso Brasileiro de Cerâmica. 2014**, Bento Gonçalves, RS, Brasil.

SUPARYANTO DAN ROSAD (2015. SISTEMA PRODUTIVO DE UMA CERÂMICA EM ARGOLO/BA: Comparação da Qualidade de Tijolos Fabricados com Diferentes Argilas. **Suparyanto dan Rosad**. v. 5, n. 3, p. 248–253, 2020.

TAN Hongbo et al. Utilization of Lithium Slag as An Admixture in Blended Cements: Physico-mechanical and Hydration Characteristics. **Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci.** 2015.

TEBCHERAN S. M. et al. (Sintering kinetics for SnO<sub>2</sub> -based systems by constant heating rate). **Cerâmica**. V. 49: 99-109. 2003.

TING Zhang et al. Effect of TIPA on mechanical properties and hydration properties of cement-lithium slag system. **Journal of Environmental Management**. V. 276: 111274. 2020.

VICTORIA M. Ferreira. Estudo sobre o reaproveitamento de resíduo industrial na fabricação de blocos cerâmicos. **UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**. Departamento de engenharia Química. Trabalho de Conclusão de Curso. Cuiabá. MT. 2021.

VIEIRA, C. M. F.; HOLANDA, J. N. F. DE; PINATTI, D. G. Caracterização de massa cerâmica vermelha utilizada na fabricação de tijolos na região de Campos dos Goytacazes - RJ. **Cerâmica**, v. 46, n. 297, p. 14–17, 2000.

WANG Yiren. Micro-morphology and phase composition of lithium slag from lithium carbonate production by sulphuric acid process. **Construction and Building Materials**. V. 203: 304-313. 2019.

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](http://www.ufvjm.edu.br/vozes)

QUALIS/CAPES - LATINDEX: 22524

ISSN: 2238-6424